



## Review: metode penetapan kadar Bisfenol A pada kemasan pangan

MARISKA FEBRIANI<sup>1</sup>, ADE ZUHROTUN<sup>1</sup>, DAN ELSA FITRIA APRIANI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran; <sup>2</sup>Jurusan Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya

### Kata kunci:

Bisphenol A (BPA),  
analisis kimia,  
validasi metode

**ABSTRAK:** Penelitian ini menggunakan metodologi tinjauan artikel, yang mencakup tahun 2013 hingga 2023. Pencarian dilakukan menggunakan *Google Scholar*, dengan istilah “BPA in gallon”, “Bisphenol A”, and “Determination of BPA”. Pengumpulan data primer dicapai dengan melakukan pengujian yang diselenggarakan oleh salah satu lembaga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyediakan metode analisis yang sangat efisien dan akurat untuk mengukur konsentrasi bisphenol A (BPA) dalam kemasan makanan. Bisphenol A adalah molekul kimia yang sering digunakan dalam pembuatan kemasan plastik. Ia memiliki kemampuan untuk meresap ke dalam makanan, yang dapat menyebabkan konsekuensi kesehatan yang merugikan pada manusia. Penelitian ini menggunakan pendekatan voltametri, satu Spektrometer Uv-Vis, dua instrumen Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (HPLC), dan dua instrumen Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS) untuk mengukur kandungan BPA dalam sampel kemasan makanan. Metode ini telah menjalani validasi menggunakan faktor-faktor seperti linearitas, presisi, akurasi, batas deteksi, dan batas kuantifikasi. Temuan tersebut menunjukkan presisi dan sensitivitas tinggi metode tersebut dalam mendeteksi dan mengukur kadar BPA pada berbagai bahan kemasan makanan. Studi ini bertujuan untuk memberikan kontribusi substansial terhadap pengawasan dan jaminan kualitas kemasan makanan terkait potensi bahaya paparan BPA pada konsumen.

### Keywords:

Bisphenol A (BPA),  
chemical analysis,  
method validation

**ABSTRACT:** This research use the article review methodology, covering the years 2013 to 2023. The search is conducted using *Google Scholar*, with the terms “BPA in gallon”, “Bisphenol A”, and “Determination of BPA”. The collection of primary data was achieved by conducting tests administered by one of the agencies. The objective of this study is to provide a very efficient and accurate analytical technique for measuring the concentration of bisphenol A (BPA) in food packaging. Bisphenol A is a chemical molecule often used in the manufacturing of plastic packaging. It has the ability to seep into food, which may lead to adverse health consequences in humans. This research used a voltammetry approach, one Uv-Vis Spectrometer, two High Performance Liquid Chromatography (HPLC) instruments, and two Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) instruments to quantify the content of BPA in food packaging samples. The technique has undergone validation using factors such as linearity, precision, accuracy, limit of detection, and limit of quantification. The findings demonstrated the method's high precision and sensitivity in detecting and quantifying BPA levels across different food packaging materials. This study aims to make a substantial contribution to the oversight and quality assurance of food packaging in relation to the potential danger of consumer exposure to BPA”.

## 1 PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, penggunaan wadah makanan dan minuman berbahan plastik untuk berbagai keperluan pun semakin meningkat. Dengan semakin berkembangnya teknologi dan meningkatnya aktivitas masyarakat yang cenderung memilih cara yang mudah dan murah untuk memenuhi kebutuhan makanan

dan minumannya, seperti makanan dan minuman dalam kemasan. Berbagai merk wadah plastik, mulai dari wadah sekali pakai hingga wadah yang dapat dipakai ulang. Menggunakan galon yang dapat dipakai ulang menjadi salah satu pilihan yang banyak diminati oleh sebagian orang, karena lebih murah dibandingkan dengan menggunakan yang sekali pakai. Akan tetapi, kemasan dan wadah berbahan plastik dapat mengandung berbagai

\* Corresponding Author: [mariska23001@mail.unpad.ac.id](mailto:mariska23001@mail.unpad.ac.id)

macam kontaminan, termasuk bisphenol A yang dapat membahayakan kesehatan Anda. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa galon yang digunakan bebas dari Bisphenol A (BPA). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis kandungan Bisphenol A (BPA) dalam kemasan pangan. Metode pengujian Bisphenol-A sangat bervariasi, mulai dari pengujian kualitatif hingga kuantitatif. Metode kuantitatif yang dapat digunakan untuk menganalisis kadar Bisphenol A, yaitu Voltametri, Spektroskopi UV-Vis, Kromatografi Cair Kinerja Tinggi dengan Deteksi Massa (HPLC-MS), dan Kromatografi Gas dengan Spektrometri Massa (GC-MS). Sementara itu, untuk pengujian kualitatif, digunakan metode uji strip yang melibatkan perbandingan pola fragmentasi berdasarkan rasio isotop dan perhitungan indeks retensi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas pengujian terhadap Bisphenol-A.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### Bisphenol A

Bisphenol A (CAS 80-05-07) atau dikenal dengan "senyawa 2,2-(4,4'-dihidroksifenil) propana, 4,4'-isopropylidenediphenol, atau 2,2'-bis(4-hidroksi fenil) propana. Bisphenol A (BPA) memiliki berat molekul sebesar 228,29 g/mol dan rumus kimia  $C_{15}H_{16}O_2$ . BPA disintesis melalui reaksi kondensasi fenol dan aseton, yang difasilitasi oleh katalis resin penukar ion yang kuat. Produk yang mengandung BPA sebagai komponen utama atau yang terkait dengan BPA telah digunakan selama lebih dari 50 tahun. Bisphenol A (BPA) adalah monomer yang sering digunakan dalam produksi plastik, seperti polikarbonat, resin epoksi, dan beberapa bahan polimer lainnya. Wadah makanan dan minuman merupakan jenis produk plastik polikarbonat yang sering terlihat dalam kehidupan sehari-hari. Meskipun demikian, penggunaan plastik yang mengandung BPA untuk tujuan khusus ini mungkin menawarkan risiko yang signifikan. Penyimpanan plastik yang tidak tepat dapat mengakibatkan migrasi molekul BPA dari plastik ke makanan, yang pada akhirnya dapat dikonsumsi oleh orang-orang. Studi menunjukkan bahwa Bisphenol A (BPA) terdapat dalam beberapa sumber manusia, termasuk makanan, air liur, darah, dan urin[1, 2, 3].

### Bahaya Bisphenol A bagi kesehatan

Keberadaan BPA dalam tubuh manusia dapat memengaruhi fungsi kelenjar endokrin, seperti hormon estrogen dan tiroid, serta dapat memicu

kanker prostat dan payudara. BPA juga dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan, serta memengaruhi fungsi reproduksi, diferensiasi susunan saraf pusat, dan sistem imun. Melihat bahaya tersebut, lembaga internasional seperti Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (FDA) dan Badan Pengawas Obat dan Makanan Eropa (EFSA) telah menetapkan regulasi untuk membatasi penggunaan plastik polikarbonat sebagai wadah makanan dan minuman. Selain itu, FDA juga menetapkan batas asupan harian yang dapat diterima untuk BPA (TDI), yaitu 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  berat badan/hari[4].

### Pengujian Bisphenol A

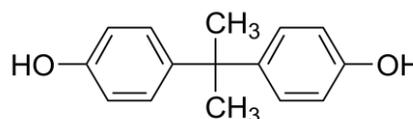
Saat ini, banyak metode telah digunakan untuk mengevaluasi BPA, seperti HPLC, LC-MS, GC-MS, spektroskopi fluoresensi, dan spektroskopi Raman. Meskipun teknologi ini dapat diandalkan dan responsif untuk analisis rutin, teknologi ini memiliki beberapa kekurangan, termasuk peralatan yang mahal, kebutuhan akan operator yang terampil, prosedur persiapan sampel yang rumit, durasi analisis yang relatif lama, dan kendala pada deteksi langsung di lapangan. Oleh karena itu, eksplorasi metode analisis BPA yang lebih ampuh dan efisien terus menjadi bidang studi yang menarik.

## 3 METODE

Penelitian ini menggunakan metode review artikel dengan rentang tahun 2013 hingga 2023, yang dilakukan dengan pencarian menggunakan *Google Scholar* yang memasukan kata kunci "BPA in gallon", "Bisphenol A", "Determination of BPA". Data primer diperoleh melalui pengujian yang digunakan pada salah satu instansi.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari metode ini menunjukkan bahwa 12 jurnal diperoleh dari PubMed dan Google Scholar yang membahas penetapan kadar Bisphenol-A. Kriteria inklusi yang digunakan meliputi istilah-istilah seperti "Bisphenol A," "Polikarbonat," "Bisphenol in food," "BPA in gallon," dan "Toxicity of BPA."



Gambar 1. Struktur Kimia Bisphenol A

Senyawa 2,2-bis(4-hidroksifenil) propana, yang juga dikenal dengan nama Bisphenol A (BPA), adalah Merupakan senyawa sintesis yang dihasilkan melalui

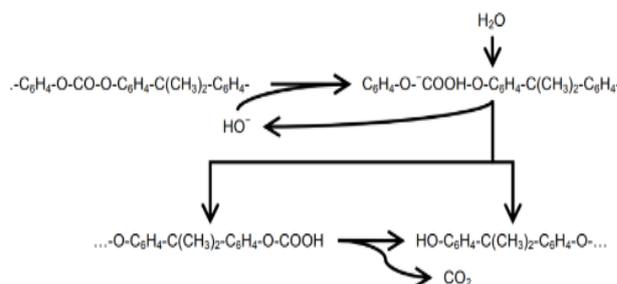
kondensasi antara dua gugus fenol dan satu molekul aseton dalam kondisi asam atau basa. Rumus molekul BPA adalah  $C_{15}H_{16}O_2$  dengan berat molekul 228,28 g/mol. BPA berbentuk padatan kristal putih yang stabil pada suhu kamar, dengan titik leleh  $156^{\circ}C$  dan titik didih  $220^{\circ}C$ . BPA ditemukan dalam berbagai produk seperti botol plastik, mainan anak, wadah polikarbonat, dan galon. BPA dapat terlepas dari kemasan ketika suhu meningkat. Wadah atau galon yang mengandung BPA sering ditemukan di tempat umum dan penting, meskipun penggunaannya dapat menimbulkan efek berbahaya.

**Proses pelepasan BPA**

Senyawa BPA berfungsi sebagai prekursor dalam produksi plastik, khususnya polikarbonat. Pada kemasan galon, BPA dapat larut ke dalam air minum kemasan karena adanya proses migrasi dari polikarbonat. Berdasarkan penelitian Le pada tahun 2015, saat kemasan polikarbonat terkena air mendidih ( $100^{\circ}C$ ), tingkat migrasi BPA ke dalam air minum kemasan lebih rendah dibandingkan saat terkena air pada suhu  $20^{\circ}C$ . Namun, penggunaan kemasan galon secara berulang dapat meningkatkan migrasi BPA ke dalam minuman. Proses ini meningkatkan permeabilitas dinding wadah, sehingga air lebih mudah menempel pada dinding galon dan meningkatkan kontaminasi BPA pada air yang dikonsumsi. Penelitian Carwile et al. pada tahun 2009 menunjukkan bahwa setelah relawan mengonsumsi air hangat dari kemasan BPA selama satu minggu, terjadi peningkatan kadar BPA dalam urin hingga 69%.

Peningkatan ini disebabkan oleh penggunaan kemasan yang mengandung BPA secara terus-menerus dan paparan suhu tinggi pada kemasan, yang menyebabkan BPA terlepas dan tercampur

dengan air minum kemasan. BPA dapat dilepaskan dari polikarbonat ke dalam air mineral melalui proses hidrolisis polimer yang dikatalisis oleh hidroksida (lihat Gambar 1), yang terjadi ketika kemasan polikarbonat bersentuhan dengan air mineral. Faktor lain yang memengaruhi pelepasan BPA adalah pH. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, peningkatan pH diikuti oleh peningkatan kadar BPA. Penelitian oleh Biedermann-Brem menunjukkan bahwa pelepasan BPA yang terkait dengan peningkatan pH juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti waktu paparan dan suhu. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu paparan, semakin banyak karbon dioksida yang dilepaskan, yang pada gilirannya menyebabkan peningkatan pH[5].



Gambar 2. Degradasi polikarbonat menjadi BPA dan Karbondioksida yang dikatalisis oleh Hidroksida

**Metode yang digunakan**

Hasil identifikasi beberapa publikasi, yang dipilih berdasarkan kriteria tertentu, baik nasional maupun internasional, memberikan informasi tentang uji validasi untuk menganalisis kadar Bisphenol-A menggunakan berbagai metodologi. Menurut jurnal yang diperoleh, terdapat metode pengujian kuantitatif dan kualitatif. Tabel 1 merangkum 4 pendekatan kuantitatif dan 1 metode kualitatif yang ditemukan dalam publikasi ini untuk mendeteksi Bisphenol-A.

Tabel 1. Hasil review jurnal Metode, sampel, parameter validasi

Metode	Sampel	Parameter validasi						Waktu retensi	Sumber
		Selektivitas	Linieritas	LOD	LOQ	Akurasi	Presisi		
Voltametri	Plastik	-	0,9966	0,0847	0,2823	97,28%	0,64%	-	[6]
Spektrofotometer Uv-Vis	Air Minum Kemasan Galon	-	0,99714	-	-	90,754%	-	-	[7]
HPLC	Kemasan susu dan air mineral	-	0,992	0,44	1,47	<3%	<11,1%	-	[8]
	Botol Plastik	-	0,9981	0,0471	8,4701	83,1478%	11,3%	-	[9]
GC-MS	Plastik	-	-	-	-	-	-	24,499	[10]
	Air Minum Kemasan Galon	-	-	-	-	-	-	3,4320	

Berdasarkan data pada tabel 1, terdapat empat prosedur kuantitatif yang dapat digunakan untuk menganalisis kadar Bisphenol A: Voltametri, Spektroskopi UV-Vis, Kromatografi Cair Kinerja Tinggi dengan Deteksi Massa (HPLC-MS), dan Kromatografi Gas dengan Spektrometri Massa (GC-MS). Pengujian kualitatif menggunakan metode uji strip yang mencakup analisis pola fragmentasi menggunakan rasio isotop dan penghitungan indeks retensi.

Review jurnal ini mengulas berbagai metode analisis sebagai berikut: satu pengujian menggunakan voltametri, satu pengujian menggunakan spektroskopi UV-Vis, dua pengujian menggunakan kromatografi cair kinerja tinggi dengan deteksi massa (HPLC), dan dua pengujian menggunakan kromatografi gas dengan spektrometri massa (GC-MS).

Voltametri merupakan metode elektroanalisis yang didasarkan pada prinsip dasar elektroanalisis. Metode elektroanalisis ini melibatkan hubungan antara besaran listrik dan reaksi kimia, dengan mengukur parameter listrik seperti arus, potensial, dan tegangan untuk menentukan konsentrasi analit. Teknologi voltametri memungkinkan penyesuaian potensial sesuai dengan kebutuhan analisis. Selama proses pengukuran, konsentrasi analit tetap stabil karena hanya sebagian kecil analit yang mengalami elektrolisis. Arus yang diukur selama analisis voltametri dihasilkan dari reaksi redoks yang terjadi pada permukaan elektroda[6].

Prinsip kerja spektrofotometer UV-visibel melibatkan penggunaan cahaya monokromatik yang melewati suatu medium (larutan). Pada proses ini, cahaya yang melewati medium dibagi menjadi tiga bagian, yaitu sebagian diserap (I), sebagian dipantulkan (Ir), dan sebagian dipancarkan (He). Untuk analisis kuantitatif, dilakukan perhitungan berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan dari spektrum serapan, sedangkan untuk analisis kualitatif diperlukan perbandingan dengan kurva kalibrasi berdasarkan hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai serapan. Dasar pengukuran spektrofotometri ini adalah hukum Beer-Lambert yang menyatakan bahwa intensitas cahaya yang diteruskan melalui medium bening adalah sebanding dengan ketebalan dan konsentrasi larutan yang digunakan. Sedangkan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) merupakan metode yang menggabungkan kromatografi gas dengan spektrometri massa. Kromatografi gas digunakan untuk menganalisis senyawa volatil yang dihasilkan ketika dipanaskan dalam kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah. Sedangkan spektrometri massa berfungsi untuk menentukan berat molekul dan rumus senyawa,

serta menghasilkan molekul bermuatan. Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) merupakan metode analisis modern yang merupakan pengembangan dari kromatografi cair kolom. HPLC menggunakan kolom yang lebih efisien, detektor yang lebih sensitif, dan teknologi pompa bertekanan tinggi untuk pemisahan material yang lebih cepat dan akurat. Inovasi ini menjadikan HPLC sebagai metode pilihan dalam analisis laboratorium[11].

### Validasi Metode Analisis

Untuk membuktikan efektivitas suatu metode analisis, evaluasi terhadap parameter laboratorium yang relevan merupakan dasar validasi. Tahap pertama dalam analisis kualitas kuantitatif adalah validasi metode, yang mencakup faktor-faktor seperti akurasi, presisi, batas deteksi (LOD), dan batas kuantifikasi (LOQ). Validasi metode adalah jenis validasi utama yang banyak digunakan untuk menjamin kualitas dan keandalan barang, khususnya di sektor farmasi. Tujuan utama validasi metode analitis adalah untuk memverifikasi bahwa metode tersebut secara konsisten menghasilkan hasil yang diinginkan, terlepas dari metodologi atau proses yang digunakan dalam penyelidikan[12].

### Selektivitas

Metode selektivitas berupaya menilai dampak keberadaan bahan kimia yang diinginkan, seperti bisphenol A, pada bentuk kurva dan pergeseran panjang gelombang. Sangat penting untuk memahami parameter yang dievaluasi dan untuk menjamin bahwa metodologi yang digunakan tidak memberikan hasil yang tidak akurat atau dipengaruhi oleh unsur-unsur asing. Mendokumentasikan parameter metode sangat penting untuk menentukan batas deteksi (LOD) dan batas kuantifikasi (LOQ). Persyaratan tersebut menunjukkan kapasitas metode untuk mendeteksi obat target secara akurat pada konsentrasi yang sangat rendah dengan tingkat kepastian yang signifikan[13].

Pengujian selektivitas dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan metode dalam membedakan bahan target dari senyawa lain dengan presisi. Hal ini memerlukan penggunaan kombinasi referensi yang mencakup obat yang diinginkan dan zat apa pun yang mungkin mengganggu analisis sampel. Pelaksanaan pemeriksaan ini memerlukan penggunaan metode yang disetujui. Selektivitas yang baik dicapai ketika suatu metode secara eksklusif mendeteksi bahan kimia target dan tidak dipengaruhi oleh zat pengganggu lainnya[14].

Parameter batas deteksi (LOD) dan batas kuantifikasi (LOQ) memiliki kepentingan yang signifikan dalam bidang analisis instrumental.

Batas Deteksi (LOD) adalah konsentrasi minimum analit yang dapat dideteksi oleh peralatan, meskipun mungkin tidak dapat diukur dengan akurasi dan presisi yang tinggi. Batas deteksi (LOD) mengacu pada kapasitas instrumen untuk mendeteksi sejumlah kecil analit, meskipun tidak memenuhi kriteria akurasi dan presisi yang ketat. Penentuan LOD dan LOQ dapat dicapai dengan menggunakan tiga pendekatan utama: kurva *signal-to-noise*, kurva kalibrasi, dan metode sampel kosong. Sumarno dan Kusumaningtyas (2019) menyatakan bahwa penentuan batas deteksi (LOD) meliputi pendeteksian sinyal dalam sampel tanpa analit apa pun dan kemudian pengurangan absorbansi instrumen menggunakan larutan atau pelarut yang sesuai, sering kali dilakukan setidaknya satu kali.

Batas Kuantifikasi (LOQ) mengacu pada kuantitas terkecil suatu zat dalam sampel yang dapat dikuantifikasi secara akurat dan tepat. LOQ sering digunakan untuk mengevaluasi presisi dan konsistensi suatu studi kuantitatif. Dalam studinya, Sayuthi dan Kurniawati (2017) menekankan peran penting batas kuantifikasi dalam penelitian kuantitatif. Parameter ini berfungsi sebagai sinyal kunci untuk mengevaluasi relevansi temuan analisis dalam kumpulan data yang rumit dan mengidentifikasi apakah suatu produk telah mengalami kerusakan.

Batas kuantifikasi (LOQ) mengacu pada konsentrasi terendah yang dapat dikuantifikasi secara akurat dan tepat, sering kali ditentukan oleh rasio *signal-to-noise*. Biasanya, batas deteksi (LOD) didefinisikan sebagai konsentrasi terendah yang menghasilkan rasio *signal-to-noise* sebesar 3:1. Nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan deviasi standar respons dan kemiringan kurva kalibrasi [15].

$$\text{LOD} = (3,3 \sigma)/S \quad (1)$$

$\sigma$  = nilai standar deviasi

S = slope dari kurva kalibrasi

Salah satu metode untuk menurunkan batas kuantifikasi (LOQ) adalah dengan menilai rasio *signal-to-noise* dengan membandingkan sinyal yang diperoleh dari eksperimen tiruan dengan sinyal dari eksperimen kontrol. Batas kuantifikasi (LOQ) adalah konsentrasi analit terendah yang menghasilkan rasio *signal-to-noise* sebesar 10:1 [15].

Dengan menggunakan rumus yang sesuai, LOQ dapat dihitung berdasarkan standar deviasi dari respons dan kemiringan kurva kalibrasi. Menurut

pedoman ICH, LOQ diperoleh dengan mengukur sinyal pada konsentrasi tertentu dan memastikan rasio *signal-to-noise* mencapai nilai yang diinginkan, yaitu 10:1. Perhitungan ini memungkinkan penentuan konsentrasi terkecil yang dapat diukur dengan tingkat akurasi dan presisi yang memadai [16].

$$\text{LOQ} = (10 \sigma)/S \quad (2)$$

$\sigma$  = nilai standar deviasi

S = slope dari kurva kalibrasi

Dalam penelitian Taylor (2013), nilai batas deteksi LOD untuk analit dalam sampel darah kering adalah 13,7 ng/mL, sedangkan batas kuantifikasi LOQ adalah 27,4 ng/mL. Untuk plasma, LOD yang diperoleh adalah 1,00 ng/mL dan LOQ adalah 3,05 ng/mL. Secara keseluruhan, presisi dan konsentrasi Bisphenol-A dalam darah kering (DBS) sebanding dengan plasma. Selain itu, terdapat korelasi yang baik antara konsentrasi Bisphenol-A dalam DBS dan plasma, yang menjadikan DBS sebagai matriks yang efektif untuk analisis.

### Linearitas

Uji linieritas, atau uji standar, adalah metode yang digunakan untuk memastikan apakah suatu metode analisis memberikan hasil yang proporsional terhadap konsentrasi analit dalam sampel. Prosedur ini melibatkan pembuatan kurva kalibrasi dengan menggunakan larutan standar yang memiliki konsentrasi yang sudah diketahui [17].

Kurva kalibrasi berfungsi sebagai alat standar untuk menentukan konsentrasi analit berdasarkan pengukuran sinyal. Metode ini mengacu pada hukum Beer-Lambert, yang menyatakan bahwa absorbansi (A) berbanding lurus dengan konsentrasi (C) analit dan panjang lintasan (l) cahaya melalui sampel.

$$y = bx + a \quad (3)$$

y = Peak area

x = konsentrasi zat

Pengujian linieritas melibatkan penggunaan setidaknya lima konsentrasi larutan standar untuk mengukur absorbansi masing-masing larutan. Suatu sampel biologis dianggap linier jika koefisien korelasi yang diperoleh memenuhi kriteria tertentu. Beberapa kriteria tersebut meliputi AOAC ( $r \geq 0,990$ ), SNI ( $r \geq 0,995$ ), ICH ( $r \geq 0,998$ ), dan Eurachem ( $r^2 \geq 0,995$ ). Berdasarkan tabel hasil, koefisien korelasi yang berhubungan dengan konsentrasi Bisphenol A dan absorbansinya menunjukkan bahwa sampel memenuhi persyaratan linieritas.

Dengan nilai dalam rentang linier, kurva kalibrasi yang dihasilkan dapat diterapkan dengan hukum Beer-Lambert, memungkinkan penggunaan persamaan garis lurus untuk menentukan validasi metode penetapan kadar Bisphenol A [18,19,20,21].

Tabel hasil menunjukkan bahwa jika konsentrasi larutan standar Bisphenol A meningkat, nilai serapannya juga meningkat, sejalan dengan hukum Beer-Lambert yang menyatakan bahwa perubahan konsentrasi sampel akan mempengaruhi absorbansi pada panjang gelombang tertentu, meskipun koefisiennya tetap. Kurva kalibrasi dibuat Dengan memplot larutan standar pada sumbu x dan absorbansi pada sumbu y serta menghubungkan data tersebut dengan garis lurus [17,18].

Presisi mengacu pada tindakan memilih teknik analisis yang paling sesuai untuk mendapatkan nilai pemulihan yang diinginkan. Hasil pemulihan mengukur derajat kesesuaian antara temuan analisis dan konsentrasi analit yang sebenarnya. Pengujian akurasi, metrik penting, dilakukan menggunakan teknik yang menghasilkan hasil yang sangat baik. Ada tiga cara yang umum digunakan untuk menilai akurasi: pendekatan simulasi, metode penambahan konvensional, dan metode perbandingan. Presisi diperoleh dari presisi beberapa pengukuran yang dilakukan melalui pengujian berulang dalam pengaturan yang sama [22].

Penilaian Bisphenol A dalam bahan biologis sering dilakukan dengan pendekatan simulasi atau metode pemulihan penambahan plasebo. Pengujian dimulai dengan mengukur kuantitas analit dalam plasebo, yang kemudian dimasukkan pada konsentrasi tertentu sebelum melakukan pengujian. Temuan analisis konsentrasi saat ini dibandingkan dengan hasil analisis yang diperoleh. Selain itu, proses pengujian melibatkan penggunaan ekstrak cair yang berasal dari sampel biologis, dan perhitungan pemulihan dilakukan menggunakan rumus pemulihan [23].

$$\text{Recovery} = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100\% \quad (4)$$

$M_2$  = Standar dibubuhi sampel biologis diikuti dengan ekstraksi sampel

$M_1$  = Standar yang disiapkan dalam pelarut rekonstitusi

Untuk mengevaluasi keakuratan metode analisis, pengukuran dilakukan pada Minimal tiga konsentrasi yang berbeda-tinggi, sedang, dan rendah-dengan setiap konsentrasi diukur setidaknya tiga kali. Keakuratan metode dianalisis berdasarkan nilai perolehan kembali (recovery), yang harus memenuhi parameter yang ditetapkan oleh FDA dalam

*Guidance for Industry Bioanalytical Method Validation*. Menurut panduan tersebut, nilai % perbedaan (<20%) pada kadar terendah dan <15% pada kadar lainnya adalah kriteria yang harus dipenuhi (FDA, 2018). Keputusan mengenai keakuratan juga dapat dipengaruhi oleh status analit dalam penelitian, jumlah sampel, dan kondisi laboratorium yang digunakan. Sementara itu, menurut AOAC, hasil perolehan kembali akan disesuaikan dengan konsentrasi yang digunakan dalam pengujian, asalkan hasilnya memenuhi kriteria yang tercantum dalam tabel yang relevan [24].

Tabel 2. Nilai ketentuan %recovery yang disesuaikan dengan konsentrasi menurut AOAC

Konsentrasi	Batas Recovery
100%	98-101%
10%	95-102%
1%	92-105%
0,1%	90-108%
0,01% (100 ppm)	85-110%
10 ppm	80-115%
10 ppb	70-125%

Berdasarkan uji rata-rata yang dilakukan, hasilnya Memenuhi standar yang ditetapkan oleh AOAC, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2. Ini menunjukkan bahwa pemulihan yang baik dapat dicapai dengan metode ini, dan metode ini dapat digunakan untuk analisis penentuan kadar Bisphenol-A, khususnya ketika menggunakan sampel biologis.

Presisi dalam metode analisis menggambarkan konsistensi hasil pengukuran dari pengujian berulang dalam kondisi yang sama. Terdapat tiga kategori utama dalam pengujian presisi: keterulangan, reproduktifitas, dan presisi menengah. Keterulangan Ini mengukur presisi hasil analisis dari pengujian yang dilakukan berulang kali dalam interval pendek di bawah kondisi yang sama. Reprodktivitas Juga dikenal sebagai presisi intra-assay, mengukur efek variabel seperti penimbangan, pencampuran, dan proses pemrosesan sampel pada hasil analisis. Pengujian ini dapat dilakukan dengan mengukur konsentrasi sampel pada minimal tiga konsentrasi yang berbeda, dengan masing-masing pengukuran dilakukan tiga kali. Sebagai alternatif, satu konsentrasi (100%) dapat diuji sebanyak enam kali. Presisi menengah Menilai akurasi metode analisis ketika diuji dalam kondisi dan lingkungan yang berbeda, seperti analisis pada hari yang berbeda atau menggunakan perangkat yang berbeda. Pengujian ini memerlukan setidaknya dua perbedaan dalam kondisi analisis [18].

Reproduksibilitas mengukur presisi dengan membandingkan hasil pengujian di laboratorium yang

berbeda. Penilaian presisi umumnya dilakukan dengan menggunakan deviasi standar relatif (SBR), dengan persyaratan FDA dalam panduan validasi metode bioanalitik industri menetapkan bahwa nilai %SBR harus kurang dari 20%. Penelitian ini menunjukkan bahwa koefisien variasi dapat meningkat seiring dengan penurunan konsentrasi analit setelah analisis[17,18].

## 5 Kesimpulan

Dari hasil review jurnal kami, diketahui bahwa analisis senyawa Bisphenol A dapat dilakukan dengan empat metode yang berbeda: voltametri, spektrometri UV-Vis, kromatografi cair kinerja tinggi massa (HPLC), dan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS). Semua metode ini telah memenuhi kriteria validasi, termasuk akurasi, selektivitas, presisi, linieritas, LOD (batas deteksi), dan LOQ (batas kuantifikasi). Hal ini dibuktikan oleh hasil uji yang menunjukkan bahwa metode-metode tersebut tidak bias. Pengujian BPA harus mematuhi standar internasional yang ditetapkan oleh badan regulasi seperti FDA (Food and Drug Administration) dan EFSA (European Food Safety Authority). Jurnal sering menilai efektivitas pengujian dengan membandingkan hasil pengujian terhadap pedoman dan standar yang ada. Secara keseluruhan, efektivitas pengujian BPA bergantung pada keakuratan dan sensitivitas metode yang digunakan, serta kepatuhan terhadap regulasi yang ada. Penelitian yang terus-menerus diperlukan untuk meningkatkan metode pengujian dan mengatasi tantangan yang mungkin muncul terkait dengan dampak BPA.

## REFERENSI

- [1] Rykowska, I., and Wasiak W. 2006. Properties, Threats, and Methods of Analysis of Bisphenol A and Its Derivatives, *ACTA Chromatographica no 16*. Pp 7-9
- [2] Felis, E., Ledakowicz, 2011. Degradation of Bisphenol A Using UV dan UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Processes, *Water Environ Res.* 83 (12)
- [3] Vandenberg Laura N. 2007. Human Exposure to Bisphenol A (BPA). *National Library of Medicine.* 24(2) 139-77
- [4] EFSA. 2012. Update on acrylamide levels in food from monitoring years 2007 to 2010. *EFSA Journal* 2012, 10(10)
- [5] Hoekstra, E. J dan Simoneau, C. 2013. Release of Bisphenol A from Polikarbonat—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* Vol. 53(4): 386-402.
- [6] Eryani Nurul., 2020. Validasi Metode Penentuan Bisphenol-B Pada Plastik Menggunakan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Graphene Oxide (EPK/GO). Program Studi FMIPA UII. Yogyakarta
- [7] Gusnawati, G, Munira, Muhammad Resky Rachmanto, Uni Ramadhani., 2023. Analisis Migrasi Cemarannya Bisphenol-A Kemasan plastic Polikarbonat Pada Produk Air Minum Dalam Kemasan Galon di Wilayah Kota Makassar. *Jamb.J.Chem. Volume 5 (1), 46-52.*
- [8] Rostamzadeh Amin, Mahboob Nemati, et al., 2021. Determination of Bisphenol A in Packed Milk and Mineral Water Samples Marketed in Tabriz (Iran) in 2020 Using High- performance Liquid Chromatography-ultraviolet Detector. *Anal. Bioanal. Volume 8 No.4, 515-523.*
- [9] Kristiyanto Leonardus Nito., 2013. Pengaruh Paparan Radiasi Sinar Matahari Terhadap Kadar Bisfenol A Dalam Botol Plastik Jenis Polikarbonat Yang Ditetapkan Menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi Fase Terbalik. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta
- [10] Dwijayanti Endah, et al., 2023. Analisis Bisphenol A dan Ethylhexyl Phthalate Dalam Air Galon Yang Beredar di Kota Makassar. *Journal of Food Science and Technology. Nomor 3 Volume 1, Hal. 92-110*
- [11] Darmapatni, K. A. G .2016. Pengembangan Metode GC-MS untuk Penetapan Kadar Acetaminophen pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana,* 18(3), 255.
- [12] Musiam, S., & Alfian, R. 2017. Validasi Metode Spektrofotometri UV pada Analisis Penetapan Kadar Asam Mefenamat Dalam Sediaan Tablet Generik. *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina,* 31-43.
- [13] Grace Pricilia, Sudewi, S., & Lolo, W. A. 2015. Validasi Metode Analisis Untuk Penetapan Kadar Bisphenol-A dalam Sediaan Tablet. *Pharmacon,* 4(4), 168– 178.
- [14] Yusuf, R., Resmawan, R., & Payu, B. R. 2021. Penerapan Model Persamaan Simultan Dengan Pendekatan Two Stage Least Square Pada Kasus Inflasi Dan Nilai Tukar Rupiah Di Indonesia. *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains Dan Teknologi,* 9(2), 71–84.
- [15] Ramadhan, S. A., & Musfiroh, I. 2021. Review Artikel : Verifikasi Metode Analisis Obat. *Farmaka,* 19(3), 87–92.
- [16] Alegre MR, Romero JE, and Broch SC. Is It Really Necessary to Validate an Analytical Method or Not? That is the Question. *Journal of Chromatography A.* 2012; 1232: 101-109
- [17] Melinda, Beti. 2018. Pengaruh Beban Kerja, Komitmen Organisasional dan Lingkungan Kerja Non Fisik terhadap Turnover Intention Karyawan PT. Argofarm Nusa Raya Ponorogo. Universitas Muhammadiyah Ponorogo.
- [18] International Conference on Harmonization (ICH). 2005. *Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2(R1).* Geneva: International Conference on Harmonization.

- [19] Eurachem. 2014. *The Fitness for Purpose of Analytical Method: A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics* [Internet].
- [20] Sukmawati. 2018. Optimasi dan Validasi Metode Analisis Dalam Penentuan Kandungan Total Flavonoid Pada Ekstrak Daun Gedi Hijau (*Abelmoscus manihot* L.) yang Diukur Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi-UNSRAT*, 7(3), 32–41.
- [21] Skoog, D.A., and D.M. West., 1971, *Principles of instrumental analysis*, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York.
- [22] Wardhani, D. S., & Nurbayanti, I. 2017. Validasi Metode Sni 06-6989.12-2004 Pada Penetapan Kesadahan Total Dalam Air Permukaan Secara Kompleksometri. *Buletin Metode Litkayasa Akuakultur*, 15(2),
- [23] Khoiroh, R., Wulandari, L., & Kristiningrum, N. 2017. Pembentukan Model Kalibrasi Spektra Spektrofotometri NIR dan UV-VIS untuk Penetapan Kadar Bhisphenol-A dalam Sirup (Formation of NIR and UVVis Spectrophotometric Calibration Model For Determination of Paracetamol Level In Syrup). *Jurnal Eksakta Farmasi Universitas Jember (UNEJ)*.
- [24] Umapathi, P., Ayyappan, J., and Quine, S, D. 2012. Quantitative Determination of Metformin Hydrochloride in Tablet Formulation Containing Crosscarmellose Sodium as Disintegrant by HPLC and UV Spectrophotometry. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 11(1): 107- 116
- [25] Praditasari, A., & Saptarini, N. M. (2018). Review: Parameter Dan Metode Sampling Validasi Pembersihan Di Industri Farmasi. *Farmaka*, 16(2), 1–15.