TA/TL/2025/2046

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS KANDUNGAN *BISPHENOL A* PADA AIR MINUM DEPOT ISI ULANG MENGGUNAKAN METODE *HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY*

Muhammad Al Dendi
21513122

Dosen Pembimbing:
Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

ANALYSIS OF BISPHENOL A CONTENT IN REFILLED DRINKING WATER DEPOT USING HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY METHOD

Muhammad Al Dendi
21513122

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

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia
2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Analisis Kandungan *Bisphenol A* Pada Air Minum Depot Isi Ulang Menggunakan Metode *High Performance Liquid Chromatography*

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Muhammad Al Dendi
21513122

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 2025 dan disetujui oleh:

22/9 2025

Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si. **(Pembimbing 1**

22/9 2025

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U **(Penguji 1)**

22/9 '25

Puji Lestari, S.Si., M.Sc, Ph.D. **(Penguji 2)**

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

22-9-25

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, 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 merupakan gagasan, rumusan, dan studi 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. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan *(artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
   a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
   b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

   Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 22 / 9 / 2025
Yang membuat pernyataan,

Muhammad Al Dendi
21513122

Dipindai dengan CamScanner

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT dengan segala Rahmat dan karunia-Nya serta shalawat kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir "Analisis Kandungan *Bispheol A* Pada Air Minum Depot Isi Ulang Menggunakan Metode *High Performcance Liquid Chromatograpy"*.

Penyusunan Laporan ini sesuai dengan kurikulum yang berlaku di Program Studi Teknik Lingkungan dan menjadi salah satu dari hasil pemikiran dalam pemecahan masalah di bidang Teknik Lingkungan. Penyusunan laporan ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik S1 Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan laporan ini penulis banyak mendapat semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan peneliti menyampaikzn rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan nikmat Iman dan Islam sebagai pedoman dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini serta Nabi Besar Muhammad SAW yang telah menjadi teladan dalam bersikap dan berfikir.
2. Kedua Orang tua yaitu Ayah Agus Aji, S.Pd., M.M. dan Mamak Darlisna Harahap S.Pd., M.M., serta Kedua Kakak yaitu Teteh Mutiara Alamanda S.Pd dan Teteh Ega Dewanti atas segala kasih sayang yang tidak dapat terbalas, memberikan doa dan kepercayaan menuntut ilmu sehingga penulis dapat bertahan menempuh pendidikan sejauh ini.
3. Dosen pembimbing yaitu Bapak Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si. yang telah memberikan bimbingan, bantuan materil serta masukkan dalam proses pembuatan laporan ini.

4. Seluruh dosen, staff, keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia karena telah memberikan pengajaran dan pengalaman selama kuliah sehingga ilmu yang telah penulis peroleh dapat bermanfaat untuk penyusunan laporan ini.

Sleman, 22 / 9 / 2025

Muhammad Al Dendi

Dipindai dengan CamScanner

ABSTRAK

Bisphenol A (BPA) merupakan senyawa kimia yang umum digunakan dalam pembuatan plastik *Polycarbonate* dan diketahui bersifat *Endocrine Disrupting Chemical* (EDC) yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia. Air minum dalam kemasan galon berbahan *Polycarbonate* berisiko mengalami pelepasan BPA ke dalam air terutama akibat faktor suhu dan lama penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kadar BPA pada air galon depot isi ulang dengan dua kondisi penyimpanan berbeda (terpapar panas matahari dan disimpan di ruang tertutup) pada hari ke-8 dan ke-16 penyimpanan, serta membandingkan hasilnya dengan batas aman yang ditetapkan BPOM RI (0,6 ppm). Pengujian dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Proses preparasi menggunakan metode *Dispersive Liquid-Liquid Microextraction* (DLLME) dengan pelarut *Methanol* 0,8 mL sebagai pelarut dispersif dan *Carbon Tetrachloride* 0,4 mL sebagai pelarut ekstraksi, diikuti analisis menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) pada panjang gelombang 224 nm. Larutan standar BPA dibuat dengan konsentrasi 0,6 mg/L dan 1,0 mg/L untuk pembuatan kurva kalibrasi. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi BPA pada sampel terpapar panas matahari berkisar 0,10–0,15 ppm, sedangkan sampel di ruang tertutup berkisar 0,10–0,11 ppm. Seluruh hasil berada di bawah batas migrasi maksimum yang diizinkan BPOM RI (0,6 ppm) dan perbedaan suhu penyimpanan tidak memberikan pengaruh signifikan secara statistik terhadap migrasi *Bisphenol A*. Faktor dominan yang memengaruhi peningkatan *Bisphenol A* adalah lama penyimpanan dan kondisi fisik galon, bukan hanya paparan panas itu sendiri.
Kata Kunci :Air Galon, *Bisphenol-A*, *Dispersive Liquid-Liquid Micro Ekstraction*, *High Performance Liquid Chromatography,* Polycarbonate.

DAFTAR ISI

PRAKATA 5

ABSTRAK..... 7

DAFTAR ISI 8

DAFTAR GAMBAR..... 11

DAFTAR TABEL 12

BAB I PENDAHULUAN..... 13

1.1 Latar Belakang..... 13

1.2 Rumusan Masalah..... 16

1.3 Tujuan Penelitian..... 16

1.4 Manfaat Penelitian..... 16

1.5 Ruang Lingkup 17

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 19

2.1 Konsep dan Risiko Bisphenol A pada Kemasan *Polycarbonate*..... 19

2.1.1 *Bisphenol A* (BPA) 19

2.1.2 Paparan *Bisphenol A* pada Air Minum 20

2.1.3 Risiko Kesehatan Paparan *Bisphenol A* 23

2.1.4 *Endocrine Disruptor Chemicals* (EDCs)..... 24

2.2 Pengaruh Paparan Panas Matahari Pada kemasan Air Minum Isi Ulang..... 24

2.3 Regulasi Batas Maksimum Bisphenol A pada Kemasan Pangan..... 25

2.4 *Dispersive Liquid-Liquid Micro Extraction* 26

2.5 *High Performance Liquid Chromatography* 27

2.6 Penelitian Sebelumnya..... 29

BAB III METODE PENELITIAN 35
3.1 Waktu dan Lokasi 35
3.2 Alat dan Bahan 36
3.3 Tahap Penelitian 37
3.4 Pengumpulan Data 38
3.4.1 Wadah Galon *Polycarbonate* Pada Sampel Air Minum Depot Isi Ulang 38
3.4.2 Pengumpulan Sampel Air Minum Depot Isi Ulang di Wadah Galon *Polycarbonate* 40
3.4.4 Pengawetan Sampel Uji 42
3.4.5 Pengawetan Sampel Uji 42
3.5 Metode Analisis Data 42
3.5.1 Pelarut Ekstraksi 46
3.5.2 Ekstraki Sampel 47
3.5.3 Spesifisitas 52
3.5.4 Analisis Koefisien 54
3.5.5 Batas Deteksi Dengan Penentuan *Limit Of Detection* (LOD) & *Limid Of Quantification* (LOQ) 58
3.5.6 Konsentrasi Sampel 61
3.6 Pengaruh Paparan Panas Matahari Dan Penyimpanan Pada Ruang Tertutup 62
3.7 Cara Penyimpanan Yang Baik Untuk Jenis Galon *Polycarbonate* ... 63
BAB IV PEMBAHASAN 64
4.1 Deskripsi Daerah Penelitian 64
4.2 Konsentrasi Sampel 64

4.3 Pengaruh Paparan Panas Matahari dan Penyimpanan Ruang Tertutup terhadap Konsentrasi *Bisphenol A* dalam Air Galon *Polycarbonate*..... 68
4.4 Rekomendasi Jenis Penyaringan Dan Penyimpanan Optimal untuk Galon *Polycarbonate* 70
4.4.1 Kontrol Suhu dan Paparan Panas..... 71
4.4.2 Pemantauan Kondisi Fisik Kemasan 73
4.4.3 *Reverse Osmosis* (RO) dalam Penyaringan Air Minum 73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 75
5.1 Kesimpulan 75
5.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA..... 77
LAMPIRAN 85
RIWAYAT HIDUP 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kimia *Bisphenol A* (Liguori et al., 2020). 20
Gambar 2.2 Pengaruh suhu terhadap konsentrasi *Bisphenol A* 22
Gambar 2.3 Kode daur ulang. 23
Gambar 2.4 efek buruk *Bisphenol A* 23
Gambar 2.5 Ekstrasi DLLME 27
Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Air 35
Gambar 3.2 Diagram Alir Prosedur Penelitian 37
Gambar 3. 3 Kode dibalik Galon *Polycarbonate* 39
Gambar 3. 4 Pembelian Sampel Air Galon 41
Gambar 3.5 Flowchart Pengujian *Bisphenol A* 45
Gambar 3. 6 Flowchart Pembuatan Larutan Sampel 49
Gambar 3. 7 Pembentukan Endapan Sampel 50
Gambar 3. 8 Sentrifugasi Sampel Uji 50
Gambar 3. 9 *flowchart* alur pengujian dengan instrumen *High Performance Liquid Chromatography.* 51
Gambar 3. 10 Kromorogram hasil pengujia spesifisitas *Bisphenol A* 53
Gambar 3. 11 *flowchart* pmbuatan larutan standar *Bisphenol A* 55
Gambar 3. 12 Larutan Standar *Bisphenol A* 55
Gambar 3. 13 kurva Kalibrasi Standar 57
Gambar 4. 1 Diagram Konsentrasi Sampel 66
Gambar 4. 2 *Photodegradation Polycarbonate* 68
Gambar 4. 3 Reaksi Hidrolisis *Polycarbonate* 69
Gambar 4. 4 Kain Penutup Galon 71
Gambar 4. 5 *Membran Separation* 74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya 29
Tabel 3.1 Alat dan Bahan 36
Tabel 3. 2 Perbandingan Pelarut Ekstraksi 47
Tabel 3. 3 Luas Area Larutan Standar 57
Tabel 3. 4 Penentuan *Limit of Detection* (LOD) dan *Limit of Quantification* (LOQ) 60
Tabel 4. 1 Tabel Konsentrasi Sampel 65

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bisphenol A atau secara kimia dikenal 4,2'-*d\Dihidroksi*-2,2 *Difenilpropana* merupakan produk intermediet yang dihasilkan dari beberapa indsutri kimia. Produk ini sebagai bahan kimia yang digunakan untuk membentuk plastik *Polycarbonate*, *Epoxy resins,* dan penstabil pada *Polivinilklorida* (PVC). *Polycarbonate yang* yang dihasilkan dari reaksi fosgen dengan *Bisphenol A* banyak digunakan sebagai bahan galon air minum karena punya sifat yang kuat, ringan dan tahan tehadap panas (Gusnawati et al., 2023).

Namun, *Bisphenol A* sudah dikategorikan senyawa *Endocrine Disrupting Chemicals* (EDCs) yang dapat mengakibatkan gangguan cara kerja hormon tubuh. *Bisphenol A* dapat mengganggu kesehatan karena adanya kandungan zat *Toxic* yang mengakibatkan efek "*Mimic"* atau menyerupai estrogen, sehingga dapat merusak kromosom, ovarium, dan menurunnya produksi sperma (Vasiljevic & Harner., 2021). Paparan *Bisphenol A* juga dapat dikaitkan dengan peningkatan risiko berbagai masalah kesehatan jangka panjang, seperti gangguan perilaku pada anak laki-laki, penyakit kardiovaskular, obesitas, diabetes tipe 2, serta potensi berkembangnya kanker (Molina-Lopez et al., 2023).

Pada konteks air minum, galon yang berbahan *Polycarbonate* yang digunakan untuk penyimpanan dan wadah pendistribusi air harus memenuhi standar aman sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 tahun 2023 tentang pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 tahun 2014 tentang kesehatan lingkungan salah satu yang dimaksud adalah untuk dapat mengendalikan risiko dari kontaminasi dari peralatan, tempat, termasuk galon yang digunakan agar air di dalamnya aman untuk dikonsumsi. Namun, kontaminasi *Bispenol A* dari kemasan galon dapat terjadi terutama saat galon

terpapar panas matahari dan suhu saat penyimpanan galon air minum berbahan *Polycarbonate* terhadap kandungan *Bisphenol A* ke air di wadahnya. Perpindahan BPA dari kemasan ke minuman adalah konsekuensi dari interaksi dinamis antara komposisi kimia bahan kemasan dan isi yaitu air yang ada di dalamnya. Perpindahan *Bisphenol A* dapat terjadi dari berbagai faktor diantaranya durasi penyimpanan, penyimpanan ruang tertutup, keasaman, kondisi kemasan, dan faktor lingkungan (Neri et al., 2024).

Menurut Peraturan Kepala Badan POM. No HK. 03.07.11.6664 /PerBPOM No 20 tahun 2019 tentang kemasan pangan, batas maksimal di peralatan makanan dan minuman termasuk galon air minum adalah 0,6 ppm. Jika dibandingkan dengan peraturan Internasional dari Uni Eropa yaitu *European Food Safety Authority* (EFSA) pada tahun 2018 memberikan batas migrasi *Bisphenol A* sebesar 0,05 ppm dan memberikan batas *Tolerable Daily Intake* (TDI) 0,2 µg/kg/hari. Hal ini menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan peraturan dan batas kemananan ysng ditetapkan.

Penelitian sebelumnya menganalisis keberadaan *Bisphenol A* pada kemasan galon berbahan *Polycarbonate* menggunakan instrumen *Spektrofotometry Ultraviolet*. Pada galon tidak bermerk yang disimpan pada suhu sekitar 30°C, kandungan *Bisphenol A* terdeteksi pada ketiga sampel air dengan konsentrasi masing-masing 0,0257 ppm, 0,0234 ppm, dan 0,0211 ppm. Untuk menguji pengaruh suhu terhadap migrasi *Bisphenol A*, sampel air pada galon tersebut juga diberi perlakuan berupa penambahan air panas bersuhu 100°C. Hasilnya, kandungan *Bisphenol A* yang terdeteksi pada ketiga sampel air meningkat menjadi 0,0468 ppm, 0,0495 ppm, dan 0,0445 ppm. Namun, berdasarkan Peraturan Kepala Badan POM No HK.03.1.23.07.6664, seluruh hasil pengukuran tersebut masih berada di bawah batas maksimal yang diperbolehkan, yaitu 0,6 ppm (Lubis et al., 2021).

Terdapat penelitian lain yang meneliti pengaruh suhu penyimpanan dan lama waktu penyimpanan terhadap kandungan *Bisphenol A* dalam empat sampel air minum dari depot isi ulang. Pengukuran menggunakan metode *spektrofotometry* UV-Vis dilakukan pada sampel yang disimpan di suhu

ruang (20°C) dan di suhu luar ruangan (32°C). Hasilnya menunjukkan bahwa setelah delapan hari penyimpanan pada suhu ruang, konsentrasi *Bisphenol A* dalam sampel mencapai 1,1462 ppm. Pada hari keenam belas, konsentrasi tersebut meningkat menjadi 1,6918 ppm. Pada suhu luar ruangan yang lebih tinggi, konsentrasi *Bisphenol A* juga meningkat dari 1,2912 ppm pada hari kedelapan menjadi 2,1480 ppm pada hari keenam belas. Semua nilai ini melebihi batas maksimum aman yang ditetapkan BPOM sebesar 0,6 ppm, menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan dan semakin tinggi suhu penyimpanan, maka pelepasan *Bisphenol A* dari galon *Polycarbonate* ke dalam air minum semakin meningkat (Febriyantika et al., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi *Bisphenol A* pada empat sampel air galon berbahan *Polycarbonate* dengan menggunakan metode ekstraksi *Dispersive Liquid-liquid Micro Extraction* (DLLME) yang dipilih karena memiliki keunggulan seperti proses ekstraksi yang cepat, efisien, ramah lingkungan, penggunaan pelarut organik dalam jumlah yang sangat sedikit, waktu persiapan singkat, serta faktor pengayaan yang tinggi sehingga menghasilkan kromatogram yang jelas dan akurat (Mahdavianpour et al., 2021). Setelah ekstraksi, analisis kandungan *Bisphenol A* dilakukan dengan instrumen *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) yang memiliki sensitivitas dan akurasi unggul dalam mendeteksi senyawa tersebut. Pada studi terdahulu yang dilakukan oleh Vilarinho et al. (2020), metode ini berhasil mendeteksi *Bisphenol A* dalam sayur kalengan dengan batas deteksi (LOD) sebesar 0,005 mg/kg dan batas kuantifikasi (LOQ) sebesar 0,01 mg/kg.

Dalam penelitian ini, sampel air galon *Polycarbonate* akan dianalisis pada dua waktu penyimpanan berbeda, yaitu pada hari ke-8 dan hari ke-16, dengan memperhitungkan pengaruh paparan panas matahari serta kondisi penyimpanan di dalam ruangan tertutup. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi potensi migrasi *Bisphenol A* dari kemasan galon ke dalam air minum akibat faktor suhu dan lama penyimpanan, serta untuk menilai implikasinya terhadap keamanan konsumsi air sesuai dengan peraturan yang

berlaku. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan data yang lebih rinci mengenai dampak penyimpanan dan paparan suhu terhadap pelepasan *Bisphenol A* dalam air galon berbahan *Polycarbonate*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah di tulis, dapat diidentifikasi masalah yang muncul:

1. Seberapa besar konsentrasi *Bisphenol A* dalam air minum depot isi ulang yang dapat dianalisis menggunakan metode *High Performance Liquid Chromatography*?
2. Seberapa besar pengaruh paparan panas matahari dan penyimpanan pada ruang tertutup terhadap konsentrasi BPA dalam air galon *Polycarbonate* setelah penyimpanan selama 8 dan 16 hari ?
3. Bagaimana penyimpanan yang baik untuk jenis galon *Polycarbonate* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan, maka didapat tujuan penelitian yaitu:

1. Mengetahui konsentrasi *Bisphenol A* pada air minum isi ulang dengan metode *High Performance Liquid Chromotography.*
2. Mengetahui pengaruh paparan panas matahari dan penyimpanan ruang tertutup terhadap konsentrasi senyawa *Bisphenol A* dengan perbandingan lama paparan dari beberapa sampel.
3. Mengetahui cara penyimpanan yang baik untuk jenis galon *Polycarbonate.*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, sebagai berikut:

A. Mahasiswa
    1. Menerapkan wawasan dan pengetahuan yaitu pada bidang sanitasi terutama sarana, kualitas, dan risiko bagi lingkungan.

2. Menerapkan ilmu yang diterima pada masa perkuliahan mengenai analisis risiko kimia lingkungan di masyarakat.

B. Masyarakat

1. Memberikan informasi bagi masyarakat tentang bahaya kontaminasi *Bisphenol A* di air minum yang terpapar panas matahari dan suhu saat penyimpanan.
2. Memberikan informasi bagi masyarakat tentang penyimpanan yang baik untuk air galon berbahan *Polycarbonate.*

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi *Bisphenol A* dalam Sampel Air Galon berbahan *Polycarbonate* dengan metode *High Performance Liquid Chromotography*. Ruang lingkup penelitian mencakup:

A. Lokasi Penelitian:

1. Sampel diambil pada Depot Air Minum di Jl. Pandanaran - UII, Candi Winangun, Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Ekstraksi Sampel dilakukan di Laboratorium Kulitas Lingkugan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia.

B. Metode Penelitian:

1. Pengambilan sampel air galon dilakukan dengan perlakuan paparan panas matahari dan penyimpanan di ruangan terlindung/tertutup untuk mengamati pengaruh suhu dan durasi penyimpanan terhadap migrasi BPA.
2. Data yang dipakai untuk analisis pendukung yaitu dengan melakukan Uji Parameter, Suhu dan pH.

3. Pengambilan data dilakukan dengan pengambilan sampel air galon yang diberi perlakuan terpapar Panas Matahari dan Ruangan Terlindung/Tertutup.
4. Analisis konsentrasi Bisphenol A pada sampel air galon dilakukan menggunakan metode ekstraksi *Dispersive Liquid-Liquid Micro Extraction* (DLLME) dan deteksi dengan High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

C. Batasan Penelitian:

1. Penelitian ini tidak mencakup secara spesifik tentang kualitas Air Galon dan Pengeloaan Air Minum, tetapi hanya berfokus pada konsentrasi *Bisphenol A* dan saran terhadap penggunaan Galon *Polycarbonate.*
2. Praktikan menggunakan delapan galon *Polycarbonate* dengan merek yang sama untuk menjaga konsistensi hasil.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep dan Risiko Bisphenol A pada Kemasan *Polycarbonate*

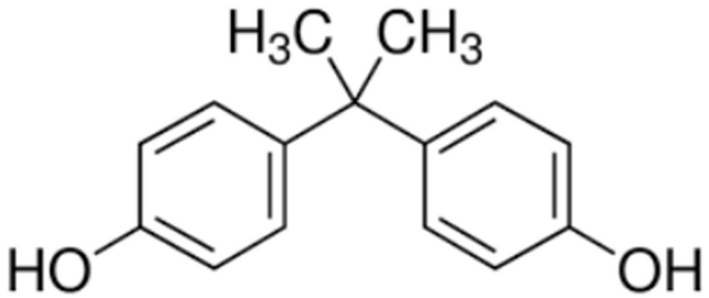
Bisphenol A merupakan senyawa kimia sintetis yang diproduksi secara massal sebagai bahan baku utama plastik *Polycarbonate* dan resin epoksi. Struktur kimianya yang terdiri dari dua gugus hidroksifenil membuat *Bisphenol A* banyak digunakan dalam berbagai produk kemasan makanan dan minuman (seperti botol dan galon), lapisan kaleng, pipa, serta mainan anak-anak. Paparan *Bisphenol A* pada air minum terjadi melalui proses migrasi monomer *Bisphenol A* dari kemasan *Polycarbonate* ke air, yang terutama dipengaruhi oleh faktor suhu, dan durasi penyimpanan. Studi menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu kontak dapat mempercepat hidrolisis polimer *Polycarbonate*, sehingga meningkatkan laju pelepasan *Bisphenol A* ke dalam air minum (Mileva et al., 2014).

Risiko kesehatan akibat paparan *Bisphenol A* sangat signifikan, terutama pada sistem reproduksi. *Bisphenol A* dikenal sebagai senyawa pengganggu endokrin (*Endocrine Disruptor*) yang dapat meniru atau mengganggu kerja hormon estrogen di dalam tubuh. Paparan *Bisphenol A* telah terbukti menurunkan kualitas sperma, meningkatkan risiko infertilitas pada pria, serta berperan dalam terjadinya *Polycystic Ovary Syndrome* (PCOS) pada wanita. Berikutnya, *Bisphenol A* juga dikaitkan dengan gangguan perkembangan janin, keguguran, kelainan hormonal, dan gangguan fungsi ovarium serta testis. Efek toksik *Bisphenol A* dapat terjadi melalui berbagai jalur paparan, baik oral, inhalasi, maupun transmisi vertikal dari ibu ke janin (Pivonello et al., 2020).

2.1.1 *Bisphenol A* (BPA)

Bisphenol A adalah senyawa sintetis yang banyak dipakai dan diproduksi dengan lebih tiga juta ton setiap tahunnya. *Bisphenol A* termasuk dalam

kelompok senyawa *Bisphenol* yang punya dua gugus *Hydroxyphenyl*. Dikarenakan struktur gabungannya, *Bisphenol A* banyak digunakan dalam produksi plastik *Polycarbonate* dan resin epoksi. Produk yang mengunakan *Bisphenol A* diantaranya botol dan galon air, pipa, lapisan kaleng, dapat ditemukan pada mainan anak – anak, insektisida, fungisida, penghambat api, dan penstabil dalam produksi *Polietilen*. *Bisphenol A* punya efek berbahaya untuk organisme dan lingkungan karena termasuk zat pengganggu endokrin atau disebut *Endocrine Discrupting Chemicals* (EDCs) (Mileva et al., 2014). BPA dibuat dari gabungan *Phenol* dan *Acetone,* serta dapat dikenal sebagai 4,4'-*Dihidroksi*-2,2 *Difenilpropana* (Gambar 2.1).



Gambar 2. 1 Struktur Kimia *Bisphenol A*
(Liguori et al., 2020).

Paparan terjadi setelah perpindahan *Bisphenol A* dari wadah dan jenis produk yang telah disebutkan diatas. Badan perlindungan Alam Amerikat Serikat (*U.S Environmental Protection Agency* (U.S EPA)) memberi batas kadar *Bisphenol A* yang aman untuk tubuh manusia yaitu 50 mikrogram per-kg berat badan-hari. Jumlah ini dapat menjadi acuan minimum paparan tidak berpengaruh pada tubuh manusia (Perdana & Jacobus., 2016).

2.1.2 Paparan *Bisphenol A* pada Air Minum

Air minum serta makanan merupakan kebutuhan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari dan sangat penting untuk keberlangsungan hidup. Pada

(Tabel 2.1) ditemukan kandungan *Bisphenol A* pada berbagai komoditas pangan. kontaminasi *Bisphenol A* ke air minum terjadi karena pembuatan wadah campuran *Bisphenol A* dengan plastik *Polycarbonate* dan *Polyvinylchloride* yang dipakai untuk pengemasan air minum ataupun makanan, akibatnya terjadi interaksi langsung dengan minuman atau makanan yang telah dikemas. Monomer sisa senyawa *Bisphenol A* berpindah dari kemasan ke produk, lalu dikonsumsi oleh manusia yang dapat menyebabkan masalah kesehatan. Hal ini bergantung dari berbagai faktor diantaranya komposisi bahan makanan, durasi penyimpanan, suhu penyimpanan, serta jenis dan bahan kemasan yang dipakai (Manzoor et al., 2022).

Tabel 2.1 Kadar *Bisphenol A* (g/kg) pada berbagai komoditas pangan.

Food	BPA level
Cereals	0.9–3.7
Fish	7.2–103
Fruits and vegetables	10.99–94
Canned (fruits and vegetables)	3.6–267
Canned soft drinks	0.033–3.9
Milk	1.33–175

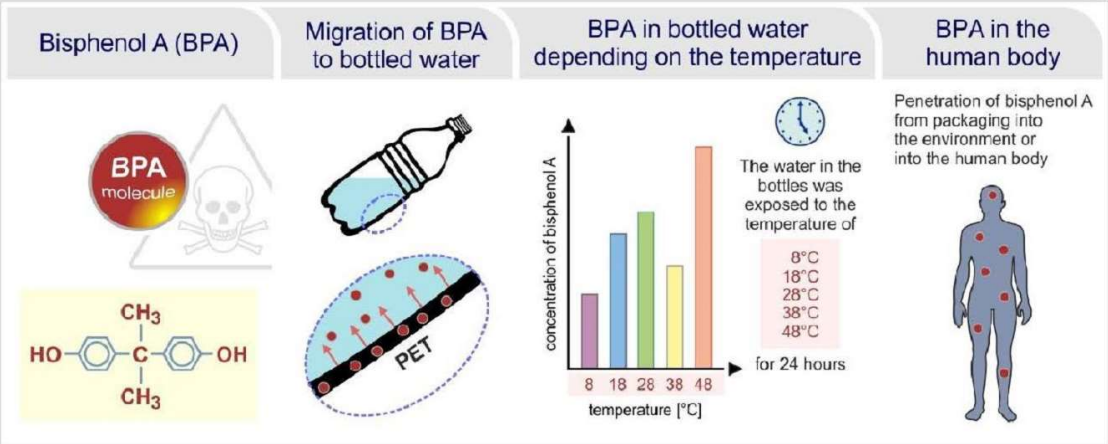
Sumber: (Manzoor et al., 2022).

Ketika Galon berbahan *Polycarbonate* dipakai secara berulang maka intrusi *Bisphenol A* ke air minum juga meningkat akibat dari perubahan tingkat permeabilitas galon, akibatnya *Bisphenol A* dapat terkandung pada air galon. Faktor lain yang menyebabkan konsentrasi *Bisphenol A* adalah kandungan mineral yang ada didalam air, *Bisphenol A* dapat terlepas dari bahan *Carbonate* ke air yang punya banyak mineral dari proses pemecahan polimer menjadi monomer yang dikatalis oleh jenis mineral salah satunya hidroksida. Selanjutnya faktor lain dapat berasal dari pH dan suhu air yang mengalami peningkatan dilihat pada (Gambar 2.2). Dan juga sudah terdapat studi yang menyebutkan konsentrasi *Bisphenol A* dapat meningkat akibat dari

intraksi ukuran partikel panas dari 3,10 – 6,24 mg/l menjadi 7,90 – 16,85 mg/l (Febriyantika et al., 2024).

Gambar 2.2 Pengaruh suhu terhadap konsentrasi *Bisphenol A*
Sumber: (Hryniewicka et al., 2019)

Bisphenol A di kemasan air minum belum dapat diketahui secara



langsung, itu dikarenakan tidak ada penanda khusus yang diberikan. Namun sebenarnya masyarakat dapat mengetahui penggunaan *Bisphenol A* di kemasan dengan bahan plastik *Polycarbonate* (PC) yaitu melalui kode daur ulang (Gambar 2.3). Kode daur ulang merupakan tanda yang dapat memberi informasi suatu kemasan aman atau tidak untuk dipergunakan. plastik *Polycarbonate* (PC) punya kode yaitu angka tujuh yang mengidentifikasi jenis plastik lain-lain (*others*) (Inas., 2022).

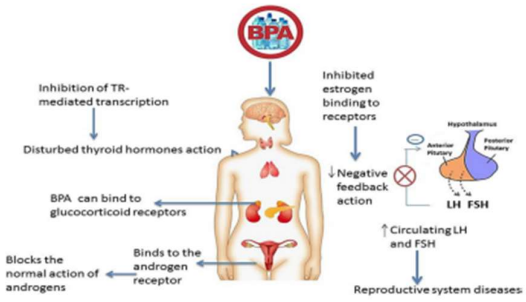
Kode "7" pada kemasan plastik, khususnya galon berbahan *Polycarbonate*, adalah bagian dari sistem *Resin Identification Code* (RIC) yang dikembangkan oleh *Society of the Plastics Industry*. Kode ini menandakan bahwa plastik tersebut termasuk kelompok "*Other*" atau "lain-lain", yang berarti materialnya bukan dari enam jenis plastik utama (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS), melainkan dari polimer lain seperti *Polycarbonate* (PC), *Acrylic*, atau campuran beberapa resin plastik

Gambar 2.3 Kode daur ulang.

2.1.3 Risiko Kesehatan Paparan *Bisphenol A*

Paparan *Bisphenol A* di tubuh manusia dapat dianalogikan sebagai estrogen yang jika kadarnya berlebih dapat meningkatkan risiko kanker. *Bisphenol A* meniru hormon seperti estrogen, menyebabkan pertumbuhan/ produksi sel berlebihan. Terdapat juga penelitian yang menyebutkan bahwa *Bisphenol A* dapat mengubah sensitivitas sel prostat akibatnya pria yang terpapar dalam waktu lama cenderung memliki kualitas sperma yang buruk, disfungsi seksualitas, dan gangguan kesuburan, Lebih lanjut *Bisphenol A* dapat mengganggu kelenjar endokrin, teroid (Kozioł et al., 2021).

Terdapat studi yang menguatkan bahwa sistem reproduksi lebih rentan terpapar gangguan *Bisphenol A* (Gambar 2.4). Sistem reproduksi mengalami gangguang perkembangan dan kelainan hormon, diketahui bahwa wanita yang memiliki penyakit PCOS menunjukan konsentrasi *Bisphenol A* yang lebih tinggi dari wanita sehat. BPA punya dampak buruk terhadap kehamilan yang dapat menyebabkan kelahiran prematur dan keguguran (Manzoor et al., 2022).



Gambar 2.4 efek buruk *Bisphenol A*

Sumber: (Manzoor et al., 2022).

2.1.4 *Endocrine Disruptor Chemicals* (EDCs)

Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) merupakan kelompok campuran bahan kimia yang berada di lingkungan (tanah, air, udara), kosmetik, makanan, dan produk manufaktur yang punya efek meniru dan mengganggu fungsi hormon. Banyak senyawa yang dapat dikategorikan sebagai senyawa EDCs, diantaranya yang dapat ditemukan di lingkungan seperti *Mycoestrogen, Polyaromatic Hydrocarbons, Zearalenone,* dan lainnya, serta yang dibuat secara sintetis seperti (*Bisphenol Analogues* dan *Per-and Polyfluoroalkylated Subtance*, dll). Rute paparan dari EDCs ini juga dapat melalui pernafasan/ terhirup melalui udara sekitar, tertelan melalui makanan atau minuman, dan juga melalui kulit. Namun pada kenyataannya air merupakan Jalur utama EDCs yang terkontaminasi secara oral (Lazofsky & Buckley., 2022).

Meskipun EDCs telah banyak dilarang pada beberapa negara, masih banyak pula yang membolehkan penggunaan bahan EDCs sebagai bahan sintetis tambahan pada suatu kemasan produk. Misalnya pada kaleng makanan, kemasan minuman, plastik, tabir surya yang mengandung paraben, parfum dan peralatan rumah sakit yang mengandung *Phathalates.* EDCs bisa mengganggu intraksi gen melalui perubahan molekuler, seluler, epigenetik dan fisiologis. Berikunya, telah dibuktikan bahwa EDCs dapat melewati plasenta yang dapat mengganggu perkembangan saraf dan *Neuroendokrin* pada janin, dapat menyebabkan obesitas, diabetes, kanker, dan gangguan reproduksi wanita dan juga pria (De Falco & Laforgia., 2021).

2.2 Pengaruh Paparan Panas Matahari Pada kemasan Air Minum Isi Ulang

Faktor lingkungan seperti suhu menjadi faktor domina, dimana paparan panas matahari akibat dari kebiasan toko untuk menyimpan galon yang dijual di taruh pada luar ruangan sehingga galon terpapar langsung terkena panas dari sinar matahari dalam jangka waktu yang lama, studi yang dilakukan (Gusnawati et al., 2023). menjelaskan secara signifikan dapat

meningkatkan konsentrasi *Bisphenol A* dari kemasan air depot isi ulang ke air minum, karena suhu tinggi dapat mendorong hidrolisis plastik *Polycarbonate* disertai pelepasan monomer *Bisphenol A*.

Paparan radiasi ultraviolet (UV) dari sinar matahari memperparah migrasi *Bisphenol A* melalui mekanisme *Photo-Oxidation*. Radiasi UV menyebabkan pemutusan ikatan kimia pada permukaan PC, membentuk radikal bebas yang merusak struktur polimer. Kombinasi suhu tinggi (48°C) dan paparan UV selama 24 jam meningkatkan konsentrasi *Bisphenol A* hingga 18,54 ng/L—hampir tiga kali lipat dibandingkan suhu rendah. Efek sinergis panas dan UV juga mengurangi kelarutan CO_2 dalam air, meningkatkan pH (7,9–8,7), dan mempercepat hidrolisis polimer melalui katalisis ion hidroksida (Esmer & Cagindi, 2020).

Proses pencucian galon dan penyikatan secara berulang juga dapat merusak permukaan plastik serta memicu reaksi hindrolisis akibat dari penggunaan deterjen yang bersifat basa sehingga mempercepat pelepasan *Bisphenol A*. Studi yang dilakukan simanjuntak, melaporkan bahwa galon PC yang dicuci dengan deterjen dan air panas mengalami peningkatan migrasi *Bisphenol A* akibat erosi permukaan plastik. Galon berusia lebih dari 2 tahun cenderung mengalami perubahan warna (kekuningan) yang mengindikasikan degradasi polimer akibat oksidasi dan paparan lingkungan berkepanjangan. Kerusakan struktural ini mengurangi ketahanan mekanis, membuat galon lebih rentan terhadap pelepasan BPA bahkan pada suhu ruang (Simanjuntak et al., 2016).

2.3 Regulasi Batas Maksimum Bisphenol A pada Kemasan Pangan

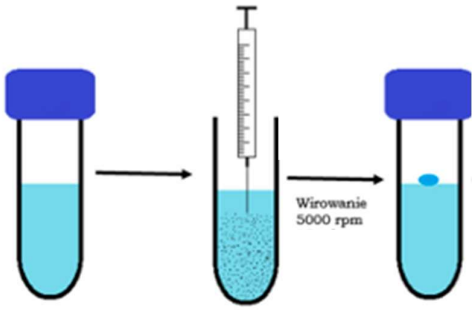
Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM RI) menetapkan batas migrasi maksimum *Bisphenol A* sebesar 0,6 ppm (mg/kg) untuk kemasan pangan, termasuk galon air minum, melalui Peraturan Kepala BPOM Nomor 20 Tahun 2019. Regulasi ini dirancang berdasarkan evaluasi risiko paparan kronis dan potensi gangguan endokrin, dengan mempertimbangkan pola konsumsi masyarakat Indonesia.

BPOM menggunakan pendekatan berbasis asupan harian yang dapat ditoleransi (TDI) dan data toksisitas jangka panjang, serta memperhitungkan faktor keamanan (*safety factor*) yang disesuaikan dengan kebiasaan penggunaan kemasan di Indonesia. Batas ini bertujuan melindungi konsumen dari efek kesehatan jangka panjang, seperti gangguan reproduksi dan risiko kanker, sambil tetap mempertimbangkan kelayakan teknis industri lokal.

European Food Safety Authority (EFSA) pada tahun 2023 merevisi *Tolerable Daily Intake* (TDI) *Bisphenol A* menjadi 0,2 nanogram per kilogram berat badan per hari (0,2 ng/kgBB/hari), menurunkan batas sebelumnya secara signifikan setelah mengevaluasi studi toksisitas terbaru yang menunjukkan efek imunologis, neurodevelopmental, dan gangguan metabolisme pada dosis rendah. EFSA menggunakan *Benchmark Dose Modeling* (BMD) dengan faktor keamanan (*safety factor*) untuk memastikan perlindungan kelompok rentan, termasuk anak-anak dan wanita hamil. Tambahan lagi, Uni Eropa melalui regulasi (EU) 2018 /213 menetapkan *Specific Migration Limit* (SML) *Bisphenol A* sebesar 0,05 ppm untuk material kontak pangan, yang berlaku ketat untuk produk seperti botol bayi dan kemasan makanan cair. Regulasi ini juga melarang penggunaan *Bisphenol A* dalam kemasan makanan untuk anak di bawah 3 tahun sejak 2018 (Santonicola et al., 2018).

2.4 *Dispersive Liquid-Liquid Micro Extraction*

Telah banyak prosedur yang dikembangkan untuk mengukur *Bisphenol A* yang salah satunya adalah metode ekstraksi *Dispersive Liquid-liquid Micro Extraction* (DLLME) (Gambar 2.5) yang menggunakan pelarut ekstarksi baru (non-klorinasi) yang punya kepadatan rendah dari air (Mandrah et al., 2017).



Gambar 2.5 Ekstrasi DLLME

Sumber: (Hryniewicka et al., 2019).

Dipspersive Liquid-liquid Micro Extraction (DLLME) pertama kali dikenalkan pada tahun 2006 untuk mengatasi masalah waktu pada metode *Liquid-Liquid Ekstraksi* (LLE), dengan metode DLLME memungkinkan pemisahan analit dan matriks secara cepat dalam waktu kurang lebih 10 menit tanpa perlu pengadukan secara mekanis (agilasi) (Loh et al., 2017).

Ekstraksi DLLME menggunakan pelarut dengan kepadatan yang lebih rendah dari kepadatan air dan titik beku yang mendekati dengan suhu ruangan. Larutan ekstraksi dan dispersi disuntikkan pada sampel air untuk membentuk larutan keruh. Setelah sampel berubah menjadi keruh, sampel dimasukkan kedalam alat sentrifugasi untuk dipisahkan lauran organik dan larutan berair (Liu et al., 2020).

Pada metode *Dispersive Liuid-liquid Micro Exktraction* (DLLME) penggunaan pelarut ekstraksi menjadi indikator untuk mecapai keberhasilan. Pelarut ekstraksi harus mempunyai karakteristik mencakup toksiksitas kecil, kelarutan terhadap air yang terbatas, volatilitas yang terbatas, titik leleh mendekati suhu kamar, dan tidak mengganggu atau membiaskan hasil pengujian, (Deniz et al., 2023).

2.5 *High Performance Liquid Chromatography*

High Performance Liquid Chromatography (HPLC) merupakan pembaruan dari metode kromatografi kolom yang dapat mendeteksi partikel

ukuran yang sangat kecil dengan luas permukaan yang besar sehingga sistem pemisahan dapat lebih baik. HPLC mempunyai prinsip kerja memisahkan komponen analit bedasarkan kepolarannya, setiap senyawa yang terkandung akan terdeteksi dengan detektor dan terekam dalam bentuk kromotogram. Dinyatakan dalam jumlah peak (jumlah komponen), dan luas peak (konsentrasi komponen).

Instrumen *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) mempunyai kelebihan dibandingankan dengan dengan instrumen Gas *Chromaography* (GC), yaitu instrumen HPLC dapat menganalisis zat yang tidak menguap (*volatile*) sedangkan instrumen GC zat yang tidak menguap (*volatile*) harus diuapkan dengan bantuan hidrogen baru bisa dianalisis. Lebih lanjut, keuntungan penggunaan instrumen HPLC dapat menganalisis sampel dengan ukuran yang sedikit. Prinsip pada HPLC adalah dengan menyuntikkan sampel ke dalam kolom fase diam, diikuti oleh pemompaan fase gerak menuju kolom dengan tekanan yang tinggi. Melalui pratisi antara fase gerak dan fase diam dimana fase gerak untuk mengelusi sehingga mencapai detektor.

a. Fase Diam HPLC

   Fase diam yang digunakan analisis HPLC berupa silica yang telah dimodifikasi secara kimia *Oktadesil Silika* (ODS/ C18), silika ini memiliki sifat yang mampu memisahkan senyawa dengan berbagai tingkat kepolaran karena memberikan interaksi hidrofobik, fase gerak yang kompatibel terhadap silika C18 diantaranya *Methanol, Acetone, dan Ethanol* (Ottaviani et al., 2010).

b. Fase Gerak HPLC

   Fase gerak atau eluen adalah pelarut yang mempunyai peran dalam daya elusi dan resolusi. Daya elusi dan resolusi tergantung pada polaritas keseluruhan pelarut, polaritas fase diam, dan jenis komponen pada sampel. Untuk mendapatkan hasil yang baik diperlukan pemilihan reagen yang mampu memisahkan senyawa dari campuran secepat/sepraktis mungkin. Fase gerak yang digunakan untuk analisis

dianjurkan menggunakan reagen yang bersih dari pengotor, jika terdapat pengotor atau partikulat pada fase gerak maka ada kemungkinan sampel yang diuji gagal (kekosongan pada kolom) karena kolom mengalami penyumbatan akibat partikel yang terkumpul (Miao et al., 2009).

2.6 Penelitian Sebelumnya

Terdapat peneliti sebelumya yang dapat dilihat pada (Tabel 2.1) yang telah melakukan berbagai penelitian untuk pengecekan kandungan *Bisphenol A* pada sampel air, hal ini dapat menjadi acuan kegiatan penelitian untuk menganalisis *Bisphenol A* pada sampel air air minum depot isi ulang dengan metode *High Performance Liquid Chromatography.*

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

No	Nama Penelitian	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Hikmah & Arpah	2024	Perbandingan Konsentrasi Monomer *Bispenol A* pada kemasan air minum plastik *Polycarbonate* (PC) dan *Polietilena Tereftalat* (PET): kajian meta-analisis.	Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan jumlah konsentrasi monomer *Bisphenol A* pada air minum yang dikemas dengan botol plastic PC dan PET serta menentukan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi BPA dengan metode *PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome*) dengan aspek P: Air minum, I: Penggunaan kemasan plastik PC dan PET, C: Air minum tanpa kemasan,

No	Nama Penelitian	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
				dan O: Perbandingan migrasi antara air minum dalam kemasan plastik PC dan PET. Penelitian ini menggunakan meta-analisis untuk membandingkan perpindahan *bisphenol A* pada kemasan berbahan *Polycarbonate* dan *Polyethylene Terephthalate.* Penelitian ini menunjukkan bahwa migrasi monomer *Bispenol A* pada kemasan air minum plastik *Polycarbonate* (PC) lebih tinggi dibandingkan dengan kemasan *Polietilena Tereftalat* (PET). Hasil meta-analisis mengindikasikan bahwa berbagai faktor, seperti suhu penyimpanan dan lama penyimpanan, secara signifikan mempengaruhi tingkat migrasi *Bisphenol A.*
2.	Loh et al	2017	Ekstraksi Cepat *Bisphenol A* dengan *Dipspersive Liquid-liquid*	*Dipspersive Liquid-liquid Micro Extraction of Floating Oraganic.* (DLLME-SFO) untuk ekstraksi cepat *bisphenol A* dari air dan

No	Nama Penelitian	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			Micro Extraction Solidfication of Floating Organic.	minuman ringan. Teknik ini menggunakan 1-*Undechanol* sebagai pelarut ekstraksi karena memiliki densitas dan titik leleh yang rendah serta afinitas yang tinggi terhadap analit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik DLLME-SFO-HPLC-FD merupakan pendekatan yang sederhana dan meminimalkan penggunaan pelarut, yang secara signifikan memperpendek waktu analisis dan menunjukkan sensitivitas serta selektivitas yang tinggi dalam menganalisis kadar B*isphenol A*.
3	Febriyantika et al	2024	Identifikasi pengaruh suhu dan waktu penyimpanan terhadap kandungan *Bisphenol A* dalam sampel air galon *Polycarbonate*	Temuan BPOM menunjukkan adanya kontaminasi *Bisphenol A* yang signifikan pada air yang disimpan dalam wadah galon *Polycarbonate* yang biasa digunakan masyarakat Indonesia. Adanya cemaran ini dikarenakan kesetabilan dari *Bisphenol A* yang terpengaruh oleh faktor

No	Nama Penelitian	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			serta validasi metode pengukurannya dengan spektrofotometri uv-vis.	penyimpanan seperi suhu Dimana galon disimpan dan lama minimum atau makanan berkontak dengan plsatik *Polycarbonate*. Penelitian menunjukkan bahwa kadar BPA dalam air galon yang diuji melebihi batas yang ditetapkan oleh BPOM, yaitu 0,6 ppm. Kadar BPA tertinggi ditemukan pada sampel yang disimpan di luar ruangan (32°C) selama 16 hari, mencapai 2,426 ppm.
4	Bojke et al	2023	Determination of *Bisphenol A*(BPA) in the port of Gdynia Waters Using Gas *Chromatograph* Coupled with Mass Spectrometry	Penentuan *Bisphenol A* dalam air laut di Pelabuhan Gdynia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Penelitian ini menguji dua metode persiapan sampel, yaitu dengan dan tanpa tahap derivatisasi, untuk menemukan yang paling efisien. Hasil analisis menunjukkan konsentrasi *Bisphenol A* berkisar antara 0,01 µg/L hingga 0,03 µg/L di

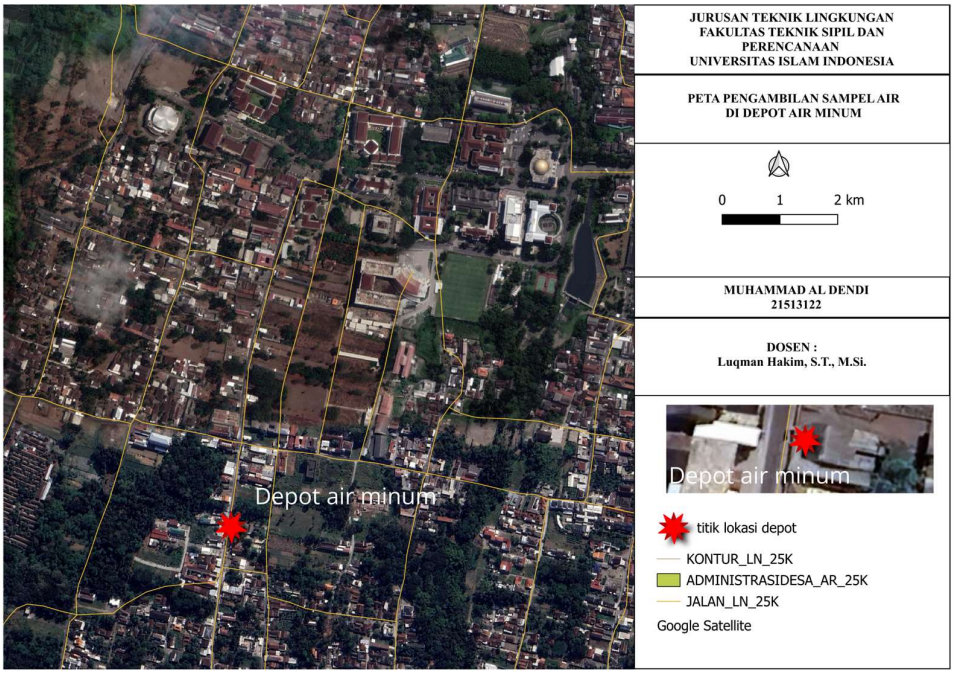
No	Nama Penelitian	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
				berbagai area pelabuhan. Proses validasi dilakukan dengan menentukan parameter seperti batas deteksi (LOD), batas kuantifikasi (LOQ), linearitas, dan presisi, menunjukkan bahwa metode dengan derivatisasi memberikan hasil yang lebih sensitif dan akurat dalam mendeteksi *Bisphenol A*.
5	Lubis et al	2021	Analisis *Bisphenol A* pada Air Galon *Polycarbonate* yang Disimpan dan Diberi Perlakuan Air Panas menggunakan *Spectrofotometry* UV	Mengetahui kadar migrasi BPA pada air galon berbahan Polycarbonate yang disimpan pada suhu ruang dan setelah perlakuan air panas. . Pada galon tidak bermerk yang disimpan pada suhu sekitar 30°C, kandungan *Bisphenol A* terdeteksi pada ketiga sampel air dengan konsentrasi masing-masing 0,0257 ppm, 0,0234 ppm, dan 0,0211 ppm. Untuk menguji pengaruh suhu terhadap migrasi *Bisphenol A*, sampel air pada galon tersebut juga diberi perlakuan berupa

No	Nama Penelitian	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
				penambahan air panas bersuhu 100°C. Hasilnya, kandungan *Bisphenol A* yang terdeteksi pada ketiga sampel air meningkat menjadi 0,0468 ppm, 0,0495 ppm, dan 0,0445 ppm. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan suhu secara signifikan meningkatkan migrasi BPA ke air galon *Polycarbonate*, meskipun masih aman menurut regulasi yang berlaku.
6	Diepsen et al	2009	*Photodegradation and Stability of Bisphenol A Polycarbonate in Weathering Conditions*	Mekanisme pelepasan *Bisphenol A* (BPA) dari *Polycarbonate* melalui proses hidrolisis termal dan fotodegradasi. Proses ini dipercepat oleh paparan suhu tinggi dan radiasi UV, yang menyebabkan degradasi polimer dan peningkatan risiko pelepasan BPA ke dalam air.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian "Identifikasi *Bisphenol A* pada Sampel Air Minum Depot Isi Ulang dengan Metode *High Performance Liquid Chromotography*" dilakukan pada bulan Febuari 2024. Lokasi penelitian akan dilakukan di Laboratorium Analisis Risiko Lingkungan, Universitas Islam Indonesia. Sampel diambil dari depot air minum di Jalan Pandanaran - UII, Candi Winangun, Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dengan koordinat garis lintang 7°41'35.03"S dan gairs bujur 110°24'37.56"E. Depot air minum berlokasi dekat dengan pemukiman warga dan area kost. Sumber air yang dipakai oleh depot air minum ini berasal dari sumur dangkal milik pribadi dengen kedalaman kurang dari 30 meter. Titik pengambilan sampling air telah sesuai dengan koordinat di *google earth* terlihat pada (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Air

3.2 Alat dan Bahan

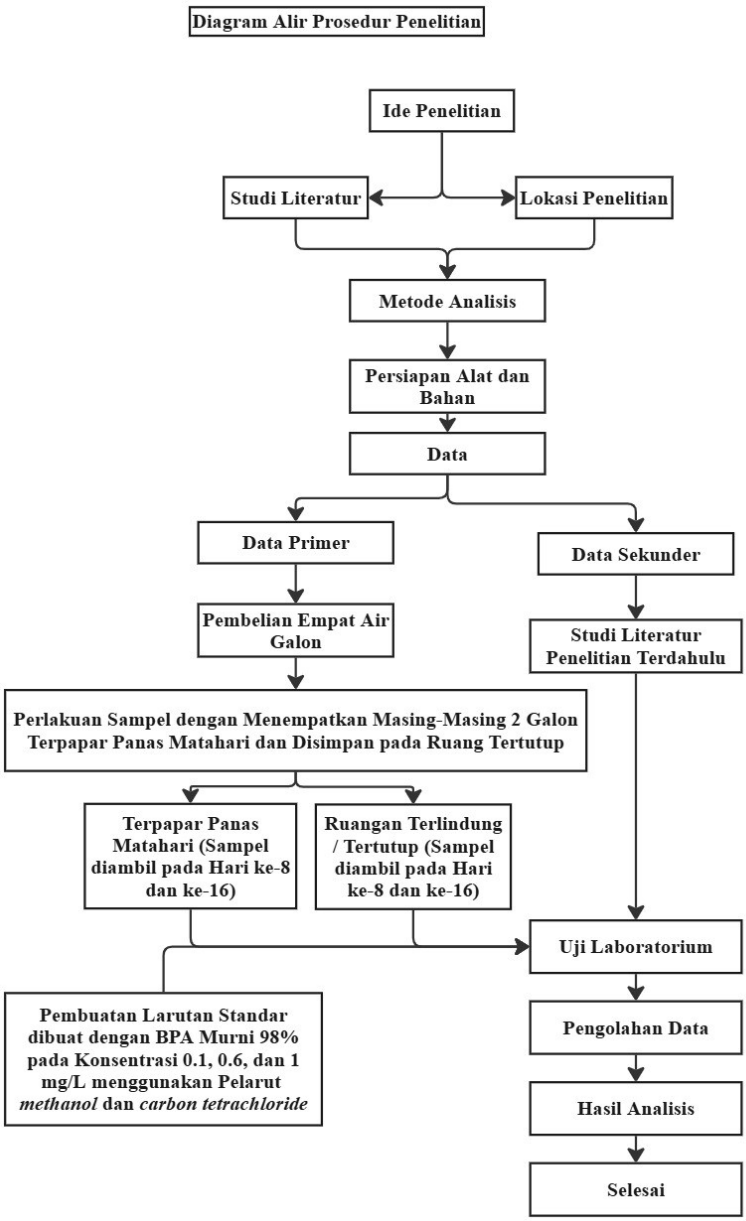
Pada penelitian dengan judul analisis *Bisphenol A* pada sampel air minum depot isi ulang dengan metode *High Performance Liquid Chromatography* membutuhkan alat dan bahan terlihat pada (Tabel 3.1) yang digunakan untuk pengambilan sampel, uji *in situ*, dan uji laboratorium.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No	Jenis Alat	Nama Alat	Jumlah	Satuan
1	Alat Sampel dan Uji *In Situ*	Galon *Polycarbonate*	4	Buah
2		*Cool box*	1	Buah
3		Alat Ukur Suhu	1	Buah
4		Botol Sampel Coklat 100 mL	8	Buah
5		Alat Ukur pH	1	Buah
6	Alat Uji Laboratorium	Botol Sentrifus	8	Buah
7		Instrumen Sentrifus	1	Buah
8		Pipet Ukur 0,5 mL dan 1 mL	1	Buah
9		Vial 2 mL	8	Buah
10		Spatula	1	Buah
11		Suntikan	8	Buah
12		Lemari Asam	1	Buah
13		Neraca Analitik	1	Buah
14		*High Performance Liquid Chromotography*	1	Buah
15	Bahan Uji	BPA murni 98%	1	Mg
16		*Etanol*	8	mL
17		*Carbon Tetrachloride*	4	mL
18		*Methanol*	4	mL
19		Aquades	-	mL
20		Air Galon	100 x 8	mL

3.3 Tahap Penelitian

Prosedur analisis data dilakukan beberapa tahap penelitian yang dapat dilihat pada (Gambar 3.2) dengan model diagram alir penelitian yang dimulai dari ide penelitian, studi literatur, penentuan lokasi penelitian, metode analisis, persiapan alat dan bahan, pengambilan data primer dan sekundar hingga selesai.



Gambar 3.2 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.4 Pengumpulan Data

Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui pengamatan langsung, yaitu dengan cara mengambil sampel air menggunakan galon berbahan *Polycarbonate*. Sampel tersebut kemudian diberikan perlakuan tertentu dan diuji konsentrasi *Bisphenol A* di Laboratorium Terpadu UII. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari literatur ilmiah seperti penelitian terdahulu, jurnal, buku, dan sumber-sumber lain yang relevan. Data sekunder ini digunakan sebagai penunjang dalam penyusunan rumusan masalah serta sebagai data pendukung yang menggambarkan kondisi penelitian.

3.4.1 Wadah Galon *Polycarbonate* Pada Sampel Air Minum Depot Isi Ulang

Dalam penelitian ini menganalisis air minum isi ulang menggunakan galon berbahan *Polycarbonate* sebagai wadah sampel air minum depot isi ulang. Galon *Polycarbonate* dipilih karena merupakan jenis kemasan plastik yang umum digunakan dalam distribusi air minum isi ulang di Indonesia. Material ini dikenal memiliki sifat mekanik yang kuat, tahan terhadap suhu, dan transparan sehingga praktis untuk penggunaan berulang. Namun, galon *Polycarbonate* juga mengandung senyawa *Bisphenol A*, yang berpotensi memiliki konsentrasi ke dalam air minum terutama saat galon terpapar panas atau disimpan dalam jangka waktu lama.

Gambar 3. 3 Kode dibalik Galon *Polycarbonate*
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

Kode "7" pada kemasan plastik, khususnya galon berbahan *Polycarbonate* adalah bagian dari sistem *Resin Identification Code* (RIC) yang dikembangkan oleh *Society of the Plastics Industry*. Kode ini menandakan bahwa plastik tersebut termasuk kelompok "Other" atau "Lain-lain", yang berarti materialnya bukan dari enam jenis plastik utama (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS), melainkan dari polimer lain seperti *Polycarbonate* (PC), *Acrylic*, *Nylon*, atau campuran beberapa resin plastik. *Polycarbonate* sendiri dipilih untuk galon air minum karena sifatnya yang kuat, tahan suhu, dan transparan, namun kelemahannya adalah potensi migrasi *Bisphenol A* ke dalam air, terutama jika terpapar panas atau digunakan dalam jangka waktu lama. Penelitian yang dilakukan oleh Febriyantika et al. (2024) menegaskan bahwa galon berkode 7 yang berbahan *Polycarbonate* dapat melepaskan *Bisphenol A* ke air minum, sehingga penting memperhatikan cara penggunaan dan penyimpanan galon tersebut agar tetap aman dikonsumsi (Febriyantika et al, 2024).

Selain kode angka, pada kemasan galon (Gambar 3.3) sering ditemukan simbol garpu dan gelas. Simbol ini menandakan bahwa wadah tersebut telah memenuhi standar *food grade*, yaitu aman digunakan untuk kontak langsung dengan makanan dan minuman. Standar ini merujuk pada regulasi keamanan pangan internasional dan nasional, memastikan bahwa bahan plastik tidak akan mencemari makanan/minuman yang disimpan di dalamnya selama digunakan sesuai petunjuk. Namun penting untuk diketahui bahwa keberadaan simbol *food grade* tidak otomatis produk tersebut bebas *Bisphenol A*, terutama untuk plastik dengan kode 7 (PC). Oleh karena itu, konsumen disarankan untuk memilih produk dengan label "*food grade*" sekaligus memperhatikan kode bahan plastiknya, serta menghindari penggunaan galon *Polycarbonate* yang sudah tua, retak, atau sering terpapar panas. Dari sudut pandang ilmiah dan regulasi, penggunaan galon *Polycarbonate* berkode 7 masih diperbolehkan selama kadar migrasi *Bisphenol A* tidak melebihi batas yang ditetapkan, yaitu 0,6 ppm menurut BPOM RI dan 0,05 ppm menurut EFSA (*European Food Safety Authority*).

3.4.2 Pengumpulan Sampel Air Minum Depot Isi Ulang di Wadah Galon *Polycarbonate*

Pengambilan sampel dilakukan dengan membeli air galon sesuai lokasi yang ditentukan (Gambar 3.4) yaitu pada depot air minum di Jalan Pandanaran-UII, Candi Winangun, Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat garis lintang 7°41'35.03"S dan garis bujur 110°24'37.56". Sampel yang digunakan berupa 4 air galon berbahan *Polycarbonate* berkode "7" yang terduga mengandung *Bisphenol A*.

Dalam penelitian ini, sampel air yang digunakan merupakan air galon dari depot isi ulang air minum yang umum beredar di masyarakat, bukan air mineral hasil proses penyaringan Reverse Osmosis (RO). Air depot isi ulang tersebut umumnya diproses dengan metode penyaringan standar seperti

filtrasi mekanik, dan disinfeksi UV, tanpa langkah penyaringan RO yang memiliki kemampuan menyaring molekul sangat kecil secara efektif.

Gambar 3. 4 Pembelian Sampel Air Galon
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024).

3.4.3 Perlakuan dan Persiapan Sampel Uji

Sampel yang sudah dikumpulkan berupa empat air galon berbahan *Polycarbonate* yang terduga mengandung *Bisphenol A* yang dibagi menjadi dua kelompok. Sebanyak dua galon diberi perlakuan yaitu disimpan pada ruangan tertutup dengan suhu ruangan 21 – 24 °C, dua galon diberi perlakuan yaitu dibiarkan pada area terbuka dan terpapar dengan panas matahari. Pengambilan sampel akan dilakukan dua kali yaitu pada hari ke-8, dan hari ke-16 untuk mengetahui pengaruh panas matahari dan penyimpanan ruang tertutup terhadap konsentrasi senyawa *Bisphenol A*. Pengambilan sampel pengujian kualitas air dilakukan dengan cara:

a. Siapkan alat pengambil sampel.
b. Bilas alat berulang sebanyak 3 kali dengan sampel uji.
c. Ambil sampel yang dibutuhkan.

d. Lakukan pengawetan sampel uji.

3.4.4 Pengawetan Sampel Uji

Pengawetan sampel uji dilakukan supaya sampel yang telah diambil dari lokasi perlakukan awet saat dibawa ke Laboratorium Kualitas Lingkungan untuk diuji konsentrasi *Bisphenol A*. Pengawetan sampel uji dilakukan untuk menghindari kontaminasi zat asing yang dapat mengganggu, meningkatkan atau menurunkan kandungan *Bisphenol A*. Pengawetan dilakukan menggunakan wadah botol sampel berwarna coklat dengan ukuran 100 mL dan disimpan pada *Box* pendingin dengan temperatur 4°C kemudian disimpan pada lemari es. Menurut Badan perlindungan Alam Amerikat Serikat (*U.S Environmental Protection Agency* (U.S EPA)) sampel yang sudah diawetkan dapat disimpan maksimal 7 hari, dan maksimal 40 hari setelah ekstraksi.

3.4.5 Pengawetan Sampel Uji

Pengawetan sampel uji dilakukan supaya sampel yang telah diambil dari lokasi perlakukan awet saat dibawa ke Laboratorium Kualitas Lingkungan untuk diuji konsentrasi *Bisphenol A*. Pengawetan sampel uji dilakukan untuk menghindari kontaminasi zat asing yang dapat mengganggu, meningkatkan atau menurunkan kandungan *Bisphenol A*. Pengawetan dilakukan menggunakan wadah botol sampel berwarna coklat dengan ukuran 100 mL dan disimpan pada *Box* pendingin dengan temperatur 4°C kemudian disimpan pada lemari es. Menurut Badan perlindungan Alam Amerikat Serikat (*U.S Environmental Protection Agency* (U.S EPA)) sampel yang sudah diawetkan dapat disimpan maksimal 7 hari, dan maksimal 40 hari setelah ekstraksi.

3.5 Metode Analisis Data

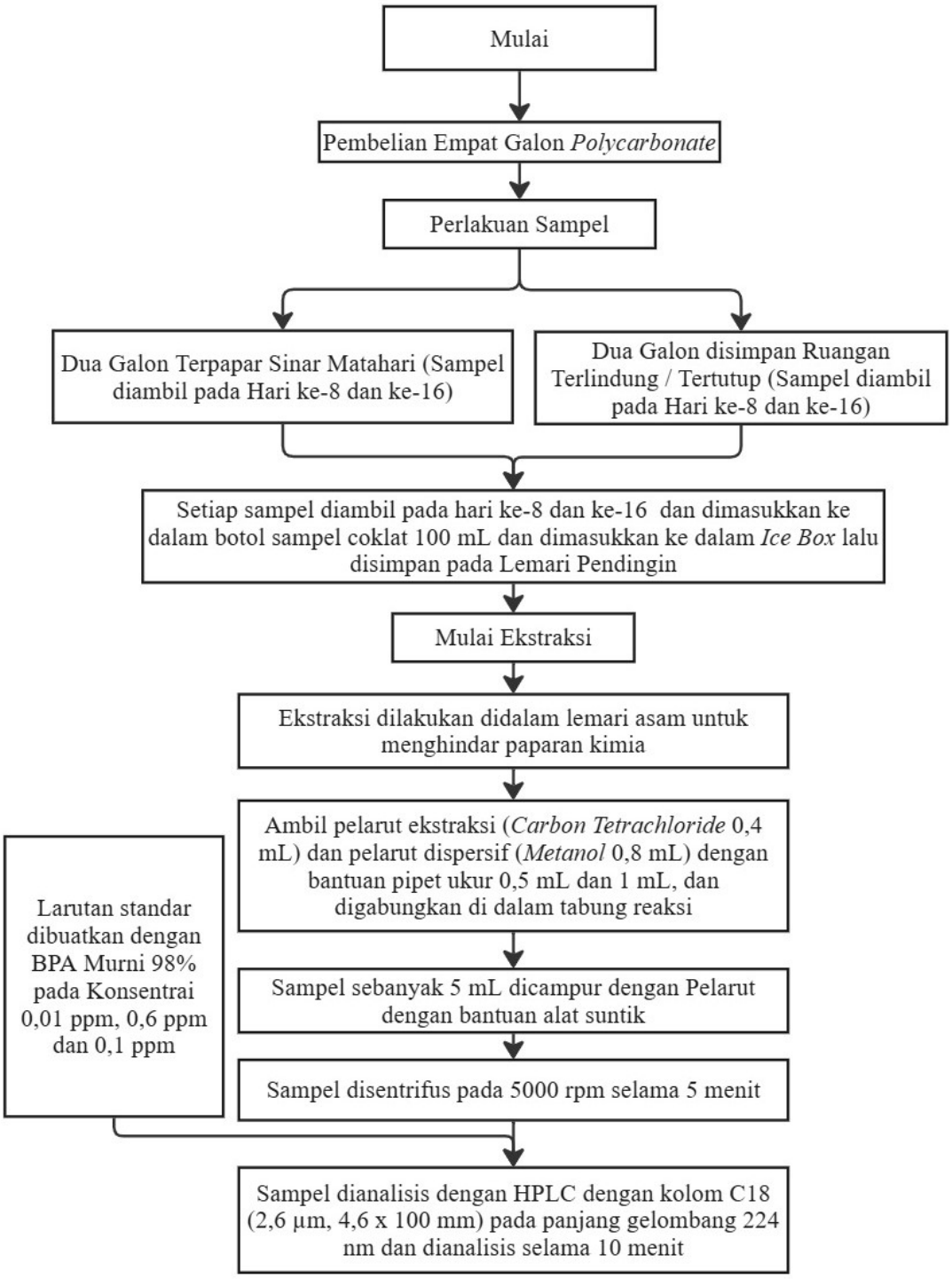
Metode ekstraksi Dispersive Liquid-Liquid Microextraction (DLLME) telah diakui secara luas sebagai teknik yang sangat efektif, sensitif,

dan ramah lingkungan untuk isolasi dan pra-konsentrasi *Bisphenol A* (BPA) dari berbagai matriks air, termasuk air galon berbahan *Polycarbonate*. DLLME menawarkan keunggulan berupa waktu ekstraksi yang singkat, kemudahan prosedur, penggunaan pelarut organik dalam jumlah yang sangat sedikit, serta efisiensi pengayaan analit yang tinggi. Studi-studi mutakhir menegaskan bahwa DLLME mampu memberikan hasil ekstraksi yang sangat baik dengan recovery rata-rata di atas 80%, bahkan dalam matriks kompleks seperti air limbah atau cairan biologis (Mahdavianpour et al., 2021).

Pada penelitian ini dipilih metode ekstraksi *Dispersive Liquid-Liquid Microextraction* (DLLME) yang dikombinasikan dengan analisis menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk mengidentifikasi kandungan *Bisphenol A* (BPA) pada sampel air galon berbahan *Polycarbonate.* DLLME menawarkan keunggulan berupa proses ekstraksi yang cepat dan efisien, dengan penggunaan pelarut organik dalam jumlah yang sangat sedikit sehingga lebih ramah lingkungan dan hemat biaya. Prosedur ini melibatkan penambahan pelarut dispersi, seperti *Methanol*, dan pelarut ekstraksi, seperti *Carbon Tetrachloride*, ke dalam sampel air. Campuran tersebut kemudian dikocok hingga membentuk larutan keruh (emulsi halus), yang secara signifikan meningkatkan luas permukaan kontak antara fase organik dan air, sehingga mempercepat perpindahan BPA ke fase ekstraksi. Setelah proses ekstraksi selesai, campuran tersebut dipisahkan melalui sentrifugasi untuk memisahkan fase organik yang mengandung *Bisphenol A* dari fase air. Fase organik yang telah dipisahkan kemudian dianalisis menggunakan HPLC dengan kolom C18, yang dikenal memiliki kemampuan pemisahan yang tinggi serta sensitivitas deteksi yang baik. Pada analisis *Bisphenol A*, deteksi biasanya dilakukan pada panjang gelombang 224 nm, yang merupakan panjang gelombang maksimum serapan *Bisphenol A,* sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dan sensitif. Kombinasi metode DLLME dan HPLC ini telah terbukti efektif dalam mengekstraksi dan menganalisis *Bisphenol A* pada berbagai matriks air, termasuk air galon berbahan polycarbonate (Loh et al., 2017).

Tambahan lagi, studi oleh Rodriguez memvalidasi metode *High Performance Liquid Chromatograhpy* UV-Vis untuk penentuan migrasi *Bisphenol A* dari botol bayi, menunjukkan linearitas yang baik pada rentang konsentrasi 0,01–0,6 mg/kg dengan LOD sebesar 0,004 mg/kg dan LOQ sebesar 0,01 mg/kg. Metode ini menunjukkan *repeatability* tinggi dan *recovery* yang memuaskan, menegaskan bahwa HPLC merupakan teknik yang baik untuk analisis *Bisphenol A* (Rodriguez et al., 2019). Penelitian lain oleh Mahdavianpour juga mengonfirmasi bahwa kombinasi DLLME dan HPLC-DAD memberikan limit deteksi yang sangat rendah (0,001 ng/g) serta *recovery* tinggi, sehingga metode ini cocok untuk analisis *Bisphenol A* pada sampel makanan dan minuman kemasan (Mahdavianpour et al., 2021).

Untuk menganalisis konsentrasi *Bisphenol A* pada air galon berbahan *Polycarbonate* yaitu dengan bantuan metode ekstraksi *Dispersive Liquid-liquid Micro Extraction* (DLLME) dan instrument *High Performance Liquid Chromotography* (HPLC) dapat dilihat pada (Gambar 3.3) yang dijabarkan dengan *flowchart* megikuti metode yang dijelaskan (Mahdavianpour et al., 2021).



Gambar 3.5 Flowchart Pengujian *Bisphenol A*

3.5.1 Pelarut Ekstraksi

Pemilihan pelarut pada metode ekstraksi DLLME sangat penting untuk mencapai efisiensi, kepekaan, dan selektivitas ekstraksi analit seperti *Bisphenol A* (BPA). Dalam penelitian ini, *Carbon Tetrachloride* digunakan sebagai pelarut ekstraksi dan *Methanol* sebagai pelarut dispersif. *Carbon Tetrachloride* dipilih karena kepadatan yang tinggi dan sifat hidrofiliknya yang memungkinkan pelarut ini mudah memisah dari fase air saat sentrifugasi, sehingga dapat mengekstrak BPA secara optimal dari matriks air. *Methanol* berfungsi sebagai pelarut dispersif yang dapat bercampur baik dengan air dan pelarut organik, sehingga memungkinkan terbentuknya emulsi halus yang memperbesar luas permukaan kontak antara pelarut ekstraksi dan air sampel. Kombinasi dua pelarut ini menunjukkan efisiensi ekstraksi yang tinggi untuk BPA dan telah banyak direkomendasikan dalam literatur, termasuk dalam review oleh (Tan et al., 2018), yang menyimpulkan *Carbon Tetrachloride-methil* alkohol adalah salah satu pasangan pelarut paling efektif dan praktis, terutama karena ketersediaannya yang tinggi di laboratorium serta performa pemisahan yang baik.

Tambahan lagi, penelitian oleh (Mahdavianpour et al., 2021), juga menggunakan kombinasi *Carbon Tetrachloride* dan *Methanol* dalam aplikasi DLLME untuk BPA, serta menegaskan bahwa sistem dua pelarut ini mampu memberikan nilai recovery yang baik, waktu ekstraksi yang singkat, dan hasil analisis yang konsisten. Dipilihnya *Carbon Tetrachloride* dan *Methanol* dalam penelitian ini juga didasarkan pada pertimbangan praktis, yakni ketersediaan pelarut yang mudah didapat di laboratorium analitik universitas dan tidak memerlukan alat khusus untuk aplikasi rutin. Berikut merupakan perbandingan beberapa pasangan pelarut DLLME berdasarkan referensi dapat dilihat pada (Tabel 3.2) Perbandingan Pelarut Ekstraksi.

Tabel 3. 2 Perbandingan Pelarut Ekstraksi

Pelarut Ekstraksi	**Pelarut Dispersif**	**Alasan Pemilihan**	**Sumber**
Carbon Tetrachloride	*Methanol*	Efisien ekstraksi BPA, kepadatan tinggi, sangat tersedia di laboratorium, recovery sangat baik.	(Tan et al., 2018), Mahdavianpour et al., 2021
Chlorobenzene	*Acetone*	Efisiensi tinggi, tidak tersedia di laboratorium.	(Tan et al., 2018)
Tetrachloroethylene	*Ethanol*	Alternatif dengan efisiensi hampir setara, tidak tersedia di laboratorium.	(Liu et al., 2020).

3.5.2 Ekstraki Sampel

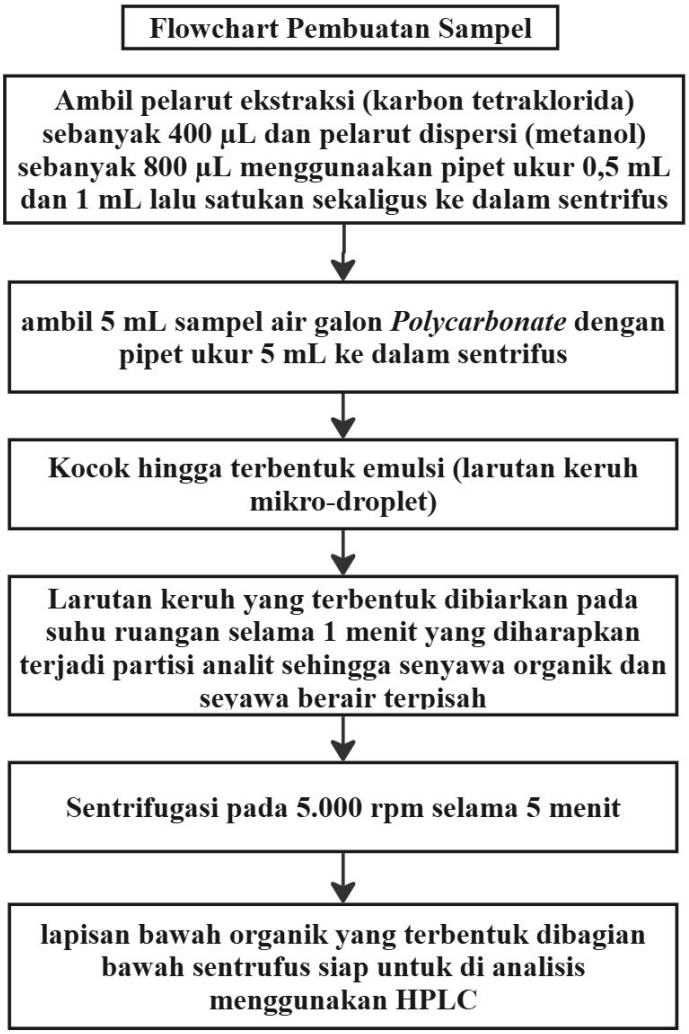
Prosedur ekstraksi sampel dengan metode DLLME melibatkan pencampuran pelarut dispersi dan pelarut ekstraksi ke dalam sampel air, sehingga terbentuk larutan keruh (*cloudy solution*) yang meningkatkan luas permukaan kontak antara fase organik dan air. Proses ini mempercepat perpindahan analit yaitu *Bisphenol A* ke fase pelarut ekstraksi. Setelah pembentukan larutan keruh, campuran disentrifugasi pada kecepatan optimal, umumnya 5000 rpm selama 5 menit, untuk memisahkan fase ekstraksi yang mengendap di dasar tabung. Fase ekstraksi yang terkonsentrasi ini kemudian

diambil dan dianalisis menggunakan instrumen *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk mengetahui kandungan. Metode ini telah banyak diadopsi dan divalidasi dalam berbagai penelitian analitik karena kecepatan, efisiensi, dan penggunaan pelarut yang sedikit sehingga ramah terhadap lingkungan. Pada metode DLLME, pelarut ekstraksi dan pelarut dispersif langsung ditambahkan ke dalam volume sampel yang biasanya sudah dalam jumlah kecil. Pelarut dispersif yang bersifat *Miscible* dengan air membantu membentuk dispersi atau emulsi halus dari pelarut ekstraksi di dalam sampel, sehingga meningkatkan kontak antara analit dengan pelarut ekstraksi tanpa perlu menambah volume sampel secara berlebihan. Setelah proses pencampuran dan sentrifugasi, fase ekstraksi yang mengandung analit terpisah dan siap dianalisis tanpa harus menjalani proses pengenceran ulang (Mahdavianpour et al., 2021).

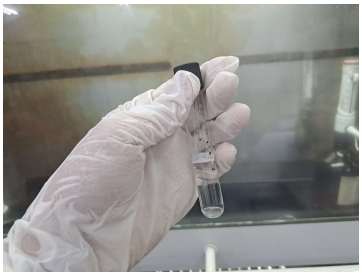
Metode Dispersive Liquid-Liquid Microextraction (DLLME) merupakan teknik ekstraksi yang menggunakan volume pelarut dispersif dan ekstraksi yang sangat kecil dan langsung dicampurkan ke dalam sampel tanpa perlu pengenceran awal. Proses ini membentuk emulsi halus antara pelarut ekstraksi dan sampel air yang memperbesar area kontak dan memungkinkan perpindahan analit secara cepat dan efisien ke fase organik. Volume sampel yang digunakan dalam DLLME umumnya kecil, sehingga tidak diperlukan pengenceran sebelum ekstraksi untuk mempertahankan sensitivitas metode. Pengenceran awal dapat menurunkan efisiensi ekstraksi (Cheng et al., 2010).

Pada penelitian ini dibuat pelarut dengan *Carbon Tetrachloride* sebanyak 0,4 mL (pelarut ekstraski) dan *Methanol* sebanyak 0,8 mL (pelarut dispersi) dicampurkan di tabung sentrifus. Lalu sebanyak 5 mL sampel disuntikan ke dalam sentrifus yang berisi pelarut. Larutan keruh yang terbentuk dibiarkan pada suhu ruangan selama 1 menit yang diharapkan terjadi partisi analit sehingga senyawa organik dan seyawa berair terpisah kemudian tabung disentrifus pada 5000 rpm selama 5 menit, lapisan organik yang terbentuk dibawah larutan siap untuk di analisis menggunakan instrumen *High Performance Liquid Chromatography*.

Berikut flowchart pembuatan larutan sampel (Gambar 3.6) dan dokumentasi saat melakukan ekstraksi sampel (Gambar 3.7) dimana terbentuk endapan di dasar tabung sentrifus dan dokumentasi saat proses sentrifus selama 5 menit pada 5000 rpm (Gambar 3.8).



Gambar 3. 6 Flowchart Pembuatan Larutan Sampel



Gambar 3. 7 Pembentukan Endapan Sampel

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024)

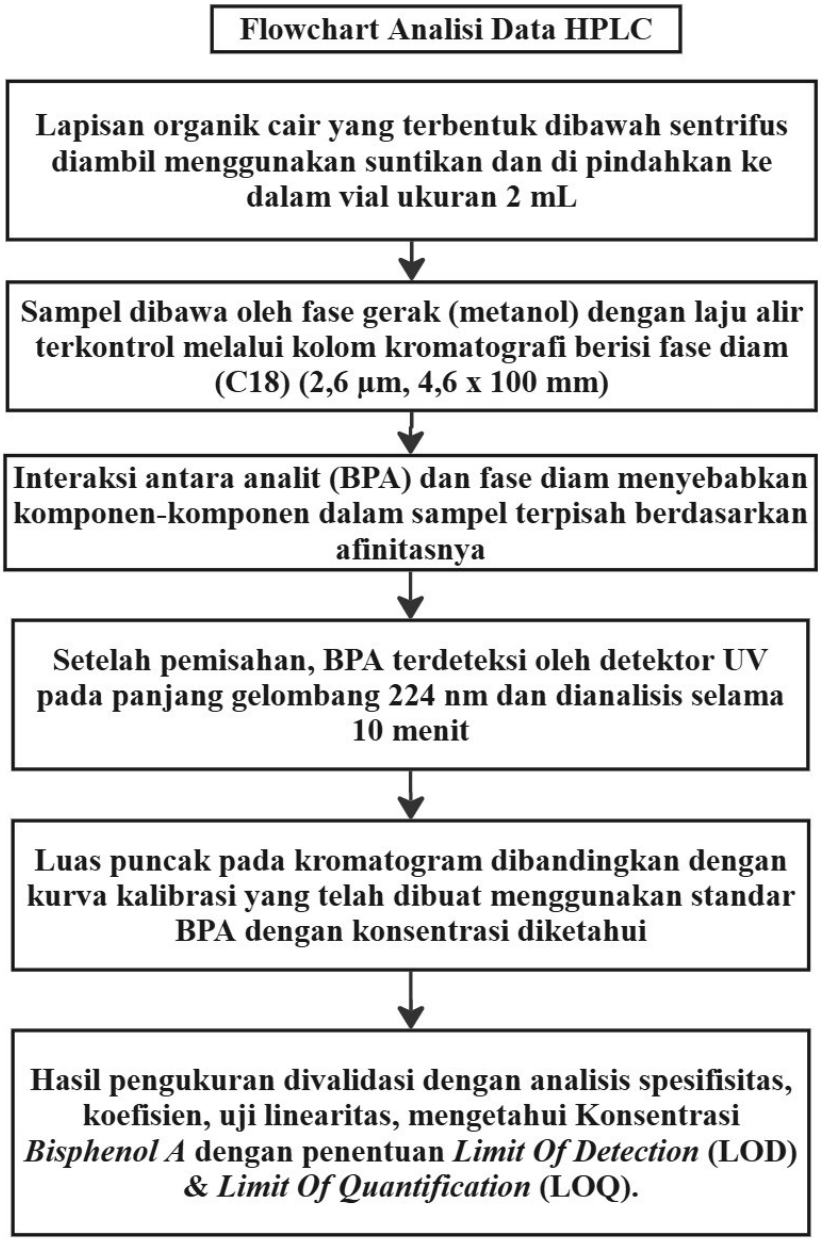
Gambar 3. 8 Sentrifugasi Sampel Uji

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024).

3.5 Analisis Data *High Performance Liquid Chromatograph* (HPLC)

Analisis pengujian dengan instrumen *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dilakukan untuk menentukan kandungan senyawa *Bisphenol A* secara kualitatif dan kuantitatif pada sampel air galon berbahan *Polycarbonate*. Pengujian menggunakan kolom C18 dengan ukuran partikel 2,6 µm dan dimensi 4,6 x 100 mm, serta laju aliran fase gerak sebesar 0,5 mL/menit. Volume injeksi dipantau pada panjang gelombang 224 nm selama durasi analisis 10 menit. Dibawah ini dapat dilihat pada (Gambar 3.9) yang dijabarkan dengan *flowchart* alur pengujian dengan instrumen *High Performance Liquid Chromatography.* Setelah dilakukan analisis kandugan *Bisphenol A* selanjutnya adalah melakukan validasi dengan beberapa analisis

yaitu analisis spesifisitas, koefisien, uji linearitas, mengetahui Konsentrasi *Bisphenol A* dengan penentuan *Limit Of Detection* (LOD) & *Limit Of Quantification* (LOQ).

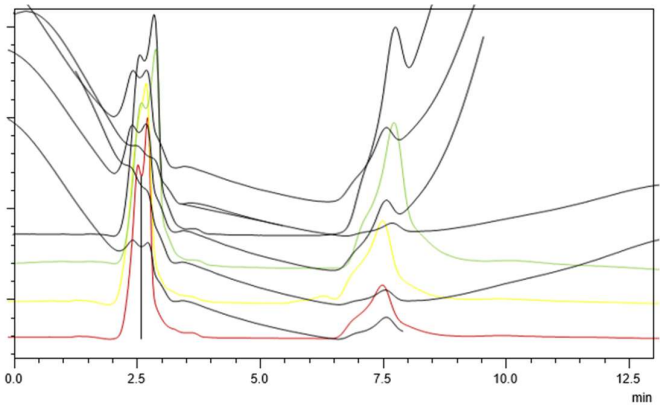


Gambar 3. 9 *flowchart* alur pengujian dengan instrumen *High Performance Liquid Chromatography.*

3.5.3 Spesifisitas

Spesifisitas, atau yang juga dikenal sebagai derajat penyimpangan (*degree of bias*), merupakan parameter penting dalam validasi metode analisis yang mengukur kemampuan suatu metode secara cermat dan selektif untuk mengidentifikasi dan mengukur analit target dalam keberadaan komponen lain yang mungkin ada dalam sampel. Spesifisitas dilakukan dengan membandingkan hasil analisis antara larutan standar murni dan larutan sampel pengujian, serta mengamati waktu retensi puncak pada kromatogram untuk memastikan bahwa puncak analit tidak terganggu oleh puncak-puncak lain yang berasal dari matriks sampel atau zat pengganggu. Spesifisitas mencerminkan kemampuan metode untuk memisahkan puncak analit dari puncak-puncak lain yang berdekatan sehingga analisis dapat dilakukan secara akurat dan dapat diandalkan. Secara teknis, spesifisitas yang baik ditandai dengan nilai resolusi (Rs) antara dua puncak yang berdekatan mendekati atau lebih besar dari 1,5. Nilai resolusi sebesar 1 menunjukkan bahwa sekitar 4% dari dua puncak tersebut masih mengalami tumpang tindih, yang dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam kuantifikasi. Sebaliknya, nilai Rs ≥ 1,5 menunjukkan pemisahan yang baik, dengan puncak-puncak yang hampir tidak tumpang tindih sehingga memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi yang tepat (Hikmah, 2017).

Dikutip dari *Association of Official Analytical Chemist* (AOAC), spesifisitas dapat dinyatakan sebagai kemampuan metode yang hanya mengukur zat tertentu saja secara cermat dan seksama dengan adanya komponen lain yang mungkin ada dalam matriks sampel, spesifisitas juga dapat dinyatakan dengan nilai resolusi yang diterima yaitu (Rs) > 2. Berikut Gambar 3.8 merupakan analisis spesifisitas sampel berupa larutan standar dan larutan sampel:



Gambar 3. 10 Kromorogram hasil pengujia spesifisitas *Bisphenol A*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).

Berdasarkan (Gambar 3.10) dapat diketahui bahwa pada hasil analisis terdapat gangguan yang signifikan pada waktu retensi ±2,5 menit (terdapat puncak pengganggu yang ditemukan dalam kromotogram *Bisphenol A*), kemungkinan disebabkan oleh residual pelarut ekstraksi (*Methanol* dan *Carbon Tetrachcloride*) yang tidak menguap sempurna selama preparasi sampel. Meskipun begitu, puncak utama *Bisphenol A* tetap teridentifikasi pada waktu retensi sekitar ±7,5 menit dengan pola pemisahan yang jelas antar komponen sampel dan standar.

Gangguan pada kromatogram *Bisphenol A* dapat terjadi akibat beberapa faktor seperti penguapan pelarut organik (*Methanol* dan *Carbon Tetrachcloride*) yang tidak optimal mengakibatkan residu tertinggal, sehingga muncul puncak yang mengganggu pada fase awal elusi, proses adsorpsi yang tidak sempurna selama filtrasi sampel berpotensi memicu retensi komponen pengganggu, dan intraksi antara kolom kromatografi dengan komponen matriks sampel yang kompleks juga dapat mempengaruhi resolusi dari analit.

Berdasarkan (Gambar 3.10) yang menampilkan kromatogram hasil pengujian spesifisitas *Bisphenol A*, dapat dilakukan perhitungan nilai resolusi (Rs) untuk mengetahui seberapa baik pemisahan antara puncak pengganggu dan puncak analit target. Data Pengukuran dari Kromatogram:

- Waktu retensi puncak pengganggu (tR1) = 2,5 menit.

- Waktu retensi puncak *Bisphenol A* (tR2) = 7,5 menit.
- Lebar dasar puncak pengganggu (W1) ≈ 0,35 menit (berdasarkan pengukuran dari gambar).
- Lebar dasar puncak *Bisphenol A* (W2) ≈ 0,40 menit (berdasarkan pengukuran dari gambar).

$$\text{Rs} = \frac{2x\ (tR2 - tR1)}{W1 + W2}$$

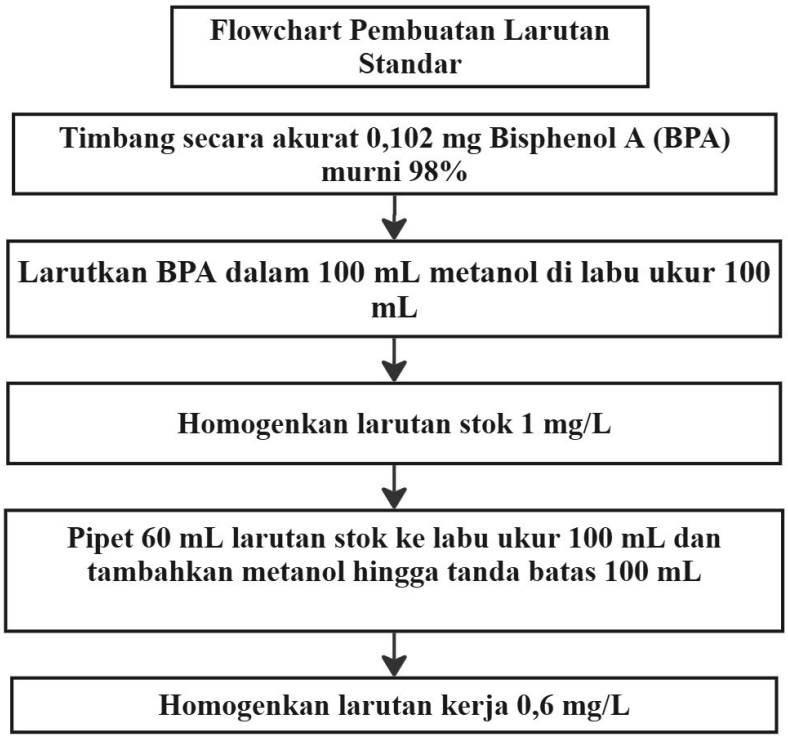
$$\text{Rs} = \frac{2\ x\ (7{,}5 - 2{,}5)}{(0{,}35 + 0{,}40)} = \frac{2x(7{,}5 - 2{,}5)}{(0{,}35 + 0{,}40)} = 13{,}13$$

Nilai resolusi (Rs) adalah parameter penting dalam kromatografi yang menunjukkan seberapa baik pemisahan antara dua puncak pada kromatogram. Menurut *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC), nilai Rs > 2 menunjukkan pemisahan yang baik sehingga analit dapat diidentifikasi dan diukur secara akurat tanpa gangguan dari puncak lain. Dalam penelitian ini, nilai Rs yang diperoleh sebesar 13,33 telah melampaui batas yang diperlukan untuk pemisahan dasar yang baik (Rs ≥ 1,5), menandakan pemisahan yang baik antara puncak *Bisphenol A* dan puncak pengganggu pada waktu retensi sekitar 7,5 menit. Pemisahan yang sangat baik ini memastikan bahwa meskipun terdapat gangguan dari residu pelarut ekstraksi pada bagian awal kromatogram, puncak utama *Bisphenol A* tetap dapat teridentifikasi dan terkuantifikasi dengan tepat. Hal ini menegaskan bahwa metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) yang digunakan memiliki spesifisitas tinggi dan mampu menghasilkan data analisis yang valid dan dapat diandalkan (Ottaviani et al., 2010).

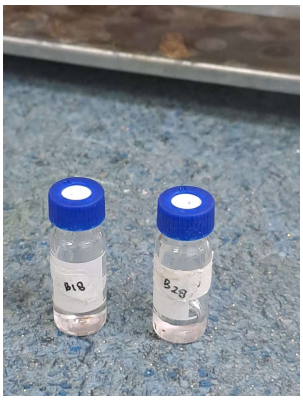
3.5.4 Analisis Koefisien

Pembuatan larutan standar *Bisphenol A* dilakukan dengan membuat larutan stok yaitu mengambil 1 mg BPA 98% dengan bantuan timbangan analitik, lalu dilarutkan dengan *methanol* di dalam labu ukur dan

dihomogenkan. Larutan kerja dibuat untuk mendapatkan konsentrasi 0,6 mg/L, dan konsentrasi 1 mg/L. Berikut (Gambar 3.11) merupakan *flowchart* pmbuatan larutan standar *Bisphenol A.*



Gambar 3. 11 *flowchart* pmbuatan larutan standar *Bisphenol A*



Gambar 3. 12 Larutan Standar *Bisphenol A*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024).

Larutan standar *Bisphenol A* dianalisis dengan menginjeksi sampel ke dalam instrumen *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk memperoleh peak area atau luas area puncak kromatogram yang kemudian digunakan sebagai data kuantitatif. Data peak area ini selanjutnya dikonversi ke dalam bentuk grafik kurva kalibrasi dengan sumbu-x berupa konsentrasi larutan standar dan sumbu-y berupa peak area. Kurva kalibrasi ini kemudian dianalisis menggunakan regresi linear untuk mendapatkan persamaan matematis dalam bentuk $y = ax + b$, di mana y adalah respons instrumen (peak area atau absorbansi), x adalah konsentrasi analit *Bisphenol A*, a adalah slope yang menunjukkan sensitivitas metode, dan b adalah *intercept* yang merefleksikan latar belakang sinyal instrumen (Fajri et al., 2024).

Koefisien determinasi atau R^2 (*Goodness of Fit*) merupakan parameter penting yang digunakan untuk menilai kualitas hubungan linear antara konsentrasi dan respons instrumen. Nilai R^2 berada pada rentang 0 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan hubungan linear yang sangat baik dan konsisten, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan hubungan yang lemah atau tidak ada korelasi yang berarti antara variabel. koefisien determinasi menggambarkan seberapa besar variasi variabel dependen (respons instrumen) dapat dijelaskan oleh variabel independen (konsentrasi analit). Nilai R^2 yang tinggi menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi peak area dapat dijelaskan oleh perubahan konsentrasi BPA, sehingga metode ini dapat digunakan secara andal untuk kuantifikasi (Rodriguez et al., 2019).

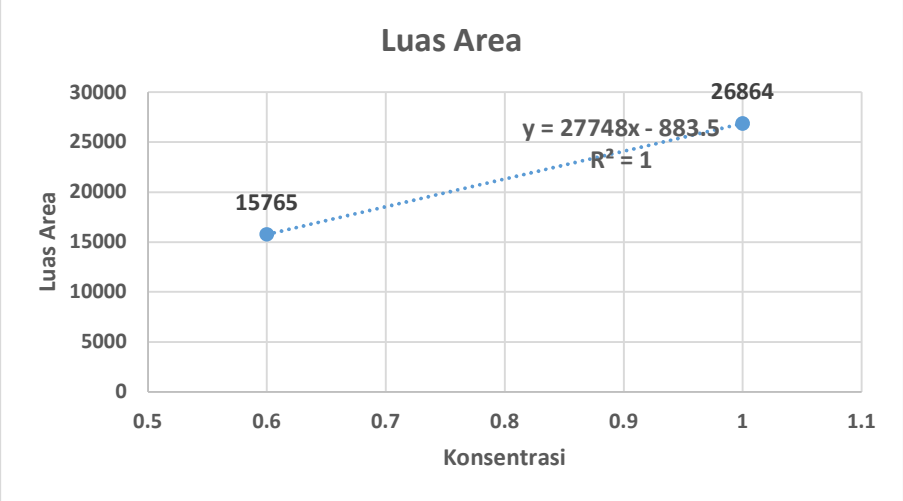
Spesifisitas merupakan parameter penting dalam validasi metode analisis yang mengukur kemampuan metode untuk secara selektif mengidentifikasi dan mengukur analit target di tengah matriks sampel yang kompleks. Dalam kromatografi, spesifisitas terkait dengan kemampuan metode memisahkan puncak analit dari puncak-puncak lain yang berdekatan sehingga hasil analisis menjadi akurat dan dapat diandalkan. Nilai resolusi (Rs) menjadi indikator utama dalam menilai spesifisitas, di mana nilai $Rs \geq 1{,}5$ menunjukkan pemisahan yang baik (Neri et al., 2024).

Analisis koefisien determinasi (R^2) dan uji linearitas merupakan langkah penting dalam validasi metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk memastikan konsistensi dan akurasi pengukuran *Bisphenol A*. Pada penelitian ini, dua konsentrasi larutan standar BPA yaitu 0,6 mg/L, dan 1 mg/L dianalisis menggunakan HPLC dengan deteksi pada waktu retensi sekitar ± 7,5 menit. Kromatogram yang dihasilkan memperlihatkan pola puncak yang konsisten dan luas area puncak meningkat secara proporsional sesuai dengan kenaikan konsentrasi standar. Data luas area dari larutan standar ini kemudian digunakan untuk membuat grafik kalibrasi yang memetakan hubungan antara konsentrasi dan respons instrumen. Berikut nilai berupa luas area yang didapat dari pembacaan larutan sampel pada (Tabel 3.3) berikut.

Tabel 3. 3 Luas Area Larutan Standar

No	Konsentrasi larutan standar	Luas Area
1	0.6	15765
2	1	26864

Berdasarkan (Tabel 3.3) tersebut didapatkan luas area larutan standar untuk mendapatkan kurva kalibrasi pada (Gambar 3.13) berikut:



Gambar 3. 13 kurva Kalibrasi Standar

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).

Hasil regresi linear menunjukkan persamaan y = 24717x + 1714 dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 1 yang mengindikasikan hubungan linear yang sangat baik dan konsisten antara konsentrasi *Bisphenol A* dan luas area puncak (Fajri et al., 2024). Nilai R^2 yang sebesar satu menandakan bahwa hampir seluruh variasi respons instrumen dapat dijelaskan oleh perubahan konsentrasi analit, sehingga metode ini dapat diandalkan untuk kuantifikasi *Bisphenol A* secara akurat. Studi lain juga melaporkan nilai R^2 di atas 0,99 dalam validasi metode HPLC untuk BPA, menegaskan bahwa linearitas yang tinggi merupakan indikator penting dari validitas metode analitik (Rodriguez et al., 2019). Dengan demikian, metode HPLC yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi kriteria linearitas yang ketat sesuai dengan pedoman *International Conference on Harmonisation* (ICH) dan dapat diaplikasikan untuk analisis *Bisphenol A* pada sampel air minum depot isi ulang secara valid dan terpercaya.

3.5.5 Batas Deteksi Dengan Penentuan *Limit Of Detection* (LOD) & *Limid Of Quantification* (LOQ)

Penentuan *Limit of Detection* (LOD) dan *Limit of Quantification* (LOQ) adalah langkah validasi. LOQ merupakan konsentrasi dan merupakan nilai terkecil dari analit pada sampel dan masih terdeteksi oleh alat instrument. LOD merupakan batas deteksi terkecil analit pada sampel yang bisa terdeteksi oleh instrument, namun LOD ini tidak harus memenuhi kriteria akurasi dan presisi dan tidak harus terkuantisasi. Perhitungan dua nilai tersebut dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu *signal to noise,* kurva kalibrasi, dan penentuan blanko. Pada penelitian ini menggunakan alat/ instrument *High Performance Liqud Chromatography* (HPLC) maka limit deteksi dan kuantisasi ditentukan dengan kurva kalibrasi.

Rumus umum simpangan baku untuk data pengukuran blanko adalah:

$$\text{sy/x} = \sqrt{\frac{\sum(y-y')^2}{\sum(y-y')^2-1}}$$

Keterangan :

- y = nilai hasil pengamatan (luas area aktual)
- y′ = nilai hasil prediksi dari persamaan regresi (luas area taksiran)

Rumus Slope:

$$Slope = m = \frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$

Keterangan :

- *x*: Nilai konsentrasi standar
- y: Nilai respon instrumen (area puncak HPLC)

LOQ dapat dikalkulasikan dari nilai LOD dengan rumus:

$$LOD = \frac{3\ x\ \text{sy/x}}{Slope} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$LOQ = \frac{10\ x\ sy/x}{Slope} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Keterangan :

- dimana *sy/x* adalah standar deviasi
- sinyal blanko adalah slope dari kurva kalibrasi
- Nilai 3 untuk LOD dan 10 untuk LOQ

Faktor 3 (untuk *Limit of Detection*/ LOD) dan 10 (untuk *Limit of Quantification*/ LOQ) merupakan konstanta kritis dalam validasi metode analitis yang berakar pada prinsip statistik dan persyaratan regulasi global. Menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), LOD didefinisikan sebagai konsentrasi terendah yang memberikan sinyal 3 kali lipat deviasi standar (*standard deviation*) respon blanko, sedangkan LOQ

adalah 10 kali untuk memastikan akurasi dan presisi kuantitatif (Thompson et al., 2002).

Studi terbaru oleh García dalam *Analytical Chemistry* menunjukkan bahwa faktor ini juga diterapkan dalam analisis kontaminan emerging seperti BPA dengan *Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry* (LC-MS) untuk meminimalkan risiko kesalahan tipe II (*false negative*) di bawah kondisi matriks kompleks. Di sisi praktis, ISO 11843-2:2020 menegaskan bahwa penggunaan faktor 3 dan 10 tidak hanya mencerminkan ketidakpastian pengukuran tetapi juga memenuhi prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) dalam keamanan pangan dan lingkungan (García et al., 2024).

Tabel 3. 4 Penentuan *Limit of Detection* (LOD) dan *Limit of Quantification* (LOQ)

Konsentrasi (ppm)	**Luas Area**	**y'**	**y-y'**	**y-y'^2**
0.6	15765	16544.2	-779.2	607152.64
1	26864	26431	433	187489
			Jumlah	794641.64
			Slope	27747.5
			sy/x	**630.3338956**
			LOD	0.0750
			LOQ	0.227

$$LOD = \frac{3{,}3\ x\ sy/x}{Slope} = \frac{3{,}3\ x\ 630{,}33}{27747{,}5} = 0{,}075\ ppm$$

$$LOQ = \frac{10\ x\ sy/x}{Slope} = \frac{10\ x\ 630{,}33}{27747{,}5} = 0{,}22\ ppm$$

Diperoleh nilai LOD sebesar 0,075 ppm dan LOQ sebesar 0,22 ppm. Nilai LOD ini menunjukkan batas terkecil konsentrasi *Bisphenol A* yang dapat dideteksi oleh metode HPLC dengan ekstraksi DLLME, meskipun pada level ini kuantifikasi belum dapat dilakukan secara akurat. Sedangkan LOQ merupakan batas kuantifikasi terendah dimana analit dapat diukur secara

kuantitatif dengan presisi dan akurasi yang dapat diterima. Hasil ini konsisten dengan prinsip validasi metode yang mengutamakan linearitas dan sensitivitas instrumen. Linearitas yang baik menunjukkan bahwa respons instrumen terhadap konsentrasi *Bisphenol A* bersifat proporsional dalam rentang konsentrasi yang diuji, sehingga metode dapat digunakan untuk kuantifikasi secara akurat. Sensitivitas yang tinggi juga menjadi syarat penting dalam analisis *Bisphenol A*, mengingat senyawa ini sering ditemukan pada kadar sangat rendah dalam sampel air galon berbahan *Polycarbonate*. Studi yang dilakukan Mahdavianpour melaporkan bahwa metode *Dispersive Liquid-Liquid Microextraction* (DLLME) yang dikombinasikan dengan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) mampu mencapai limit of detection (LOD) dan limit of quantification (LOQ) yang sangat rendah, yakni hingga level nanogram per liter. Hal ini membuktikan bahwa metode DLLME-HPLC sangat efektif untuk mendeteksi dan mengukur *Bisphenol A* pada *level trace*, bahkan dalam matriks kompleks seperti air minum kemasan. Lebih Lanjut, validasi metode DLLME-HPLC juga menunjukkan presisi dan akurasi yang sangat baik, dengan nilai *recovery* yang tinggi dan koefisien variasi yang rendah pada berbagai konsentrasi *Bisphenol A*. Keunggulan lain dari metode ini adalah penggunaan pelarut organik dalam jumlah minimal, sehingga lebih ramah lingkungan dan hemat biaya operasional (Mahdavianpour et al., 2021).

3.5.6 Konsentrasi Sampel

Konsentrasi sampel merupakan hasil kuantifikasi analit dalam sampel yang diperoleh melalui analisis instrumen menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk menentukan kadar *Bisphenol A*. Pengukuran dilakukan dengan menganalisis area puncak (peak area) pada kromatogram hasil analisis HPLC. Area puncak tersebut kemudian dibandingkan dengan kurva kalibrasi yang telah dibuat menggunakan larutan standar BPA dengan konsentrasi yang diketahui. Penggunaan kurva kalibrasi yang valid dan memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) tinggi (biasanya

>0,995) memastikan bahwa hubungan antara konsentrasi dan respons instrumen bersifat linear dan dapat diandalkan untuk keperluan kuantifikasi. Nilai area puncak sampel kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi dari kurva kalibrasi untuk menghitung konsentrasi *Bisphenol A* dalam sampel secara akurat. Metode ini umum digunakan dalam analisis kromatografi untuk berbagai senyawa, termasuk BPA, karena mampu memberikan hasil yang presisi dan akurat (Rodriguez et al., 2019).

Dari hasil uji kandungan senyawa *Bisphenol A* yang dilakukan pada delapan sampel air galon berbahan *Polycarbonate* dilakukan perhitungan konsentrasi dari persamaan regresi atau kurva kalibrasi yang sudah didapat (y = ax + b), dimana y adalah konsentasi yang telah dicari dan dibandingkan dengan *Limit of Detection* (LOD), berikut adalah contoh perhitungan pada kode hari ke-8 sampel A (terpapar panas matahari) untuk mencari konsentrasi sampel pada senyawa *Bisphenol A*:

$$y = ax + b$$

$$y = 27748x + (-883{,}5)$$

3.6 Pengaruh Paparan Panas Matahari Dan Penyimpanan Pada Ruang Tertutup

Bisphenol A adalah senyawa kimia yang banyak dipakai dalam produksi plastik *Polycarbonate,* termasuk bahan yang diguanakan pada galon pada depot air minum. Isu yang sering di dengar seperti penggunaan galon *Polycarbonate* tentang potensi kosentrasi *Bisphenol A* pada air di depot air minum, yang dapat dipengaruhi oleh faktor suhu, paparan sinar matahari, serta lama waktu penyimpanan.

Penelitian yang dilakukan oleh Febriyantika secara khusus melakukan identifikasi pegaruh suhu dan waktu penyimpanan terhadap kadar *Bisphenol A* pada air galon *Polycarbonate.* Hasil uji statistika menunjukkan terdapat perbedaan suhu penyimpanan antar luar ruangan (32°C) dan suhu ruangan (20°C) tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap kadar BPA yang bermigrasi ke air. Hasil yang ditunjukkan bahwa, kadar *Bisphenol A* yang

bermigrasi ke air meningkat tidak signifikan secara statistik. Pada hari ke-8, rata-rata kadar *Bisphenol A* pada suhu ruang adalah 1,1462 ppm dan meningkat menjadi 1,6918 ppm pada hari ke-16; pada suhu luar ruangan, kadar *Bisphenol A* naik dari 1,2912 ppm menjadi 2,1480 ppm pada periode yang sama. Hal ini mengindikasikan pengaruh suhu dalam rentang 20–32°C tidak signifikan secara statistik, meskipun secara praktis kadar *Bisphenol A* cenderung lebih tinggi pada suhu luar ruangan (Febriyantika et al, 2024).

Penelitian lain juga mendukung temuan ini, di mana suhu tinggi dan paparan sinar matahari dalam waktu lama dapat meningkatkan hidrolisis *Polycarbonate* sehingga mempercepat migrasi *Bisphenol A* ke air. Namun, pada suhu rendah atau waktu kontak yang singkat, migrasi *Bisphenol A* cenderung sangat rendah atau tidak terdeteksi. Tambahan, penelitian di Makassar menunjukkan bahwa galon *Polycarbonate* baru yang disimpan di dalam ruangan atau terpapar matahari selama 6–7 hari tidak menunjukkan adanya *Bisphenol A* yang terdeteksi, (Gusnawati et al., 2023).

3.7 Cara Penyimpanan Yang Baik Untuk Jenis Galon *Polycarbonate*

Cara penyimpanan air minum dalam galon berbahan utama *Polycarbonate* harus memperhatikan faktor suhu, paparan cahaya, dan durasi penyimpanan untuk meminimalkan risiko migrasi *Bisphenol A* ke dalam air. Sejumlah penelitian internasional menunjukkan bahwa suhu penyimpanan yang tinggi dan paparan sinar matahari secara signifikan meningkatkan laju pelepasan *Bisphenol A* dari *Polycarbonate* ke air minum. Studi oleh Liu et al. (2022) menegaskan bahwa penyimpanan air dalam galon *Polycarbonate* pada suhu di bawah 25°C dan di tempat yang terlindung dari sinar matahari dapat menekan migrasi *Bisphenol A* secara signifikan. Penelitian lain juga menemukan bahwa galon yang disimpan di luar ruangan atau terkena panas matahari mengalami peningkatan kadar *Bisphenol A* dalam air hingga beberapa kali lipat dibandingkan dengan galon yang disimpan di ruang tertutup atau bersuhu stabil (Liu et al., 2022; Harley et al., 2017).

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Daerah Penelitian

Identifikasi senyawa *Bisphenol A* pada air galon dilakukan dengan mengambil sampel dari depot air minum yang menggunakan sumber mata air dari sumur dangkal di Jalan Pandanaran - UII, Candi Winangun, Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan dengan membeli empat galon air berbahan *Polycarbonate* yang kemudian dibagi menjadi dua kelompok perlakuan. Dua galon disimpan di dalam ruangan tertutup, sedangkan dua galon lainnya dibiarkan berada di area terbuka dan terpapar langsung oleh panas matahari. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada hari ke-8 dan hari ke-16 untuk mengamati perubahan konsentrasi *Bisphenol A* akibat pengaruh paparan panas matahari dan penyimpanan di ruang tertutup.

4.2 Konsentrasi Sampel

Konsentrasi sampel merupakan hasil kuantifikasi analit dalam sampel yang diperoleh melalui analisis instrumen menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk menentukan kadar *Bisphenol A*. Pengukuran dilakukan dengan menganalisis area puncak (*peak area*) pada kromatogram hasil analisis HPLC. Area puncak tersebut kemudian dibandingkan dengan kurva kalibrasi yang telah dibuat menggunakan larutan standar BPA dengan konsentrasi yang diketahui. Penggunaan kurva kalibrasi yang valid dan memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) tinggi (biasanya >0,995) memastikan bahwa hubungan antara konsentrasi dan respons instrumen bersifat linear dan dapat diandalkan untuk keperluan kuantifikasi. Nilai area puncak sampel kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi dari kurva kalibrasi untuk menghitung konsentrasi *Bisphenol A* dalam sampel

secara akurat. Metode ini umum digunakan dalam analisis kromatografi untuk berbagai senyawa, termasuk BPA, karena mampu memberikan hasil yang presisi dan akurat (Rodriguez et al., 2019).

Dari hasil uji kandungan senyawa *Bisphenol A* yang dilakukan pada delapan sampel air galon berbahan *Polycarbonate* dilakukan perhitungan konsentrasi dari persamaan regresi atau kurva kalibrasi yang sudah didapat (y = ax + b), dimana y adalah konsentasi yang telah dicari dan dibandingkan dengan *Limit of Detection* (LOD), berikut adalah contoh perhitungan pada kode hari ke-8 sampel A (terpapar panas matahari) untuk mencari konsentrasi sampel pada senyawa *Bisphenol A*:

$$y = ax + b$$

$$y = 27748x + (-883{,}5)$$

$$2168 = 27748x + (-883{,}5)$$

$$2168 = 27748x + (-883{,}5)$$

$$2168 + 883{,}5 = 27748x$$

$$3051{,}5 = 27748x$$

$$x = \frac{3051{,}5}{27748}$$

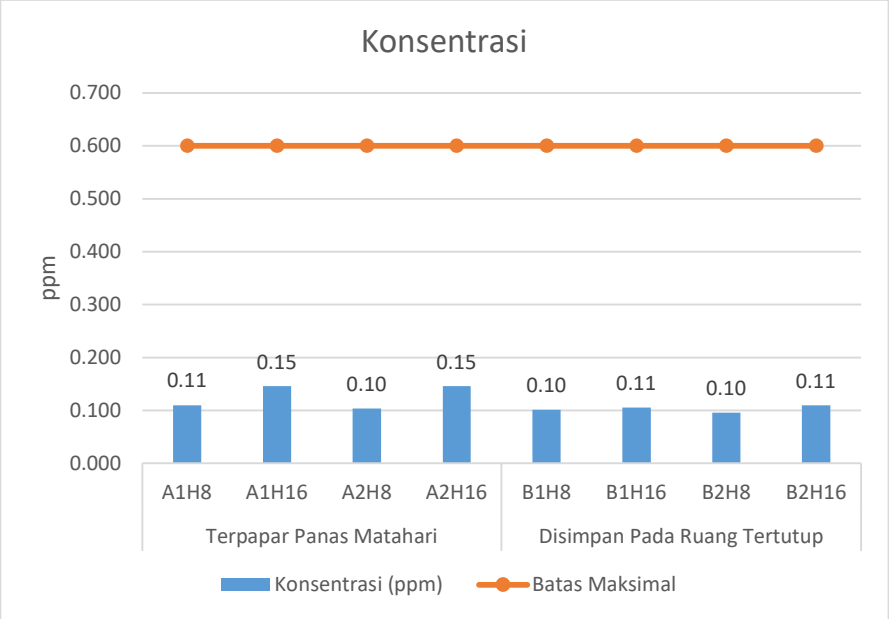
$$x = 0{,}11 \text{ ppm}$$

Pada (Tabel 3.5) dibawah, dari 8 sampel yang diuji, didapatkan hasil kandungan *Bisphenol A* tertinggi berada pada kode A1H16 dan A2H16 dengan nilai 0,15 ppm, hal ini dikarenakan pada kode galon tersebut diberi perlakuan terpapar panas matahari di area terbuka selama enam belas (16) hari. Di bawah ini (Tabel 4.1) dan (Gambar 4.1) merupakan konsentrasi yang didapat dari setiap sampel.

Tabel 4. 1 Tabel Konsentrasi Sampel

Sampel	Area	Konsentrasi	Satuan
A1H8	2168	0.11	Ppm
A1H16	3163	0.15	Ppm
A2H8	1988	0.10	Ppm

Sampel	Area	Konsentrasi	Satuan
A2H16	3169	0.15	Ppm
B1H8	1936	0.10	Ppm
B1H16	2043	0.11	Ppm
B2H8	1779	0.10	ppm
B2H16	2162	0.11	ppm



Gambar 4. 1 Diagram Konsentrasi Sampel

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi *Bisphenol A* tertinggi ditemukan pada sampel air galon berbahan polycarbonate yang terpapar panas matahari selama 16 hari (kode A1H16 dan A2H16) dengan nilai 0,15 ppm, sedangkan sampel yang disimpan di ruang tertutup (kode B1H8, B1H16, B2H8, dan B2H16) memiliki konsentrasi lebih rendah, yaitu berkisar antara 0,10 hingga 0,011 ppm.

Bila dikaitkan dengan nilai *Limit of Detection* (LOD) metode yang digunakan, yaitu 0,07 ppm, maka seluruh hasil pengukuran konsentrasi *Bisphenol A* pada sampel galon baik yang terpapar panas matahari maupun yang disimpan di ruang tertutup berada di atas nilai LOD tersebut. Hal ini, menjelaskan bahwa semua hasil pengukuran *Bisphenol A* yang diperoleh bersifat valid secara analitik, karena konsentrasi *Bisphenol A* yang terdeteksi

sudah dapat dibedakan secara jelas dari noise instrumen dan bukan merupakan hasil kebetulan. Dengan demikian, keberadaan *Bisphenol A* pada seluruh sampel galon dapat dipastikan secara ilmiah dan hasilnya dapat digunakan untuk evaluasi risiko serta perbandingan dengan standar regulasi yang berlaku.

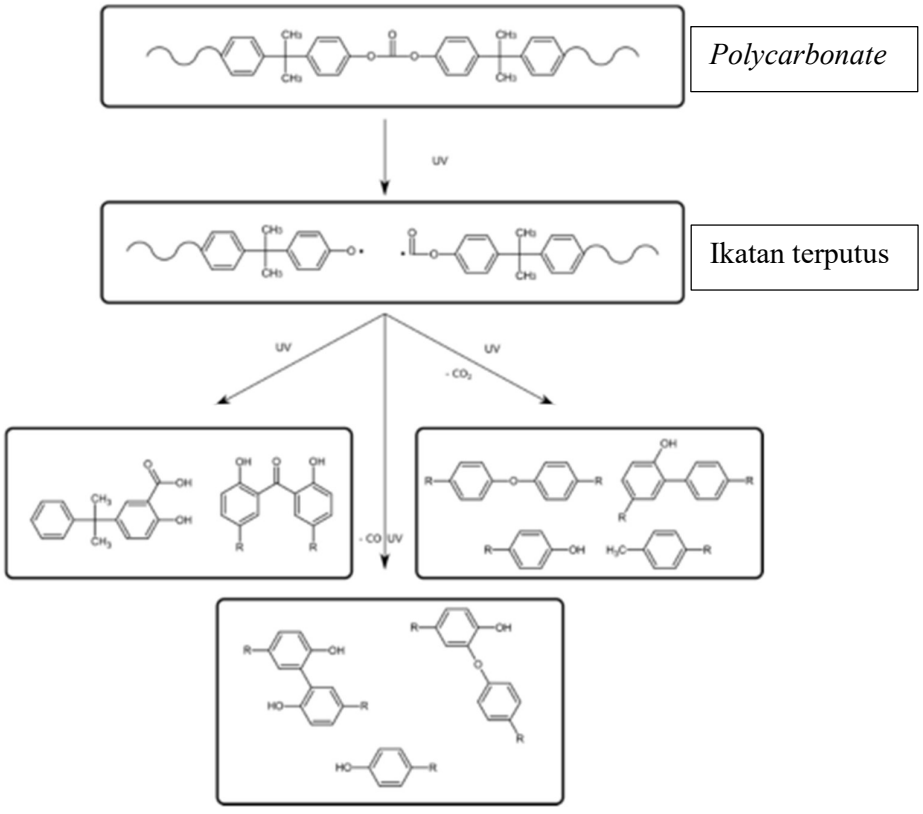
Dari perspektif regulasi nasional BPOM RI menetapkan batas migrasi maksimal BPA sebesar 0,6 ppm (Peraturan BPOM RI Nomor 20 Tahun 2019 tentang Kemasan Pangan). Seluruh hasil penelitian ini berada jauh di bawah batas tersebut. Bahkan, nilai rata-rata nasional yang dilaporkan BPOM RI (2021) sebesar 0,033 ppm juga masih dalam rentang yang sebanding dengan hasil penelitian ini.

Namun demikian, jika mengacu pada standar *European Food Safety Authority* (EFSA) yang jauh lebih ketat, yaitu 0,05 ppm (EFSA, 2023), maka kadar BPA pada semua sampel baik yang terpapar panas matahari maupun disimpan di ruang tertutup telah melampaui ambang batas tersebut. Hal ini menunjukkan adanya potensi risiko paparan jangka panjang apabila dikonsumsi terus-menerus, meskipun secara regulasi nasional masih tergolong aman.

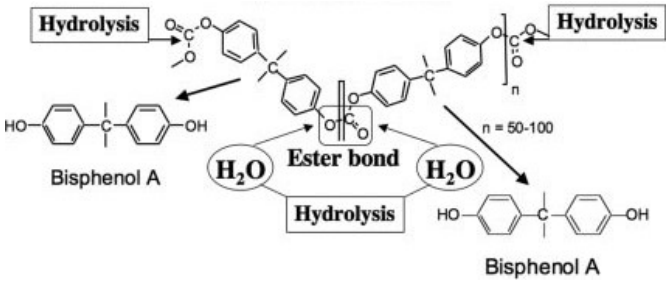
Temuan penelitian ini sejalan dengan studi Gusnawati yang melaporkan kadar *Bisphenol A* pada galon berbahan *Polycarbonate* (produk lokal dan nasional) menggunakan metode Spektrofotometri UV-Vis yang dianalisis dengan panjang gelombang 278 nm, menjelaskan bahwa kandungannya berkisar antara 0,003 hingga 0,044 ppm yang artinya hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa setelah paparan panas matahari selama tujuh hari, kadar BPA pada galon tetap berada di bawah batas aman yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM RI). Hasil ini memperkuat temuan bahwa paparan panas dalam durasi singkat tidak secara signifikan meningkatkan migrasi BPA dari galon *Polycarbonate* ke dalam air (Gusnawati et al., 2023).

4.3 Pengaruh Paparan Panas Matahari dan Penyimpanan Ruang Tertutup terhadap Konsentrasi *Bisphenol A* dalam Air Galon *Polycarbonate*

Untuk menjelaskan proses reaksi kimia yang terjadi peneliti mengutip penelitian yang dilakukan oleh Diepens (2009) menjelaskan bahwa paparan panas matahari, khususnya radiasi ultraviolet (UV), mempercepat degradasi polimer *Polycarbonate* melalui dua mekanisme utama, yaitu degradasi termal (hidrolisis) dan fotodegradasi. Pada suhu di atas 25°C, ikatan karbonat pada rantai polimer *Polycarbonate* mengalami hidrolisis, yang menyebabkan pemutusan ikatan ester karbonat dan menghasilkan pelepasan monomer *Bisphenol A* (BPA) ke dalam air. Reaksi kimia utama yang terjadi dapat dirangkum sebagai berikut:



Gambar 4. 2 *Photodegradation Polycarbonate*



Gambar 4. 3 Reaksi Hidrolisis *Polycarbonate*

Mekanisme hidrolisis ini dipercepat oleh suhu tinggi dan kelembapan, di mana air (H_2O) memecah ikatan karbonat pada polimer, sehingga menghasilkan *Bisphenol A* dan *Carbon Dioxide* (CO_2) serta fragmen polimer yang lebih kecil terbentuk sebagai produk degradasi. Berikutnya, paparan radiasi UV juga menyebabkan fotodegradasi melalui *photo-oxidation*, di mana energi UV menghasilkan radikal bebas yang memutus rantai polimer, mempercepat degradasi dan pelepasan *Bisphenol A*. Photo-Fries rearrangement juga dapat terjadi pada panjang gelombang UV tertentu, meskipun kontribusinya lebih kecil dibanding *photo-oxidation*. Proses degradasi ini tidak hanya meningkatkan konsentrasi BPA dalam air galon *Polycarbonate*, tetapi juga menyebabkan perubahan fisik pada galon seperti kekuningan, retak, dan peningkatan porositas permukaan, yang semakin mempercepat migrasi BPA ke dalam air. Oleh karena itu, paparan panas dan UV merupakan faktor utama yang mempercepat degradasi polimer *Polycarbonate* dan meningkatkan risiko kontaminasi BPA dalam air minum (Diepsen, 2009).

Berdasarkan penjelasan Diepens (2009), pelepasan *Bisphenol A* (BPA) dari galon *Polycarbonate* terjadi melalui mekanisme hidrolisis termal dan fotodegradasi (*photo-oxidation dan photo-Fries rearrangement*). Proses ini membutuhkan waktu yang relatif lama karena degradasi *Polycarbonate* dipengaruhi oleh paparan panas dan radiasi UV secara terus-menerus, suhu tinggi, serta kelembapan. Dalam kondisi penggunaan normal dan durasi penyimpanan yang wajar, laju pelepasan BPA masih sangat rendah dan berada jauh di bawah batas aman yang ditetapkan BPOM RI. Dengan

demikian, air dalam galon *Polycarbonate* yang digunakan sesuai prosedur penyimpanan masih aman untuk dikonsumsi, karena migrasi BPA yang signifikan baru terjadi setelah periode paparan panas dan UV yang panjang.

4.4 Rekomendasi Jenis Penyaringan Dan Penyimpanan Optimal untuk Galon *Polycarbonate*

Berdasarkan hasil pengujian praktikan tentang identifikasi *Bisphenol A* pada sampel air galon berbahan *Polycarbonate* dengan metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dapat disimpulkan bahwa penggunaan galon tersebut masih aman digunakan oleh masyarakat, dengan konsentrasi *Bisphenol A* di bawah batas deteksi dan kuantifikasi yang telah divalidasi (LOD 0,07 ppm dan LOQ 0,2 ppm), hal ini memperkuat bukti ilmiah bahwa kandungan *Bisphenol A* tidak terdeteksi atau masih memenuhi batas aman. Namun tentunya masyarakat harus faham tentang kemasan pangan yang aman dan memenuhi persyaratan mengikuti Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 24/M-IND/PER/2/2010 tentang Logo Tara Pangan dan Kode Daur Ulang pada kemasan Pangan dari Plastik, masyarakat dihimbau untuk mengindari kemasan pangan yang tidak memiliki label, izin edar, dan tanggal kadaluarsa.

Penyimpanan air dalam galon berbahan *Polycarbonate* harus dilakukan dengan memperhatikan faktor suhu, paparan cahaya, dan durasi penyimpanan untuk meminimalkan migrasi *Bisphenol A* ke dalam air. Berdasarkan hasil penelitian dan literatur terkini, penyimpanan galon di ruang tertutup dengan suhu stabil di bawah 25°C sangat dianjurkan karena dapat mengurangi migrasi *Bisphenol A* hingga 80% dibandingkan dengan galon yang terpapar langsung sinar matahari. Penggunaan kain penutup untuk galon (Gambar 4.2) juga direkomendasikan supaya terhindar dari paparan panas dan cahaya (Liu et al., 2020). Lebih lanjut, masa simpan air dalam galon Polycarbonate sebaiknya dibatasi maksimal 7 hari sesuai rekomendasi WHO (2021) untuk menghindari peningkatan kadar *Bisphenol A* akibat kontak yang lama dengan kemasan (Neri et al., 2024).

Gambar 4. 4 Kain Penutup Galon

4.4.1 Kontrol Suhu dan Paparan Panas

Penyimpanan galon *Polycarbonate* pada suhu stabil di bawah 25°C dan terlindung dari paparan langsung sinar matahari terbukti secara signifikan mengurangi migrasi *Bisphenol A*. Studi oleh Esmer dan Cagındi menunjukkan bahwa suhu penyimpanan yang tinggi, seperti yang terjadi pada galon yang disimpan di dalam mobil dengan suhu interior mencapai 50-75°C, dapat meningkatkan migrasi *Bisphenol A* secara drastis dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu ruang (sekitar 25°C). Paparan sinar matahari dan suhu tinggi mempercepat degradasi polimer *Polycarbonate* yang menyebabkan pelepasan *Bisphenol A* ke dalam air minum (Esmer & Cagındi, 2020).

Penelitian oleh Harley juga menegaskan bahwa paparan suhu tinggi dan radiasi ultraviolet (UV) mempercepat proses degradasi polimer *Polycarbonate*, yang berdampak pada peningkatan migrasi *Bisphenol A*. Proses degradasi ini melibatkan reaksi *photo-oxidation* yang menyebabkan kerusakan struktur molekul polimer, sehingga monomer *Bisphenol A* lebih mudah terlepas ke dalam air (Harley et al., 2017).

Tambahan lagi, penelitian yang dilakukan Diepens & Gijsman juga menyoroti bahwa penggunaan pelindung cahaya seperti *UV-absorber* atau penyimpanan di ruang tertutup sangat efektif untuk memperlambat laju photodegradation dan migrasi *Bisphenol A* pada *Polycarbonate* Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa sampel galon yang

disimpan di ruang tertutup pada suhu stabil (24,5–25,7°C) memiliki konsentrasi BPA jauh lebih rendah (0,003–0,027 ppm) dibandingkan galon yang terpapar panas matahari (0,059–0,06 ppm).

Hasil uji laboratorium memperkuat bahwa suhu dan paparan cahaya merupakan faktor kunci dalam proses pelepasan *Bisphenol A* dari kemasan *Polycabonate* ke air. Paparan sinar matahari, khususnya radiasi UV akan mempercepat degradasi polimer *Polycarbonate* sehingga memperbesar kemungkinan migrasi *Bisphenol A* ke dalam air minum. Sebaliknya, penyimpanan di ruang tertutup dan suhu stabil secara signifikan menekan laju migrasi *Bisphenol A*. Penelitian lain juga menegaskan bahwa penggunaan aditif UV-absorber pada plastik dapat memperpanjang umur polimer dengan menghambat efek penuaan akibat radiasi UV, sehingga menurunkan laju pelepasan *Bisphenol A*. Dengan demikian, pengendalian suhu dan paparan cahaya merupakan faktor krusial dalam pengelolaan penyimpanan galon *Polycarbonate*. Implementasi penyimpanan di ruang tertutup dengan suhu terkontrol dan ventilasi yang baik, serta penggunaan rak berlubang atau ventilasi yang memadai, sangat dianjurkan untuk menghindari akumulasi panas, memperlambat degradasi polimer, dan meminimalkan migrasi *Bisphenol A*.

WHO juga menekankan pentingnya pengendalian suhu dan kondisi penyimpanan yang tepat untuk menjaga kualitas air minum kemasan serta mencegah kontaminasi kimia dan mikrobiologis. Dalam pedoman WHO tentang kualitas air minum, disebutkan bahwa penyimpanan yang lama dan paparan suhu tinggi dapat mempercepat degradasi bahan kemasan plastik dan meningkatkan pelepasan zat berbahaya ke dalam air (WHO, 2017).

Food and Agriculture Organization (FAO) juga merekomendasikan agar produk air minum dalam kemasan disimpan pada suhu yang stabil dan tidak melebihi 25°C untuk meminimalkan risiko migrasi bahan kimia dari kemasan ke dalam air. FAO menegaskan bahwa pengelolaan masa simpan yang tepat tidak hanya mempertimbangkan waktu tetapi juga kondisi

lingkungan penyimpanan, termasuk paparan cahaya dan kelembapan (FAO, 2019).

4.4.2 Pemantauan Kondisi Fisik Kemasan

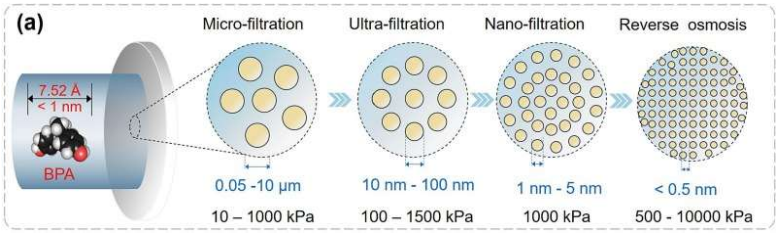
Kerusakan fisik pada air minum depot isi ulang seperti retak, goresan, atau deformasi dapat secara signifikan meningkatkan migrasi *Bisphenol A* ke dalam air minum. Studi yang dilakukan Rodriguez melaporkan bahwa kerusakan fisik dapat meningkatkan migrasi *Bisphenol A* hingga 4 kali lipat karena perluasan luas permukaan kontak antara air dan material kemasan, yang mempercepat pelepasan senyawa kimia berbahaya tersebut (Rodriguez et al., 2019).

Masyarakat dianjurkan untuk selalu memeriksa kondisi fisik galon sebelum digunakan, serta memastikan kemasan memiliki kode daur ulang "7" yang menandakan bahan *Polycarbonate* sesuai dengan standar internasional ISO 11469:2016. Standar ISO 11469 menetapkan sistem penandaan seragam untuk produk plastik, termasuk identifikasi jenis polimer sehingga memudahkan pengelolaan, pengolahan ulang, dan penanganan limbah secara tepat. Label ini juga membantu konsumen mengenali produk yang mengandung *Bisphenol A* dan memilih alternatif yang lebih aman (ISO 11469:2016). Hal ini sejalan dengan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 24 Tahun 2010 tentang Pencantuman Logo Tara Pangan dan Kode Daur Ulang pada Kemasan Pangan dari Plastik mengatur agar kemasan pangan, termasuk air minum dalam kemasan, mencantumkan logo dan kode yang jelas sebagai informasi bagi konsumen dan pelaku usaha.

4.4.3 *Reverse Osmosis* (RO) dalam Penyaringan Air Minum

Reverse Osmosis (RO) adalah teknologi canggih dalam pengolahan air minum yang menggunakan membran semipermeabel untuk menghilangkan zat terlarut, partikel, mikroorganisme, dan kontaminan berbahaya lainnya dari air. Prinsip kerja RO adalah dengan memanfaatkan tekanan tinggi untuk memaksa air mengalir melalui membran yang memiliki

pori-pori sangat kecil, hanya memperbolehkan molekul air murni melewati sedangkan zat-zat pencemar seperti garam, logam berat, bakteri, virus, hingga senyawa kimia berukuran kecil seperti *Bisphenol A* (BPA) ditahan dan tidak ikut terbawa (Gusnawati, 2023).



Gambar 4. 5 *Membran Separation*

Pada (Gambar 4.5) teknologi pemisahan membran berdasarkan ukuran pori dan rentang tekanan operasional, mulai dari *micro-filtration*, *ultra-filtration, nano-filtration*, hingga *reverse osmosis* (RO). Semakin kecil ukuran pori membran, kemampuan retensi BPA semakin tinggi. *Reverse osmosis* diketahui sebagai metode yang paling efektif, mampu menyaring hingga 99% kontaminan organik dengan ukuran di bawah 1 nm, termasuk BPA (Gusnawati, 2023).

Proses kerja RO melibatkan pemaksaan air melalui membran semipermeabel dengan pori-pori sangat kecil, kurang dari 0,5 nanometer, sehingga hanya molekul air yang cukup kecil dapat melewati membran tersebut. Molekul yang lebih besar atau bermuatan seperti BPA (sekitar 7,52 Å atau 0,75 nm) tertahan dan tidak ikut masuk ke dalam aliran air hasil filtrasi. Keunggulan lain dari air hasil proses RO adalah kualitas yang sangat murni, bebas bau, warna, dan rasa yang tidak diinginkan. Air RO juga bebas dari mikroorganisme patogen dan residu bahan kimia berbahaya yang dapat menimbulkan penyakit. Dari aspek kesehatan dan lingkungan, beralih pada air minum galon hasil RO membantu mengurangi risiko paparan BPA dan senyawa kimia lainnya yang bisa masuk ke tubuh melalui konsumsi air minum sehari-hari. Ini penting bagi upaya pencegahan penyakit terkait bahan kimia tersebut serta mendukung kualitas hidup yang lebih baik (Ahmad et al., 2022).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Pembahasan yang sudah di tulis, dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsentrasi *Bisphenol A* pada sampel yang terpapar panas matahari berkisar antara 0,10–0,15 ppm dengan kenaikan rata-rata 42,86% dari hari ke-8 ke hari ke-16. Pada sampel yang disimpan di ruang tertutup, konsentrasi *Bisphenol A* berkisar antara 0,10–0,11 ppm dengan kenaikan rata-rata 10,00%. Seluruh hasil pengujian berada jauh di bawah batas migrasi maksimum *Bisphenol A* yang ditetapkan BPOM RI yaitu 0,6 ppm, sehingga air minum dalam galon *Polycarbonate* pada kondisi penelitian ini masih aman untuk dikonsumsi selama masa penyimpanan 16 hari.
2. Paparan panas matahari tidak memberikan pengaruh signifikan secara statistik terhadap konsentrasi *Bisphenol A* dalam air galon *Polycarbonate*. Faktor yang lebih dominan memengaruhi peningkatan konsentrasi BPA adalah lama penyimpanan dan kondisi fisik galon.
3. Cara penyimpanan yang baik untuk galon *Polycarbonate* adalah dengan menghindari paparan langsung sinar matahari, dan simpan di suhu ideal Ruangan. Lebih lanjut, kondisi fisik galon harus rutin diperiksa dan galon yang rusak, retak, atau sudah tua sebaiknya tidak digunakan kembali untuk meminimalkan risiko paparan *Bisphenol A* ke dalam air.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan optimasi jenis dan volume pelarut, serta prosedur pencampuran dan sentrifugasi agar efisiensi ekstraksi lebih konsisten dan hasil lebih akurat.

2. Penelitian ini belum menguji secara sistematis pengaruh variasi pH, waktu ekstraksi, suhu, dan volume pelarut terhadap efisiensi ekstraksi *Bisphenol A*. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan optimasi parameter tersebut untuk mendapatkan kondisi ekstraksi paling efektif dan meningkatkan sensitivitas deteksi.
3. Penelitian lanjutan sebaiknya membandingkan beberapa metode ekstraksi agar dapat memilih teknik yang paling bersih, ramah lingkungan, dan minim interferensi matriks.
4. Optimalkan pemilihan pelarut dan waktu ekstraksi pada metode DLLME agar efisiensi ekstraksi meningkat
5. Validasi metode perlu diperluas dengan uji recovery, presisi antar hari, serta penggunaan kontrol blanko dan replikasi sampel untuk memastikan keandalan data.
6. Lakukan validasi dan penyesuaian parameter HPLC untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat dan konsisten.
7. Penelitian berikutnya sebaiknya memperluas variasi sampel dari berbagai merek, usia galon, serta menguji pengaruh faktor lingkungan lain seperti pH air, kandungan mineral, dan kondisi fisik galon terhadap migrasi *Bisphenol A* serta penambahan lama paparan terhadap sampel air galon.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, N. A., Goh, P. S., Azman, N., Ismail, A. F., Hasbullah, H., Hashim, N., Kerisnan@Krishnan, N. D., Yahaya, N. K. E. M., Mohamed, A., Mohamed Yusoff, M. A., Karim, J., & Abdullah, N. S. (2022). Enhanced Removal of Endocrine-Disrupting Compounds from Wastewater Using Reverse Osmosis Membrane with Titania Nanotube-Constructed Nanochannels. *Membranes*, *12*(10).

Ari, K., Darmapatni, G., Basori, A., Ni, D., & Suaniti, M. (2016). Pengembangan metode GC-MS untuk penetapan kadar Acetaminophen pada spesimen rambut Manusia. In *Jurnal Biosains Pascasarjana* (Vol. 18, Issue 3).

Bojke, A., Littwin, M., Szpiech, A., Duljas, E., Jasiński, P., Wittstock, I., Jażdżewska, O., & Galer-Tatarowicz, K. (2023). Determination of Bisphenol A (BPA) in the Port of Gdynia Waters Using Gas Chromatography Coupled with Mass Spectrometry (GC-MS). *Water (Switzerland)*, *15*(16).

Cheng, J., Zhou, Y., Zuo, M., Dai, L., & Guo, X. (2010). Application of dispersive liquid-liquid microextraction and reversed phase-high performance liquid chromatography for the determination of two fungicides in environmental water samples. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, *90*(11), 845–855. https://doi.org/10.1080/03067310903180468.

European Food Safety Authority (EFSA). (2023). Re-evaluation of bisphenol A (BPA) migration limits in food contact materials. EFSA Journal, 21(1), e07589.

Deniz, S. (2023). A Dispersive Liquid-Liquid Micro Extraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometric Method for The Determination of 4-Nonylphenol in Water Samples. *Afyon*

Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, *23*(5), 1103–1111.

De Falco, M., & Laforgia, V. (2021). Combined effects of different endocrine-disrupting chemicals (Edcs) on prostate gland. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 18). MDPI.

Diepens, M., & Gijsman, P. (2008). Photo-oxidative degradation of bisphenol A polycarbonate and its possible initiation processes. *Polymer Degradation and Stability*, *93*(7), 1383–1388.

Esmer, Ö. K., & Çagındi, Ö. (2020). Safety of Polycarbonate Water Carboys for Residual and Migration Levels of Bisphenol-A. *Akademik Gida*, *18*(4), 411–420. https://doi.org/10.24323/akademik-gida.850930.

Febriyantika, C. F., Qodri., U. L., Choirunniza, A. N. (2024). Identifikasi Pengaruh Suhu dan Waktu Penyimpanan Terhadap Kandungan Bisphenol A dalam Sampel Air Galon Poli serta Validasi Metode Pengukurannya dengan Spektrofotometri UV-VIS. *Jurnal Farmamedika.* (Vol.9 No.1, Juni 2024: 77-87).

García García, M., Picó, Y., & Morales-Suárez-Varela, M. (2024). Effects of Bisphenol A on the Risk of Developing Obesity. In *Nutrients* (Vol. 16, Issue 21). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

Gusnawati, G. (2023). *Analisis Kualitas Air Minum Isi Ulang Dengan Menggunakan Teknologi Reverse Osmosis (RO)* (Vol. 8, Issue 2).

Internasional Conference on Harmonisation of Technical Requirementsm For Registration Of Pharmaceuticals for Human Use Icharmonised Tripartite Guideline Validation of

Analytical Procedures: Text and Methodology *Q2(R1).* (2005).

Hanannum. Z. H., Hanny. S., Angela. I. F., Joe. A. K., Muawanah., Sherly., Nur. A. (2013). Isolasi dan standarisasi bahan alam Gas *Chromatograph- Mass Spectrometry.* Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi. Semarang.

Hikmah. N., Arpah. M. (2024). Perbandingan migrasi monomer Bisphenol A (BPA) pada kemasan minum plastic Polikarbonat (PC) dan Poletilena Terefatalat (PET) kajian meta- Analisis. *Journal Syntax Idea,* p–ISSN: 2723-4339 e-ISSN: 2548-1398 Vol. 6, No. 05, Mei 2024.

Hryniewicka, M., Starczewska, B., & Gołębiewska, A. (2019). Determination of budesonide and sulfasalazine in water and wastewater samples using DLLME-SFO-HPLC-UV method. *Water (Switzerland)*, *11*(8).

Inas Audah. (2022). Perlindungan Hukum bagi Konsumen atas Penggunaan *Bisphenol A* pada Kemasan Air Minum. *Jurist-Diction*, *5*(5), 1791–1808.

Kozioł, M., Krasa, A., Łopuszyńska, A. M., Pawlicki, M., Piekarska, E., Piecewicz-Szczęsna, H., & Wójcik, A. (2021). The influence of *Bisphenol A* on the human body. *Journal of Education, Health and Sport*, *11*(9), 238–245.

K. G., Rauch, S. A., Chevrier, J., Kogut, K., Parra, K. L., Trujillo, C., Lustig, R. H., Greenspan, L. C., Sjödin, A., Bradman, A., & Eskenazi, B. (2017). Association of prenatal and childhood PBDE exposure with timing of puberty in boys and girls. *Environment International*, *100*, 132–138.

Lazofsky, A., & Buckley, B. (2022). Recent Trends in Multiclass Analysis of Emerging Endocrine Disrupting Contaminants (EDCs) in Drinking Water. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 24). MDPI.

Le, H. H., Carlson, E. M., Chua, J. P., & Belcher, S. M. (2008). Bisphenol A is released from polycarbonate drinking bottles and mimics the neurotoxic actions of estrogen in developing cerebellar neurons. *Toxicology Letters*, *176*(2), 149–156. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2007.11.001.

Liguori, F., Moreno-Marrodan, C., & Barbaro, P. (2020). Biomass-derived chemical substitutes for *Bisphenol A*: Recent advancements in catalytic synthesis. In *Chemical Society Reviews* (Vol. 49, Issue 17, pp. 6329–6363). Royal Society of Chemistry.

Liu, X., Bian, Y., Zhao, J., Wang, Y., & Zhao, L. (2020). Menthol-based deep eutectic solvent in dispersive liquid-liquid microextraction followed by solidification of floating organic droplet for the determination of three bisphenols with UPLC-MS/MS.

Liu, Y., Wang, Y., & Zhao, L. (2022). Effect of storage time and temperature on bisphenol A migration from plastic packaging into drinking water. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 57(5), 451-460.

Loh, S. H., Ong, S. T., Ngu, M. L., & Ariffin, M. M. (2017). Rapid extraction of Bisphenol A by dispersive liquid-liquid microextraction based on solidification of floating organic. *Sains Malaysiana*, *46*(4), 615–621.

Lubis, N., Soni, D., & Fuadi, M. D. S. (2021a). Pengaruh suhu penyimpanan air minum pada botol kemasan Polycarbonate (PC) yang beredar di daerah Garut terhadap kadar Bisphenol-A (BPA) menggunakan Spektrofotometri Ultraviolet. *Jurnal Kimia*, 223.

Mahdavianpour, M., Chamkouri, N., Chamkouri, H., Kolivand, Z., Noorizadeh, N., Malaekeh, S. M. A., & Karami, S. (2021).

Determination of bisphenol a migration from food packaging by dispersive liquid-liquid microextraction. *MethodsX*, *8*.

Mandrah, K., Satyanarayana, G. N. V., & Roy, S. K. (2017). A dispersive liquid-liquid microextraction based on solidification of floating organic droplet followed by injector port silylation coupled with gas chromatography–tandem mass spectrometry for the determination of nine bisphenols in bottled carbonated beverages. *Journal of Chromatography A*, *1528*, 10–17.

Manzoor, M. F., Tariq, T., Fatima, B., Sahar, A., Tariq, F., Munir, S., Khan, S., Nawaz Ranjha, M. M. A., Sameen, A., Zeng, X. A., & Ibrahim, S. A. (2022a). An insight into Bisphenol A, food exposure and its adverse effects on health: A review. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A.

Miao, H., Fan, S., Wu, Y.-N., Zhang, L., Zhou, P.-P., Li, J.-G., Chen, H.-J., & Zhao, Y.-F. (2009). Simultaneous Determination of Melamine, Ammelide, Ammeline, and Cyanuric Acid in Milk and Milk Products by Gas Chromatography-tandem Mass Spectrometry. In *Biomedical And Environmental Sciences* (Vol. 22).

Mileva, G., Baker, S. L., Konkle, A. T. M., & Bielajew, C. (2014). Bisphenol-A: Epigenetic reprogramming and effects on reproduction and behavior. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 11, Issue 7, pp. 7537–7561). MDPI.

Molina-López, A. M., Bujalance-Reyes, F., Ayala-Soldado, N., Mora-Medina, R., Lora-Benítez, A., & Moyano-Salvago, R. (2023). An Overview of the Health Effects of Bisphenol A from a One Health Perspective. In *Animals* (Vol. 13, Issue 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

Neri, I., Russo, G., & Grumetto, L. (2024). Bisphenol A and its analogues: from their occurrence in foodstuffs marketed in Europe to improved monitoring strategies—a review of published literature from 2018 to 2023. In *Archives of Toxicology* (Vol. 98, Issue 8, pp. 2441–2461). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

Nitschke, L., Breuer, D., Frenzen, A., Heinrich, B., Hebisch, R., Brock, T. H., & Hartwig, A. (2017). Phthalates – Method for the determination of nine phthalates in workplace air using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) [Air Monitoring Methods, 2017]. In *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety* (pp. 1382–1400). Wiley.

Ottaviani, M. F., Leonardis, I., Cappiello, A., Cangiotti, M., Mazzeo, R., Trufelli, H., & Palma, P. (2010). Structural modifications and adsorption capability of C18-silica/binary solvent interphases studied by EPR and RP-HPLC. *Journal of Colloid and Interface Science*, *352*(2), 512–519.

Perdana, Y. W., Jacobus, J. D. (2016). Bisphenol A (BPA) adalah Endocrine Discrupture Chemicals (EDC) yang Berperan sebagai Agen Diabetogenik. *OPINI 707*.

Photodegradation and stability of bisphenol a polycarbonate in weathering conditions. (2009).

Ramírez, V., Merkel, S., Tietz, T., & Rivas, A. (2023). Risk assessment of food contact materials. *EFSA Journal*, *21*(S1).

Servio, P., & Englezos, P. (2001). Effect of temperature and pressure on the solubility of carbon dioxide in water in the presence of gas hydrate. In *Fluid Phase Equilibria* (Vol. 190).

Simanjuntak, B., Adawiyah, D., Purnomo, E., Studi, P., Profesional, M., Pangan, T., Pascasarjana, S., Pertanian Bogor, I., Ilmu, D., Pertanian, T., & Bogor, I. P. (2016). Stabilitas Gas Karbondioksida pada Minuman Berkarbonasi Selama

Penyimpanan Stability of Carbondioxide in Carbonated Soft Drink during storage. *Jurnal Mutu Pangan*, *3*(1), 45–49.

Tan, Y. H., Chai, M. K., & Wong, L. S. (2018). A review on extraction solvents in the dispersive liquid-liquid microextraction. In *Malaysian Journal of Analytical Sciences* (Vol. 22, Issue 2, pp. 166–174). Malaysian Society of Analytical Sciences. https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2202-01

Thompson, M., Ellison, S. L. R., & Wood, R. (2002). Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *74*(5), 835–855.

Harley, K. G., Rauch, S. A., Chevrier, J., Kogut, K., Parra, K. L., Trujillo, C., Lustig, R. H., Greenspan, L. C., Sjödin, A., Bradman, A., & Eskenazi, B. (2017). Association of prenatal and childhood PBDE exposure with timing of puberty in boys and girls. *Environment International*, *100*, 132–138. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.003

Vasiljevic, T., & Harner, T. (2021). Bisphenol A and its analogues in outdoor and indoor air: Properties, sources and global levels. In *Science of the Total Environment* (Vol. 789). Elsevier B.V.

Vilarinho, F., Lestido-Cardama, A., Sendón, R., de Quirós, A. R. B., de Fátima Vaz, M., & Sanches-Silva, A. (2020). HPLC with fluorescence detection for determination of bisphenol a in canned vegetables: Optimization, validation and application to samples from portuguese and Spanish markets. *Coatings*, *10*(7).

Rodriguez, R., Castillo, E., & Sinuco, D. (2019). Validation of an HPLC method for determination of bisphenol-A migration from baby feeding bottles. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2019*. https://doi.org/10.1155/2019/1989042

Wade, M. J., lo Jacomo, A., Armenise, E., Brown, M. R., Bunce, J. T., Cameron, G. J., Fang, Z., Farkas, K., Gilpin, D. F., Graham, D. W., Grimsley, J. M. S., Hart, A., Hoffmann, T., Jackson, K. J., Jones, D. L., Lilley, C. J., McGrath, J. W., McKinley, J. M., McSparron, C., … Kasprzyk-Hordern, B. (2022). Understanding and managing uncertainty and variability for wastewater monitoring beyond the pandemic: Lessons learned from the United Kingdom national COVID-19 surveillance programmes. *Journal of Hazardous Materials*, *424*.

World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition. WHO Press.

World Health Organization (WHO). (2021). Water Safety Plans: Managing Drinking-water Quality from Catchment to Consumer.

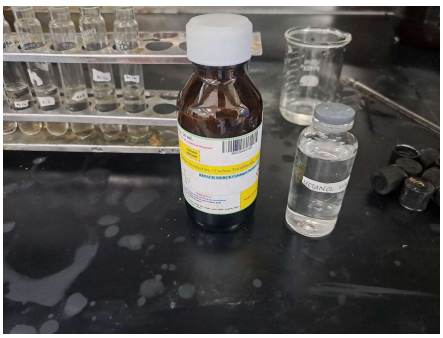
Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). Food Packaging and Safety: Guidelines for the Use of Plastics. FAO Corporate Document Repository.

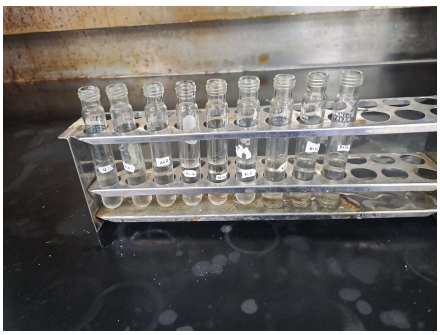
LAMPIRAN

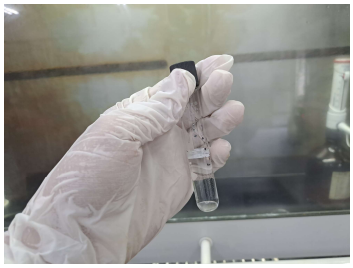
Lampiran 1 – Pembelian Air Galon di Depot Ait Minum

Lampiran 2 – Perlakuan Sampel disimpan pada ruangan tertutup, dan terpapar sinar matahari

Lampiran 3 – Ekstraksi Sampel







Lampiran 4 – Perhitungan

1. Pembuatan Larutan Standar

   A. Pembuatan Larutan Stok

      BPA murni = 1 mg

      Volume pelarut metanol = 100 mL

      $C = \frac{Massa}{Volume} = \frac{1\ mg}{0{,}1\ L} = 0{,}1\ mg/L$

   B. Kemurnian *Bisphenol A* 98%

      Ditimbang= $\frac{0{,}1}{0{,}98} = 0{,}102\ mg$

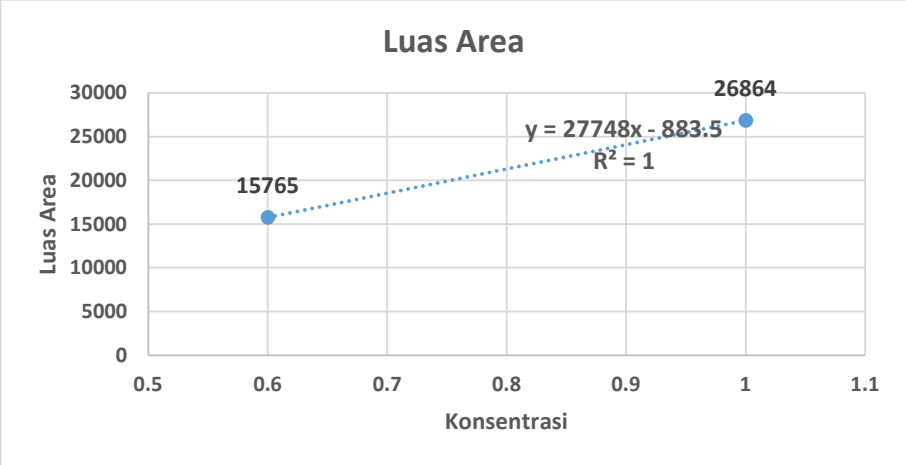
   C. Pembuatan Larutan Standar 1 mg/L

      0,102 mg + 100 mL = 1 mg/L

   D. Larutan Standar 0,6 mg/L (100 mL)

      $V1 = \frac{C2\ X\ V2}{C1} = \frac{0{,}6\ mg/l\ x\ 100\ mL}{100\ mL} = 0{,}6\ mg/L$

2. Analisis Koefisien



3. Penentuan Batas Deketsi Dengan Penentuan *Limit Of Detection* (LOD) & *Limid Of Quantification* (LOQ)

No	Konsentrasi larutan standar	Luas Area
1	0.6	15765
2	1	26864

Konsentrasi (ppm)	**Luas Area**	**y'**	**y-y'**	**y-y'^2**
0.6	15765	16544.2	-779.2	607152.64
1	26864	26431	433	187489
			Jumlah	794641.64
			Slope	27747.5
			sy/x	**630.3338956**
			LOD	0.0750
			LOQ	0.227

$$LOD = \frac{3{,}3\ x\ sy/x}{Slope} = \frac{3{,}3\ x\ 630{,}33}{27747{,}5} = 0{,}075\ ppm$$

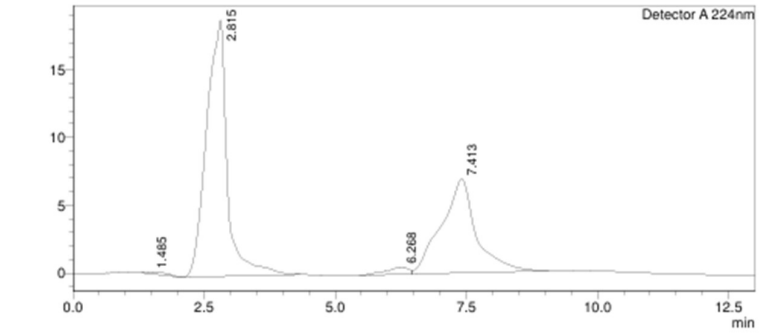
$$LOQ = \frac{10\ x\ sy/x}{Slope} = \frac{10\ x\ 630{,}33}{27747{,}5} = 0{,}22\ ppm$$

Lampiran 5 – Hasil Laboratorium

<Sample Information>

Sample Name	: A1 H8		
Sample ID	: 2		
Data Filename	: 2.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-3	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 12:22:25	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 12:35:26	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

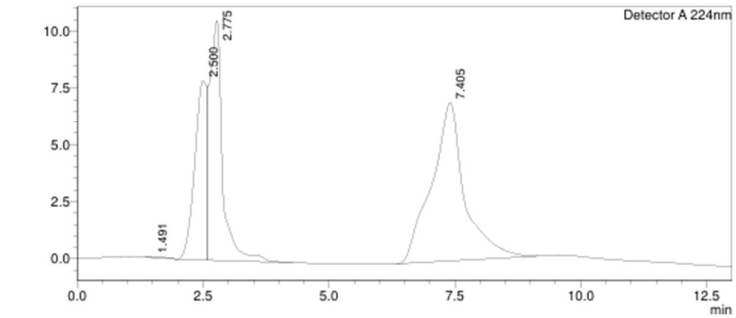
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	1.485	4562	140	0.000			
2	2.815	518924	18881	0.000			
3	6.268	16378	543	0.000			
4	7.413	316964	6880	0.000		V	
Total		856828	26444				

<Sample Information>

Sample Name	: A1 H16		
Sample ID	: 3		
Data Filename	: 3.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-4	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 12:35:48	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 12:48:50	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

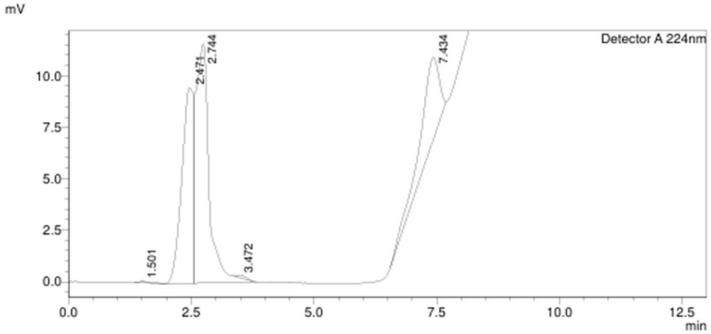
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	1.491	1196	51	0.000			
2	2.500	129811	7894	0.000			
3	2.775	186896	10533	0.000		SV	
4	7.405	316375	6970	0.000			
Total		634279	25448				

<Sample Information>

Sample Name	: A2 H8		
Sample ID	: 4		
Data Filename	: 4.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-5	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 12:49:11	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 13:02:13	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

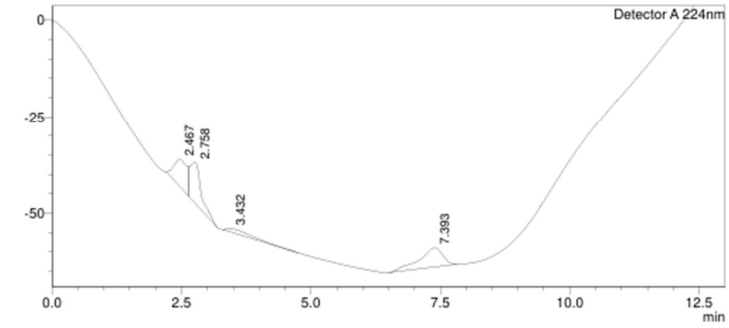
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	1.501	1347	58	0.000			
2	2.471	157328	9494	0.000			
3	2.744	215869	11587	0.000		SV	
4	3.472	1501	82	0.000		T	
5	7.434	198815	3954	0.000			
Total		484860	25175				

<Sample Information>

Sample Name	: A2 H16		
Sample ID	: 5		
Data Filename	: 5.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-6	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 13:02:34	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 13:15:36	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

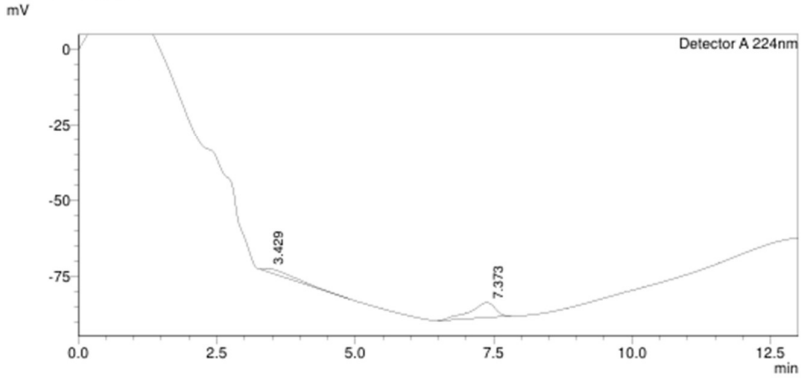
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	2.467	122517	6945	0.000			
2	2.758	152903	10451	0.000		V	
3	3.432	34037	755	0.000			
4	7.393	31693	4949	0.000			
Total		467094	23100				

<Sample Information>

Sample Name	: B1 H8		
Sample ID	: 6		
Data Filename	: 6.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-7	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 13:15:57	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 13:28:59	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

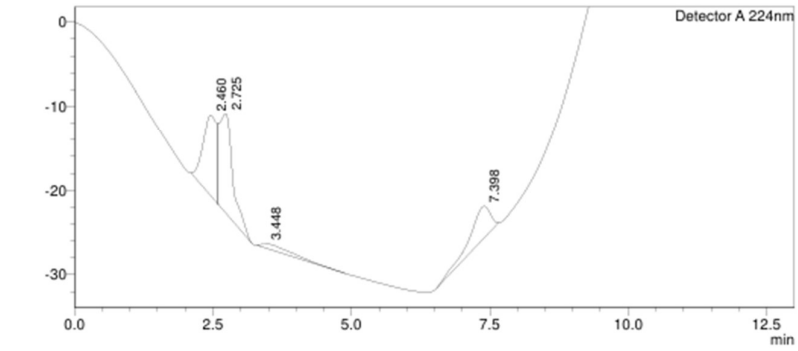
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	3.429	56124	1152	26.760			
2	7.373	193610	4847	73.240			
Total		209735	5999				

<Sample Information>

Sample Name	: B1 H16		
Sample ID	: 7		
Data Filename	: 7.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-8	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 13:29:20	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 13:42:22	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

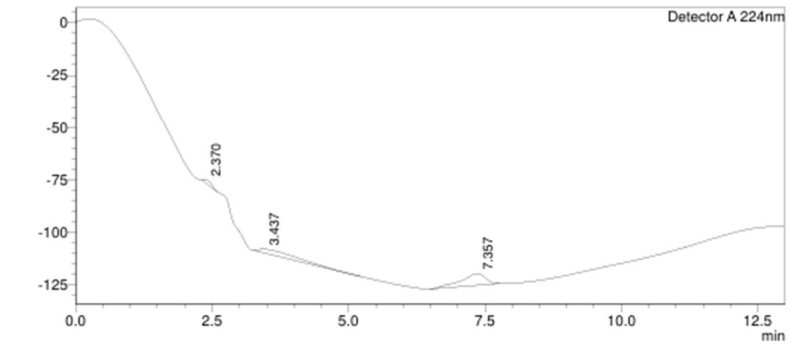
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	2.460	166417	9635	0.000			
2	2.725	193944	11811	0.000		V	
3	3.448	14209	501	0.000			
4	7.398	20434	3767	0.000			
Total		488884	25714				

<Sample Information>

Sample Name	: B2 H8		
Sample ID	: 8		
Data Filename	: 8.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-9	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 13:42:44	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 13:55:46	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

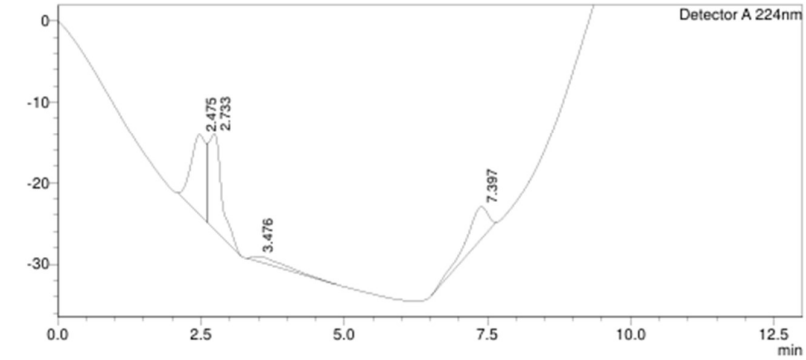
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	2.370	15960	1146	5.164			
2	3.437	115113	1694	37.247			
3	7.357	177981	5629	57.589			
Total		309054	8469				

<Sample Information>

Sample Name	: B2 H16		
Sample ID	: 9		
Data Filename	: 9.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-10	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 13:56:07	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 14:09:09	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

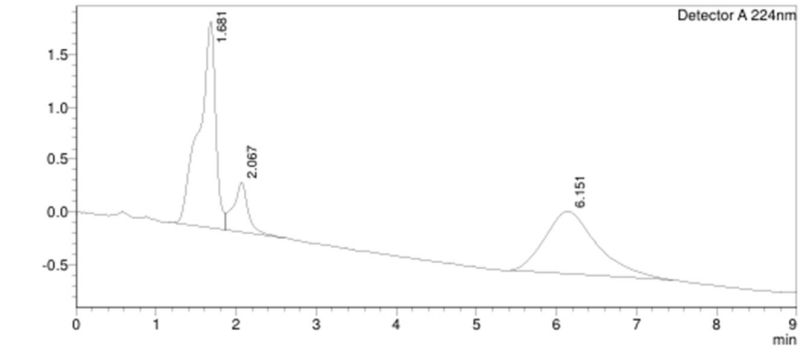
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	2.475	275624	9806	0.000			
2	2.733	286065	11682	0.000		V	
3	3.476	27608	547	0.000			
4	7.397	216265	3909	0.000			
Total		501563	25944				

<Sample Information>

Sample Name	: BPA 1 mg/L		
Sample ID	: 10		
Data Filename	: 10.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	: 5_2_25.lcb		
Vial #	: 2-1	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 10:01:48	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 10:10:56	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

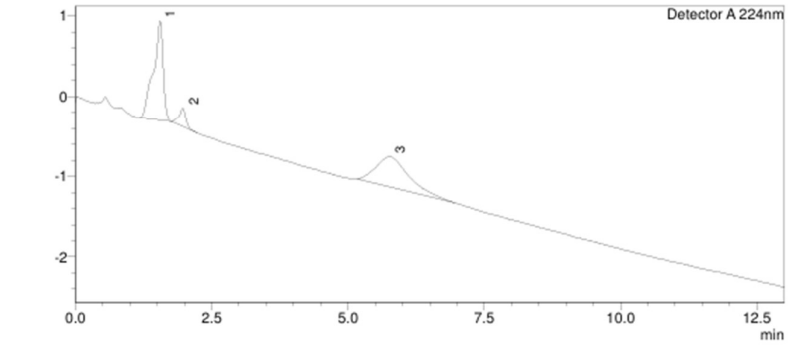
Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	1.681	28224	1957	0.000			
2	2.067	5953	470	0.000		V	
3	6.151	26864	588	0.000			
Total		61041	3015				

<Sample Information>

Sample Name	: BPA 0,6 mg/L		
Sample ID	:		
Data Filename	: 11.lcd		
Method Filename	: BPA_01950225.lcm		
Batch Filename	:		
Vial #	: 2-1	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 10 uL		
Date Acquired	: 05/02/2025 9:45:18	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 05/02/2025 9:58:20	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

Detector A 224nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	1.551	15345	1232	0.000			
2	1.967	2004	229	0.000			
3	5.760	15765	374	0.000			
Total		33113	1836				

RIWAYAT HIDUP

Muhammad Al Dendi, Lahir di Lampung pada tanggal 22 Januari 2004. Anak ketiga dari pasangan Agus Aji dan Darlisna Harahap. Peneliti menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 4 Tulang Bawang Barat pada tahun 2015. Kemudian peneliti melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 4 Tulang Bawang Tengah dan tamat pada tahun 2018. Kemudian melanjutkan pendidikan di MAN 1 Metro dan tamat pada tahun 2021. Peneliti melanjutkan studi di perguruan tinggi Universitas Islam Indonesia pada tahun 2021 hingga sekarang. Peneliti pernah melakukan kerja praktik pada bagian Keselamatan Kerja selama satu bulan di PPSDM Migas Cepu, Jawa Tengah, dan mengikuti magang generasi bertalenta (MAGENTA) di bagian Monitoring Lingkungan selama enam bulan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.