

TOTAL MIGRASI MONOMER BISFENOL PADA PANGAN KEMASAN: KAJIAN META-ANALISIS

Muhammad Arpah¹, Nur Hikma², Nadira Salsabila³, Aliya Hanifah⁴, Ananda Ardiansyah⁵
Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Indonesia
Email : arpahsaleng@yahoo.com

ABSTRAK

Kata kunci:

BPA, BPF, kaleng tuna, minuman kaleng, PC

Keywords:

BPA, BPF, canned soft drinks, canned tuna, PC

Bisfenol merupakan monomer kimia yang banyak diaplikasikan dalam berbagai jenis kemasan pangan. Bisfenol utamanya bisfenol A (BPA) dan bisfenol F (BPF) dapat bermigrasi dari kemasan kaleng minuman ringan dan ikan tuna serta kemasan botol plastik polikarbonat (PC) dan polietilena tereftalat (PET). Batas toleransi (TDI) BPA awal menurut European Food Safety Authority adalah 50 µg/kg berat badan per hari dan direvisi Kembali menjadi 0,2 ng/kg berat badan per hari di tahun 2023. Kajian meta-analisis ini bertujuan untuk membandingkan tingkat migrasi bisfenol pada minuman ringan kemasan kaleng, kaleng tuna dengan medium garam dan minyak serta air minum di botol PC dan PET. Migrasi BPA dan BPF di minuman ringan kemasan kaleng masing-masing mencapai 1310 ng/L dan 64 ng/L. Nilai migrasi BPA lebih tinggi dibandingkan dengan BPF pada jenis kemasan minuman kaleng. Adapun migrasi BPA pada kaleng tuna dengan medium garam dan minyak bernilai sama besar yaitu 197 ng/L. Level migrasi BPA pada botol air minum PC paling tinggi adalah 6452,80 ng/L sementara pada botol PET mencapai 269,87 ng/L. Meski demikian nilai rata-rata migrasi BPA lebih tinggi terjadi pada botol air minum jenis PET.

Bisphenol is a chemical monomer applied in various types of packaged foods. Bisphenol especially bisphenol A (BPA) and bisphenol F (BPF) can migrate from soft drink, tuna cans and polycarbonate (PC) and polyethylene terephthalate (PET) plastic bottles. The initial BPA tolerance limit (TDI) according to the European Food Safety Authority (EFSA) is 50 µg/kg body weight per day and was revised to 0,2 ng/kg body weight per day in 2023. This meta-analysis study aims to compare the migration levels of bisphenol in canned soft drinks, canned tuna with brine and oil mediums and drinking water in PC and PET bottles. BPA and BPF migration in canned soft drinks reached 1310 ng/L and 64 ng/L, respectively. The BPA migration is higher compared to BPF in canned beverage packaging types. The BPA migration in tuna cans with brine and oil mediums attain as much as 197 ng/L. Meanwhile, the highest BPA migration level in PC drinking water bottles was 6452,80 ng/L while in PET bottles, it reached 269,87 ng/L. However, the average BPA migration was higher in PET drinking water bottles.

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).
This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.*

PENDAHULUAN

Dewasa ini, pangan yang telah terkomersilkan ke masyarakat sebagian besar dilindungi oleh kemasan dengan berbagai jenis dan fungsinya masing-masing. Kemasan ini berguna sebagai melindungi produk pangan dari kerusakan akan kontaminasi luar. Peraturan BPOM Nomor 20 Tahun 2019 juga turut menegaskan bahwa kemasan berguna untuk memberikan wadah atau sebagai pembungkus pangan, tidak hanya sebagai kemasan sekunder, melainkan juga sebagai kemasan primer. Adanya kemasan pada pangan juga berguna sebagai mempertahankan mutu dan kualitas produk serta mempertahankan masa simpan sehingga dapat sampai di tangan konsumen dengan aman. Jenis-jenis kemasan pangan yang banyak beredar di masyarakat yaitu kemasan kaleng dan kemasan plastik, berupa botol plastik.

Kemasan kaleng merupakan jenis kemasan yang bahan utamanya adalah logam, selain itu bagian dalam kaleng terdapat lapisan berupa enamel atau epoksi pada salah satu sisinya bahkan kedua sisinya yang berguna untuk mencegah korosi karena adanya kontak secara langsung antara kaleng dan produk pangan (Bakhori, 2017). (Nugraheni, 2018) turut menegaskan bahwa pada industri minuman, kemasan kaleng banyak yang berbahan dasar dari logam dan aluminium. Sistem yang digunakan dalam pengemasan kaleng disebut dengan pengalengan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Prayogo & Mazda, 2021), pengalengan merupakan teknik pengolahan dan pengemasan makanan di mana makanan dimasukkan ke dalam tempat logam dengan sifat hermetis dan diberi perlakuan termal untuk membunuh mikroba yang mampu menurunkan kualitas dan keamanan makanan, seperti bakteri pembusuk dan spesies patogen yang menyebabkan penyakit pada manusia. Pengalengan memungkinkan makanan dalam kemasan memiliki masa simpan yang lebih lama dengan tetap mempertahankan kesegaran dan nilai gizinya. Menurut penelitian "Ready Meals Market Size, Share & Trends Report" dari Grand View Research, pasar makanan siap saji global bernilai USD 143,86 miliar pada tahun 2021 dan diprediksi akan meningkat pada tingkat tahunan rata-rata sekitar 5,1% antara tahun 2022 dan 2030. Popularitas kemasan kaleng pada makanan juga terlihat jelas di pasar lokal. Menurut informasi yang terdapat di aplikasi pencarian makanan yang diizinkan oleh BPOM, saat ini terdapat sekitar 5403 produk makanan kaleng dalam berbagai versi dan ukuran (Chasfila). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa saat ini banyak industri pangan yang memanfaatkan kaleng sebagai media pengemas produk pangan.

Keunggulan kaleng yang ditonjolkan sebagai kemasan produk pangan yaitu, antara lain memiliki ketahanan pada perubahan suhu ekstrim, kekuatan mekanik yang tinggi, sebagai penghalang yang baik, bersifat hermetis, mampu menghalangi cahaya, serta menjadi media penyalur informasi karena adanya permukaan yang ideal dan pelabelan (Sucipta et al., 2017). Tidak hanya keunggulan, tetapi kemasan kaleng juga memiliki kekurangan antara lain sangat mudah terkena kerusakan kimia berupa korosi.

Kemasan selain kaleng yang sering digunakan sebagai bahan kemasan yaitu plastik. Plastik sering digunakan sebagai botol sebagai pengemas Air Minum Dalam Kemasan (AMDK). Bahan utama yang kerap digunakan yaitu botol plastik dari PET dan PC. Masing-masing jenis botol plastik ini memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Plastik polikarbonat (PC) merupakan kelompok polimer termoplastik yang mudah terbentuk karena keterlibatan panas. Kelebihan plastik ini yaitu mudah dibentuk, tahan terhadap benturan, serta sangat bening. Kekurangan dari plastik ini yaitu mudah tergores, sehingga butuh kehati-hatian ketika menggunakannya. Plastik polietilena tereftalat (PET) merupakan polimer rantai panjang dari poliester yang tersusun atas dua monomer yaitu asam tereftalat (TPA) dan etilen glikol (EG) yang merupakan turunan dari bahan baku minyak (Yun et al., 2018). Kelebihan plastik ini yaitu adanya kemampuan menjaga sensori dari air minum, karena tingkat permeabilitas oksigen yang rendah. Kekurangan plastik ini yaitu perlunya keahlian khusus dalam menemukan suhu yang tepat untuk proses pencetakan (Al-Zahrani et al., 2017).

Bisfenol A (BPA) merupakan salah satu bahan kimia yang banyak digunakan pada pembuatan polikarbonat dan epoksi resin (Rybczyńska-Tkaczyk et al., 2023). (Manzoor et al., 2022) turut menambahkan bahwa BPA juga digunakan dalam produksi permil enamel ke permukaan kontak makanan untuk kaleng. Ketika BPA terjadi kontak langsung dengan pangan, maka hal tersebut dapat menyebabkan migrasinya BPA dari kemasan ke produk pangan. Perpindahan BPA dapat terjadi pada pangan dengan kemasan kaleng, plastik, kertas, gelas, dan tetra pak (Almeida et al., 2021). Ketika BPA dikonsumsi oleh manusia, maka akan terjadi gangguan endokrin yang mampu mengakibatkan efek samping yang berbahaya pada sistem pengujian *in vitro* dan *in vivo* dengan merepetisi aksi hormon alami (Chailurkit et al., 2017).

Peraturan yang mengatur keberadaan BPA dalam makanan masih terus dibuat untuk mengurangi potensi risiko kesehatan yang terkait dengan migrasi BPA. Otoritas Keamanan Pangan Eropa (EFSA) melakukan penilaian risiko menggunakan uji coba pada hewan untuk memperkirakan asupan harian yang ditoleransi (TDI) BPA untuk manusia. TDI untuk BPA monomer pertama kali ditetapkan sebesar 50 μg per kg berat badan per hari. Angka tersebut kemudian diturunkan menjadi 4 μg per kg berat badan per hari pada tahun 2015 dan diubah lagi pada tahun 2023 menjadi 0,2 ng per kg berat badan per hari, yang berarti 20,000 kali lebih rendah dari TDI sebelumnya. Semakin rendah angka TDI, semakin besar toksisitas komponen tersebut (Hwang et al., 2023).

Penelitian oleh (Seyhan et al., 2022) juga turut menambahkan bahwa BPA telah ditemukan pada hewan percobaan untuk meniru estrogen dan merusak diferensiasi sistem reproduksi. Selain itu, BPA berpotensi untuk merusak berbagai jaringan dan organ tubuh (Marqueño et al., 2019), obesitas, serta gangguan sistem reproduksi (Khan et al., 2021). Melalui banyaknya dampak negatif yang dihasilkan oleh BPA, penggunaan senyawa bisfenol S (BPS) dan bisfenol F (BPF) menjadi alternatif sebagai senyawa pengganti bisphenol A (BPA) karena ditinjau dari kemiripan strukturnya (Winkler et al., 2022). BPF kini telah menggantikan BPA dalam berbagai produk, termasuk lapisan internal untuk wadah makanan, farmasi, dan kosmetik, kertas termal, dan lapisan pipa air (Lehmler et al., 2018). Namun, kedekatan struktural BPF dengan BPA telah mendorong beberapa akademisi untuk menyelidiki potensinya sebagai pengganggu endokrin. Penelitian oleh Martinez et al., (2020) menemukan bahwa paparan BPF menginduksi toksisitas reproduksi, imunotoksitas, stres oksidatif, dan aktivitas pengganggu endokrin pada sel 3T3-L1. (Ullah et al., 2019) juga telah membuktikan bahwa BPF terbukti mengganggu spermatogenesis pada testis dan mengurangi produksi testosteron pada tikus jantan. Temuan ini menunjukkan bahwa mengganti BPA dengan mimik BPA tidak selalu lebih unggul. Menurut (Lestido-Cardama et al., 2022), BPA dan BPF merupakan bisfenol yang kerap terdeteksi dalam sampel minuman dan memiliki variasi konsentrasi dari tidak terdeteksi hingga 12 ng/mL dan 0,39 ng/mL.

Korosi merupakan salah satu dampak negatif yang dapat muncul ketika suatu pangan dikemas dengan kemasan kaleng. Korosi pada kemasan kaleng dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk keberadaan senyawa korosif seperti sulfur, klorida, nitrat, dan lainnya dalam produk, tingkat keasaman atau pH produk, jenis dan karakteristik wadah kaleng, termasuk komposisi logam dasar, ketebalan lapisan timah, jenis lapisan pelindung organik, metode pelapisan, dan kesinambungan lapisan. Selain itu, kondisi penyimpanan seperti suhu, tekanan, kelembapan ruangan, dan faktor lainnya, serta metode pengalengan yang digunakan, juga mempengaruhi laju korosi kaleng. Epoksi yang merupakan jenis pelapis kaleng dihasilkan dari reaksi yang melibatkan bisfenol A (BPA). Hingga saat ini, telah ditemukan bahwa adanya migrasi dari enamel (kemasan) ke dalam produk pangan kaleng yang memiliki sifat toksik bagi tubuh. Industri pangan memanfaatkan kaleng sebagai kemasan untuk ikan tuna, baik dalam medium air garam, maupun medium air atau minyak. Selain itu, kaleng juga banyak digunakan sebagai kemasan untuk minuman ringan.

Ikan tuna kaleng merupakan salah satu produk kemasan kaleng yang sering dijumpai oleh masyarakat di berbagai pusat perbelanjaan. Ikan tuna memiliki kandungan kaya akan protein dan lemak, serta kandungan asam lemak omega-3 yang tinggi sehingga sangat berguna bagi kesehatan. Varian bumbu serta rasa ikan tuna kaleng juga sangat beragam, ditambah banyaknya jenis produk tuna kaleng dengan medium air garam dan minyak. Medium ini berguna sebagai media penghantar panas sehingga panas dapat menyebar secara merata ke seluruh produk. Tidak hanya tuna kaleng, minuman ringan juga sering memanfaatkan kaleng sebagai kemasan untuk pelindung produk minuman tersebut. Migrasi senyawa BPA dapat terjadi pada ikan tuna kaleng dan migrasi BPA dan BPF dapat terjadi pada minuman ringan kaleng. Pada produk tuna kaleng, ditemukan hasil penelitian oleh (Arar & Alawi, 2019) bahwa tuna kaleng dengan medium minyak mengandung konsentrasi BPA yang lebih tinggi daripada air garam, tetapi penelitian oleh Fasano et al., (2012) menegaskan sebaliknya. Pada produk minuman ringan, penelitian dari (Choi et al., 2018) menunjukkan hasil bahwa perpindahan BPF pada minuman kaleng jenis kopi memiliki hasil akhir yang lebih tinggi yaitu 0,26 µg/L apabila dikomparasikan dengan migrasi BPA sebesar 0,21 µg/L. Berbeda dengan penelitian oleh (Russo et al., 2019) yang menegaskan bahwa migrasi BPA pada minuman berenergi kaleng memiliki konsentrasi sebesar 76,46 ng/mL yang mana lebih tinggi daripada migrasi yang hanya sebesar 25,28 ng/mL.

Tidak hanya kemasan kaleng yang mampu termigrasi oleh BPA dan BPF, melainkan juga air minum dalam kemasan (AMDK) dari polycarbonat (PC) dan polietilen tereftalat (PET). Penelitian oleh (Baz et al., 2023) dan Kramarczyk et al., (2022) menyatakan bahwa hal tersebut disebabkan oleh kontaminasi ulang selama daur ulang botol plastik PET serta kontaminasi dari tutup botol yang mengandung BPA. Hasil penelitian Tazkeen et al., (2012) menunjukkan bahwa semua sampel air minum dengan botol plastik berbahan dasar PC mengandung BPA dengan jumlah cemaran sebesar 11,39 ppb pada suhu 25°C. Konsentrasi senyawa BPA pada botol air kemasan PC menurut Yun et al., (2018) memiliki jumlah lebih tinggi daripada botol air kemasan PET dalam semua kondisi penyimpanan. Hal tersebut berbanding terbalik dengan penelitian oleh Guart et al., (2011) yang menyatakan bahwa jumlah migrasi BPA lebih rendah pada botol air kemasan PC daripada PET.

Kebutuhan untuk menganalisis migrasi BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng, migrasi BPA pada kaleng tuna dalam medium minyak dan air garam, serta migrasi BPA pada air minum kemasan PC dan PET sangat diperlukan. Hal tersebut didasarkan pada hasil perbedaan penelitian dari peneliti yang digunakan sebagai acuan. Oleh karena itu, perlu adanya studi meta-analisis, analisis statistik yang menggabungkan berbagai macam studi ilmiah dan menampilkannya dalam bentuk ringkasan data kuantitatif sehingga akan mendapatkan kesimpulan mengenai migrasi senyawa tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengacu pada langkah-langkah yang telah disusun oleh Tawfik et al., (2019) dan dapat dilihat pada Gambar 1. Tahap awal dalam pengujian meta-analisis yaitu pembuatan pertanyaan-pertanyaan yang terfokus menggunakan formula PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome). Population merupakan subjek atau subpopulasi yang diberi perlakuan, intervention merupakan variabel bebas yang diberi perlakuan, comparison merupakan suatu pembandingan atau pengendalian, outcome merupakan suatu hasil berupa variabel terikat yang diakibatkan oleh intervention (Tawfik et al., 2019).

Selain itu, adapun komponen-komponen yang harus dijabarkan karena diduga mampu memberikan pengaruh terhadap hasil analisis sehingga dapat dirumuskan pertanyaan sebagai berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan jumlah perpindahan senyawa BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng?
2. Apakah temperatur penyimpanan, metode analisis, dan klasifikasi minuman mampu memberikan pengaruh terhadap jumlah migrasi monomer BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng?
3. Apakah teknik deteksi, tempat produksi tuna kaleng, serta karakteristik pangan mampu memberikan pengaruh jumlah migrasi BPA pada produk pangan?
4. Apakah terdapat pengaruh jumlah migrasi monomer bisfenol A (BPA) dari perbedaan jenis kemasan antara plastik PC dan PET pada air minum kemasan?
5. Apakah temperatur penyimpanan, durasi penyimpanan, paparan sinar matahari, volume kemasan, dan asal negara dapat memberikan pengaruh terhadap jumlah migrasi monomer bisfenol A (BPA) pada air minum?

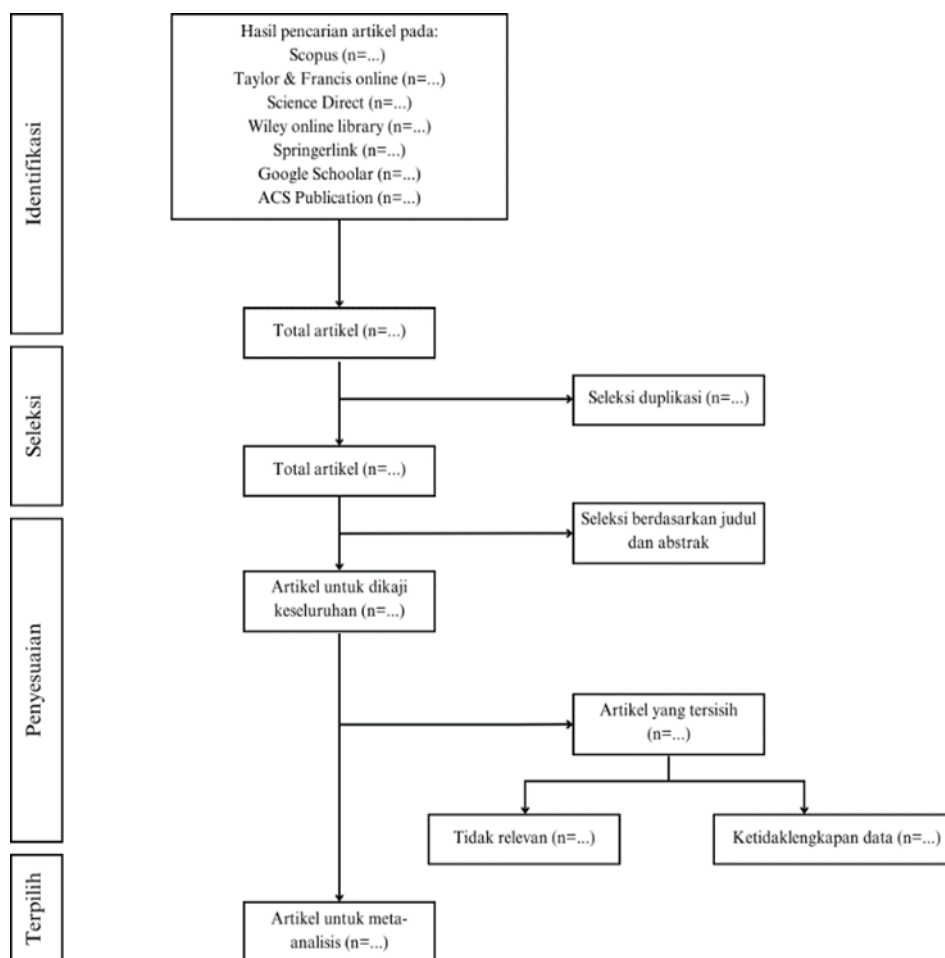
Tahap selanjutnya adalah mencari artikel ilmiah yang relevan dengan topik penelitian dan isu yang diangkat. Hal ini dilakukan dengan melihat ketersediaan artikel dalam database jurnal. Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan database jurnal internasional yang diakui untuk mengkonfirmasi validitas makalah yang dipertimbangkan dalam meta-analisis. Selain itu, langkah ini akan dilakukan identifikasi faktor penentu lain yang mampu memberikan pengaruh migrasi monomer bisfenol A (BPA) dan bisfenol F (BPF) pada minuman ringan kemasan kaleng, migrasi monomer bisfenol A (BPA) pada produk pangan kaleng tuna dalam medium minyak dan medium air garam, serta migrasi monomer bisfenol A (BPA) baik pada kemasan plastik air minum polikarbonat (PC) maupun polietilena tereftalat (PET).

Tahap selanjutnya adalah menentukan dan menyeleksi artikel yang digunakan dalam pengujian meta-analisis. Kriteria inklusi merupakan rujukan berupa artikel studi yang akan digunakan dalam pengujian meta-analisis. Berbeda dengan kriteria eksklusi yang digunakan sebagai pengambilan keputusan terhadap artikel yang isinya tidak relevan dan informasi yang digunakan tidak lengkap. Penentuan kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan dalam penelitian meta-analisis dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Kriteria inklusi dan eksklusi

Kriteria	Keterangan
Inklusi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Artikel merupakan jenis hasil penelitian yang bisa dipertanggungjawabkan 2. Artikel membahas mengenai perbandingan migrasi monomer bisfenol pada pangan kemasan 3. Artikel berasal dari jurnal bereputasi nasional dan internasional 4. Artikel telah diterbitkan oleh jurnal yang terindeks Scopus 5. Tidak terdapat batasan negara 6. Pembatasan tahun publikasi adalah 20 tahun terakhir
Eksklusi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Artikel tidak dilengkapi dengan data dan informasi yang lengkap 2. Artikel review (selain artikel penelitian primer) 3. <i>Gray literature</i> (data penelitian berupa hasil laporan pemerintahan, skripsi, tesis, dan disertasi yang belum diterbitkan)

Tahap paling fundamental yang harus dilakukan dalam pengujian meta-analisis adalah mengumpulkan sumber studi berupa artikel ilmiah. Langkah yang dapat dilibatkan dalam pengumpulan sumber studi adalah pencarian dengan menggunakan beberapa kata kunci, seperti “migrasi bisfenol A”, “kemasan plastik”, “polikarbonat”, “minuman ringan kaleng”. Selain itu, optimasi kata kunci juga dilakukan dengan menggunakan boolean operators berupa fungsi “OR”, “AND”, dan “NOT”. Database merupakan media yang sangat penting dalam menjembatani antara peneliti dan proses pencarian sumber ilmiah. Database yang digunakan yaitu, antara lain Scopus, Science Direct, Wiley Online Library, ACS Publication, Springer, Taylor & Francis online, dan Google Scholar. Penerapan diagram alir PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) sangat berguna dalam mencari artikel ilmiah berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Diagram alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Artikel ilmiah yang telah sesuai dengan kriteria kemudian dikumpulkan dan disusun dengan aplikasi reference manager yang dikenal dengan Mendeley.



Gambar 1. Diagram alir PRISMA

Tahapan yang dilakukan pada ekstraksi data yaitu melakukan filtrasi terhadap hasil penelitian serta identitas artikel. Data tersebut kemudian ditabulasikan melalui software Microsoft Excel dan untuk mendapatkan identitas secara lengkap dapat menggunakan reference manager Mendeley melalui fitur metadata sehingga akan ditampilkan identitas jurnal, seperti nama penulis, judul artikel, tahun terbit, penerbit, indeks jurnal dan DOI.

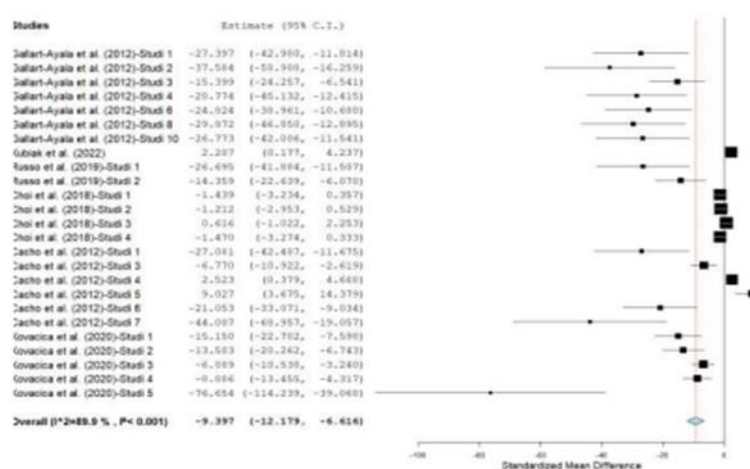
Data yang diperoleh selama tahap ekstraksi untuk studi meta-analisis ini dikelola dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel, OpenMEE, dan Meta-essentials Tools. Analisis data yang dilakukan adalah perhitungan effect size atau ukuran efek, yang digunakan untuk menilai seberapa besar pengaruh dari sebuah studi tunggal. Ukuran efek digunakan dalam meta-analisis, yang mengagregasi beberapa penelitian menjadi satu penelitian. Ukuran pengaruh yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hedge's *g*. Ukuran pengaruh Hedge's *g* digunakan karena berbagai ukuran sampel, skala, dan metode pengukuran dapat digunakan. Selain itu, karena tingkat heterogenitas yang tinggi di seluruh studi yang disintesis, perhitungan meta-analisis menggunakan model efek acak (Hamman et al., 2018). Pengujian meta-analisis ini, bias publikasi diidentifikasi dengan menggunakan metode funnel plot, sebuah metodologi kualitatif. Plot corong digunakan untuk menunjukkan distribusi titik-titik untuk setiap studi. Selain itu, penelitian ini menggunakan uji angka kegagalan Rosenthal untuk menilai kekokohan kesimpulan analisis. Nilai angka kegagalan (Nft) yang dihitung oleh perangkat lunak OpenMEE menunjukkan jumlah penelitian yang diperlukan untuk membantah hasil yang signifikan dalam meta-analisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Migrasi monomer BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng

Berdasarkan acuan dari diagram PRISMA, total artikel yang dikumpulkan yaitu sebanyak 1039 artikel dan kemudian diseleksi sehingga diperoleh sebanyak 71 artikel. Artikel tersebut dilakukan seleksi untuk melihat detail dan relevansinya sehingga didapat sebanyak 7 artikel yang dipublikasikan dari tahun 2010 hingga 2023. Selain 7 artikel tersebut juga didapat 48 studi untuk dilakukan meta-analisis.

Forest plot memberikan pengertian mengenai tingkat heterogenitas artikel ilmiah yang telah diseleksi dengan interval 95%. Gambar 2 menegaskan bahwa dari total 48 studi, hanya tertera sebanyak 26 studi karena beberapa hasil studi tidak mampu mendeteksi BPA dan BPF sehingga ukuran efek bernilai 0.



Gambar 2. Hasil forest plot migrasi BPA dan BPF minuman ringan kemasan kaleng

Data yang diperoleh akan diekstrak melalui software Microsoft Excel dan ditabulasikan melalui software OpenMEE.

Hasil menunjukkan bahwa pada migrasi bisfenol A dan bisfenol F melalui metode statistik I² termasuk ke dalam kategori heterogenitas tinggi karena nilai I² lebih dari 75%. Uji lanjutan dilakukan untuk verifikasi pengaruh variabel moderator terhadap parameter migrasi BPA dan BPF. Uji lanjutan tersebut dapat berupa analisis sub kelompok (subgroup) dan metaregresi.

Analisis sub kelompok berguna dalam melihat pengaruh jenis minuman ringan terhadap keberadaan BPA dan BPF. Berdasarkan Tabel 3, hasil analisis subkelompok menunjukkan bahwa minuman berkarbonasi lebih dominan dalam mentransfer BPA daripada BPF. Nilai effect size untuk minuman berkarbonasi adalah negatif (SMD -13,115) dan sangat signifikan ($p < 0,05$). Sementara itu, jenis minuman non-karbonasi memiliki nilai effect size yang positif (SMD 1,674), namun nilai p-value lebih dari 0,05, yang mengindikasikan bahwa data tersebut tidak signifikan.

Guart et al., (2014) menegaskan bahwa pada minuman berkarbonasi, pH minuman akan turun karena adanya karbondioksida. Penelitian oleh Benhamada et al., (2016) juga menambahkan bahwa dengan meningkatnya pH, maka pelepasan BPA akan meningkat. Minuman non-karbonasi akan cenderung terjadi pelepasan BPA yang lebih rendah karena pH netral. Hal ini sejalan dengan penelitian Cao et al., (2011) dengan sampel susu.

Tabel 4 yang menunjukkan hasil analisis variabel suhu penyimpanan dengan tingkat migrasi BPA dan BPF memiliki hasil yang signifikan pada suhu 4°C, tidak signifikan pada suhu 25-28°C, serta sangat signifikan pada suhu 60°C. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai SMD pada tingkat kepercayaan 95% yang memiliki negatif dan p-value. Interval kepercayaan pada suhu 60C telah berisikan dengan suhu 4C sehingga tidak terdapat perbedaan nyata dari keduanya terkait pengaruh migrasi BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng.

Tabel 2. Analisis subkelompok suhu penyimpanan terhadap migrasi BPA dan BPF

Suhu penyimpanan	N	SMD	p-value
4	14	-15,248 (-21,102; -9,394)	<0,001
25-28	6	-2,222 (-4,525; 0,081)	0,059
60	5	-12,387 (-18,594; -6,180)	<0,001

Umumnya, pengukuran migrasi senyawa bisfenol kerap menggunakan metode kromatografi cair atau gas yang dikombinasikan dengan spektrometri massa (LC-MS dan GC-MS) (Cacho et al., 2012). Analisis subkelompok variabel metode analisis akan memberikan hasil terkait korelasi setiap metode analisis terhadap pengaruh jumlah migrasi BPA dan BPF. Tabel 5 menunjukkan bahwa pada metode Solid phase extraction GC-MS/MS memberikan hasil apabila migrasi BPA lebih dominan untuk terdeteksi. Metode substitusi microgel,

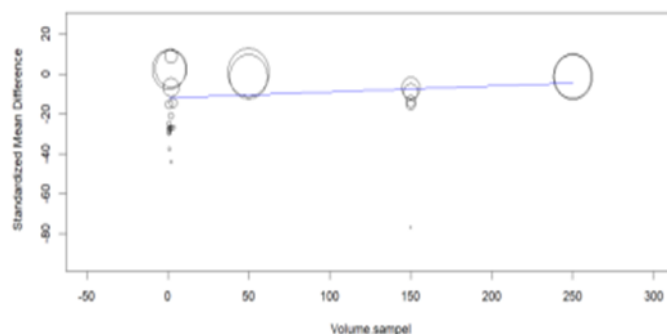
solid phase extraction LC-MS/MS menunjukkan bahwa BPF lebih banyak terdeteksi daripada BPA, tetapi nilai p-value tidak tersedia karena hanya berasal dari 1 studi yang sifatnya lemah. Hasil metode Solid phase extraction telah berisikan dengan optimizezd stir bar soptive extraction dan solid phase extraction sehingga tidak ada perbedaan nyata anantara metode LC-MS/MS dan GC-MS/MS. Pengaplikasian derivatisasi ketika analisis dengan GC-MS dapat meningkatkan volatilitas senyawa dan sensitivitas pada spektrofotometri massa.

Tabel 3. Analisis subkelompok metode analisis terhadap migrasi BPA dan BPF

Metode analisis	N	SMD	p-value
Solid phase extraction LC-MS/MS	13	-10,115 (-13,661; -6,570)	<0,001
Substitusi <i>microgel, solid phase extraction</i> LC-MS/MS	1	2,207 (0,177; 4,237)	NA
<i>Optimized stir bar sorptive extraction</i> GC-MS/MS	6	-9,385 (-18,177; -0,593)	0,036
<i>Solid phase extraction</i> GC-MS/MS	5	-12,387 (-18,594; -6,180)	<0,001
Metode analisis	N	SMD	p-value
Solid phase extraction LC-MS/MS	13	-10,115 (-13,661; -6,570)	<0,001
Substitusi <i>microgel, solid phase extraction</i> LC-MS/MS	1	2,207 (0,177; 4,237)	NA
<i>Optimized stir bar sorptive extraction</i> GC-MS/MS	6	-9,385 (-18,177; -0,593)	0,036
<i>Solid phase extraction</i> GC-MS/MS	5	-12,387 (-18,594; -6,180)	<0,001

MS/MS. Pengaplikasian derivatisasi ketika analisis dengan GC-MS dapat meningkatkan volatilitas senyawa dan sensitivitas pada spektrofotometri massa.

Meta-regresi merupakan metode penelitian yang berguna dalam memberikan penjelasan terkait heterogenitas melalui hubungan antara effect size dari satu atau lebih karakteristik umum pengujian sehingga dapat memahami perbedaan antar penelitian (Shindi et al., 2021). Hubungan variabel moderator sampel terhadap migrasi BPA dan BPF dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa nilai kemiringan (slope) memiliki nilai positif, volume linear dengan migrasi BPA dan BPF. Nilai p-value lebih dari 0,05 memiliki arti bahwa tidak adanya perbedaan nyata antara volume sampel dan parameter yang dihasilkan. Hal ini konsisten dengan temuan penelitian Kovacic et al., (2020), yang menunjukkan bahwa pemuatan 150 mL atau 300 mL bahan dan bukan 350 mL, serta adanya 3% AA dan 10% EtOH, tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi ekstraksi, kecuali senyawa BPS. efisiensi ekstraksi, kecuali BPS.

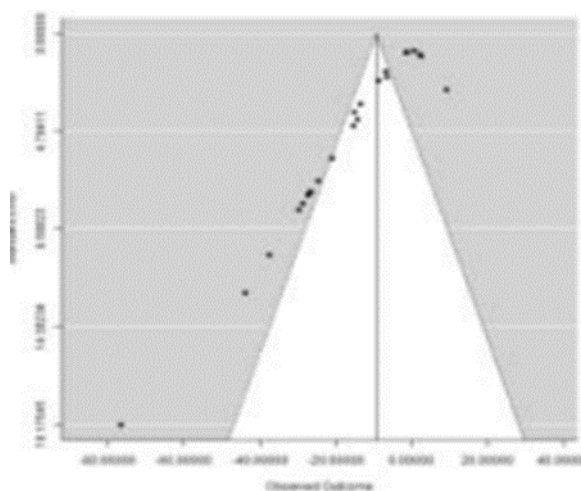


Gambar 3. Plot meta-regresi variabel moderator

Tabel 4. Hasil meta-regresi variabel volume sampel

Variabel	Intercept	Slope	p-value
Volume sampel	-11,955	0,030	0,075

Funnel plot merupakan metode yang digunakan untuk analisis bias publikasi melalui pendekatan kualitatif melalui pengilustrasian penyebaran titik-titik yang menjadi representasi masing-masing studi. Hasil pengujian funnel plot ditunjukkan dengan Gambar 4. Titik-titik yang dihasilkan merujuk pada bentuk asimetris sehingga terdapat beberapa bias publikasi pada setiap studi.

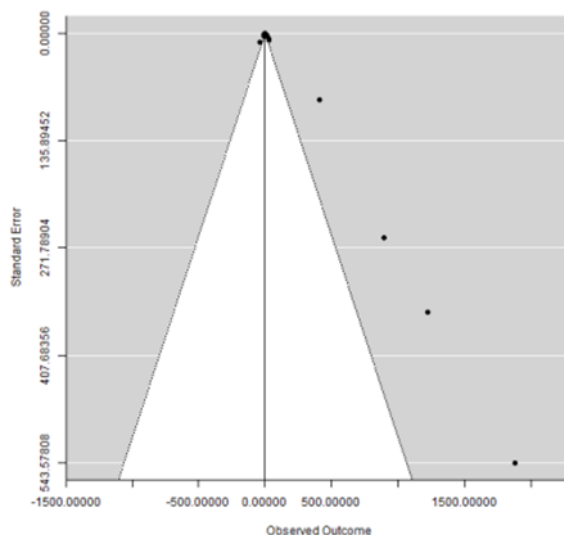


Gambar 4. Grafik Funnel plot migrasi BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng

Migrasi Monomer BPA Pada Produk Kaleng Tuna Dalam Medium Minyak Dan Air Garam

Jumlah artikel ilmiah yang terkumpul yaitu sebanyak 1232 dengan total artikel ilmiah akhir yang digunakan sebagai database meta-analisis sebanyak 14 artikel. Hal tersebut ditinjau dari penerapan diagram alir PRISMA dan melalui pengestrakan artikel ilmiah.

Analisis bias publikasi dilakukan dengan melibatkan diagram funnel plot. Diagram ini akan memberikan gambaran mengenai korelasi antara ukuran efek dan sampel studi. Gambar 5 menunjukkan hasil funnel plot dan hasil menunjukkan simetris, sehingga diperkirakan akurat. Uji Fail N-Safe juga dilakukan untuk verifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 7. Nilai 5N+10 pada uji tersebut yaitu sebesar 75, sehingga sangat kuat terhadap kemungkinan bias publikasi.



Gambar 5. Funnel plot perbandingan migrasi BPA pada tuna kaleng medium air garam dan minyak

Tabel 5. Hasil uji Fail N-Safe

<i>Observed Significance level</i>	<i>Target Significance level</i>	5N+10	<i>Fail N-Safe</i>
0,0002	0,05	75	102

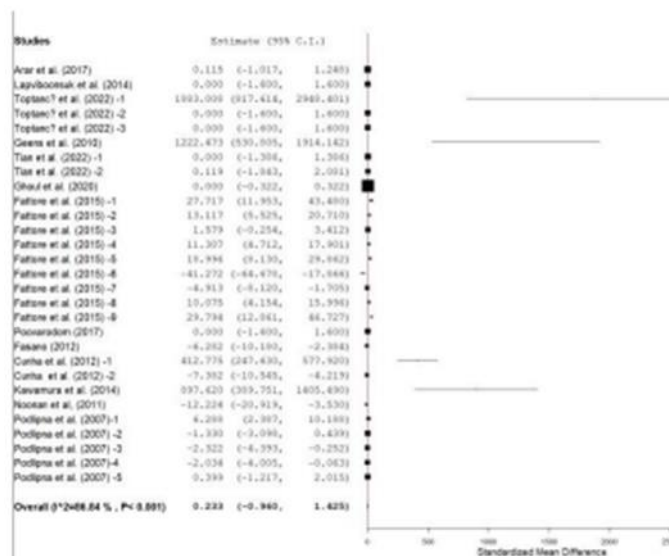
Pendekatan Random Effect Model digunakan untuk menggabungkan beberapa studi yang memiliki variasi populasi. Migrasi monomer BPA lebih dominan pada tuna kaleng dengan medium minyak. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 8. Melalui nilai p-value sebesar 0,702, maka tidak terdapat perbedaan signifikan sehingga antara kelompok kontrol dan eksperimen tidak berbeda signifikan. Tabel 9 menunjukkan hasil uji heterogenitas. Hasil menunjukkan nilai I² sebesar 89,3%, sehingga disimpulkan bahwa keragaman data sangat tinggi. Hal tersebut dibuktikan oleh penelitian Higgins et al., (2003), jika nilai I² lebih besar dari 75%, maka penelitian memiliki keragaman data yang tinggi.

Tabel 6. Hasil uji Random Effect Model Studi

Uji	Estimasi Standardized Mean Difference	CI 95%		<i>Std. error</i>	<i>p-value</i>
		BB	BA		
<i>Random effects model</i>	0,233	-0,960	1,425	0,609	0,702

Tabel 7. Hasil uji heterogenitas

Uji	τ^2	Q (df=28)	Het. p-value	I²
Heterogenitas	5,858	212,786	<0,001	86,841



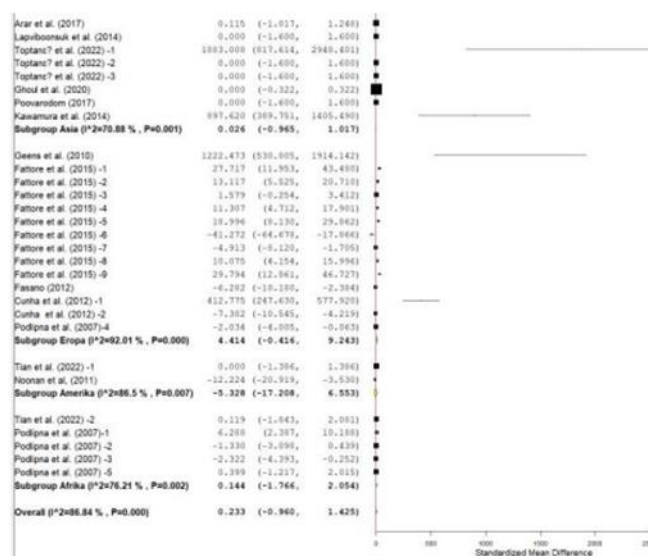
Gambar 6. Hasil diagram forest plot

Hasil luaran yang didapatkan selain funnel plot dapat berupa juga diagram forest plot yang dapat dilihat pada Gambar 6. Bagian kanan garis interval diinterpretasikan sebagai adanya perbedaan nyata terhadap migrasi BPA antara tuna kaleng medium minyak dan air garam.

Berdasarkan uji subkelompok pada Tabel 10 yang menunjukkan lokasi produksi tuna kaleng, nilai SMD positif menunjukkan bahwa migrasi BPA terdeteksi lebih tinggi pada medium minyak, sedangkan nilai SMD negatif menunjukkan bahwa migrasi BPA paling tinggi dapat terdeteksi pada meidum air garam. Hasil analisis forest plot pada Gambar 7 menunjukkan hasil bahwa keempat lokasi memiliki rata-rata effect size tidak berbeda signifikan.

Tabel 8. Hasil diagram forest plot subkelompok lokasi produksi tuna kaleng

Studi	Estimasi Standardized Mean Difference	N	Confidence Interval 95%		p-value
			Batas Bawah	Batas Atas	
Asia	0,026	8	-0,965	1,017	0,959
Eropa	4,414	14	-0,416	9,243	0,073
Amerika	-5,328	2	-17,208	6,553	0,379
Afrika	0,144	5	-1,766	2,054	0,882
<i>Overall</i>	0,233	29	-0,960	1,425	0,702

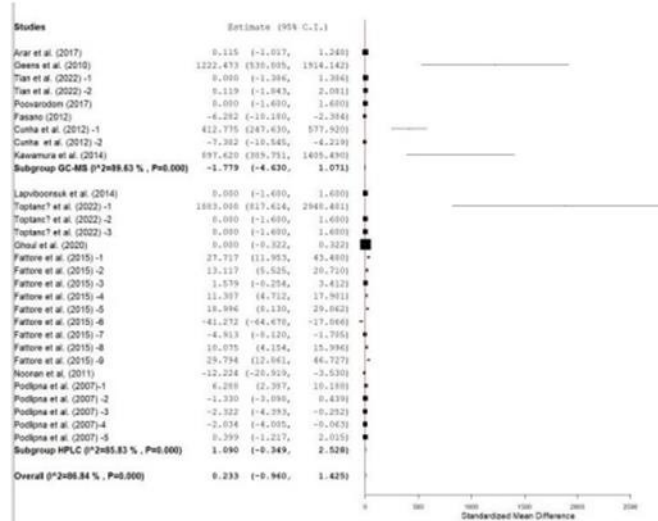


Gambar 7. Hasil forest plot subkelompok lokasi produksi tuna kaleng

Hasil uji subkelompok pada metode deteksi BPA ditunjukkan dengan hasil forest plot. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat dari Tabel 11. Berdasarkan tabel tersebut, nilai subkelompok GC memiliki nilai negatif yang memiliki arti bahwa metode ini banyak mendeteksi BPA pada tuna kaleng dengan medium air garam. Nilai subkelompok HPLC menunjukkan nilai positif, sehingga metode ini banyak mendeteksi BPA pada tuna kaleng medium minyak. Gambar 8 menunjukkan hasil forest plot subkelompok metode deteksi yang terlihat saring berurutan. Hal tersebut memiliki arti bahwa kedua metode yang digunakan tidak berbeda secara signifikan.

Tabel 9. Hasil forest plot subkelompok metode deteksi BPA pada tuna kaleng

Studi	Estimasi Standardized Mean Difference	N	Confidence Interval 95%		p-value
			Batas Bawah	Batas Atas	
Gas Chromatography (GC)	-1,779	9	-4,630	1,071	0,221
High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)	1,090	20	-0,340	2,528	0,138
<i>Overall</i>	0,233	29	-0,960	1,425	0,702

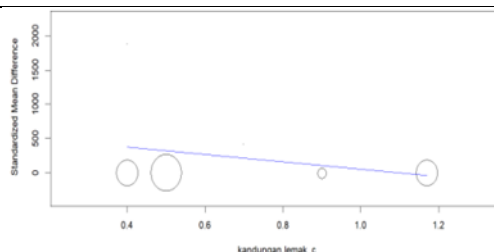


Gambar 8. Hasil forest plot subkelompok metode deteksi BPA pada tuna kaleng

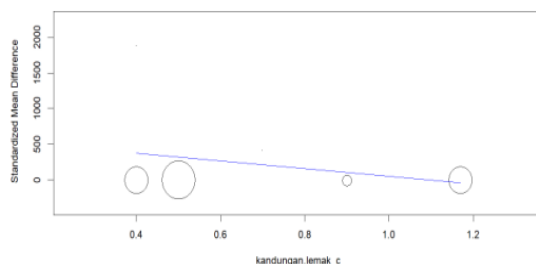
Menurut pengujian oleh Manzoor et al., (2022), sifat larut dalam lemak merupakan sifat yang dimiliki oleh BPA sehingga akan mendorong molekul BPA untuk bermigrasi ketika suatu pangan memiliki kandungan lemak yang tinggi. Tabel 12 menunjukkan hasil meta-regresi pada pengaruh kandungan lemak dimana hasil tersebut memberikan hasil bahwa adanya lemak tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap migrasi BPA pada tuna kaleng. Selain itu, Gambar 9 juga menunjukkan bahwa kemiringan bubble plot kandungan lemak eksperimental meningkat atau positif sesuai dengan rumus model meta-regresi. Hasil meta-regresi menunjukkan bahwa konsentrasi migrasi BPA akan meningkat seiring dengan meningkatnya persentase lemak dalam produk. Meningkat jika jumlah lemak dalam produk meningkat. Gambar 10 menunjukkan bahwa penurunan nilai kadar lemak pada kelompok kontrol menghasilkan penurunan slope dan rumus model meta-regresi yang negatif. Pada kelompok kontrol, hal ini menunjukkan bahwa migrasi BPA akan menurun seiring dengan menurunnya kandungan lemak pada produk.

Table 10. Pengaruh kandungan lemak terhadap migrasi BPA di tuna kaleng

Studi	Estimasi Standardized Mean Difference	Confidence Interval 95%		p-value
		Batas Bawah	Batas Atas	
Kandungan protein kontrol	-532,204	-1803,53	739,12	0,412
Kandungan protein eksperimen	23,180	-2,985	49,34	0,042



Gambar 9. Diagram bubble plot parameter kandungan lemak kelompok kontrol

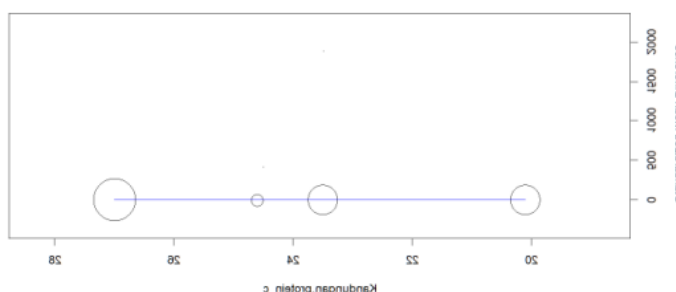


Gambar 10. Diagram bubble plot parameter kandungan lemak kelompok eksperimen

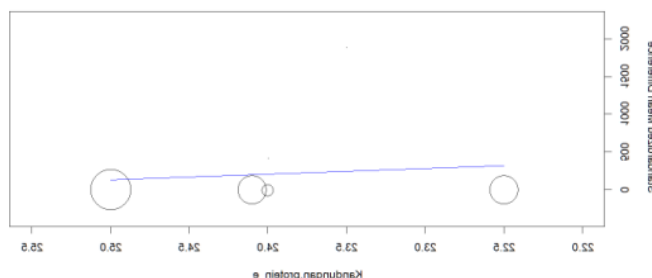
Pengujian meta-regresi pengaruh kandungan protein terhadap migrasi BPA pada tuna kaleng menunjukkan hasil bahwa pada Tabel 13 tidak ada pengaruh secara signifikan terhadap migrasi BPA pada pengaruh parameter kandungan protein pada tuna kaleng baik kelompok kontrol atau eksperimen karena nilai *p-value* kurang dari 0,05. Selain itu, pada Gambar 11 dan Gambar 12 juga menunjukkan *bubble plot* dengan *slope* negatif dan menurun. Hal tersebut memberikan penegasan bahwa migrasi BPA akan terjadi sangat minimum pada tuna kaleng apabila keseluruhan kandungan protein juga rendah.

Tabel 11. Pengaruh kandungan protein terhadap migrasi BPA di tuna kaleng

Studi	Estimasi Standardized Mean Difference	Confidence Interval 95%		<i>p-value</i>
		Batas Bawah	Batas Atas	
Kandungan protein kontrol	-0,129	-1,973	1,714	0,891
Kandungan protein eksperimen	-74,464	-548,894	399,965	0,758



Gambar 11. Hasil bubble plot parameter kandungan protein kelompok kontrol



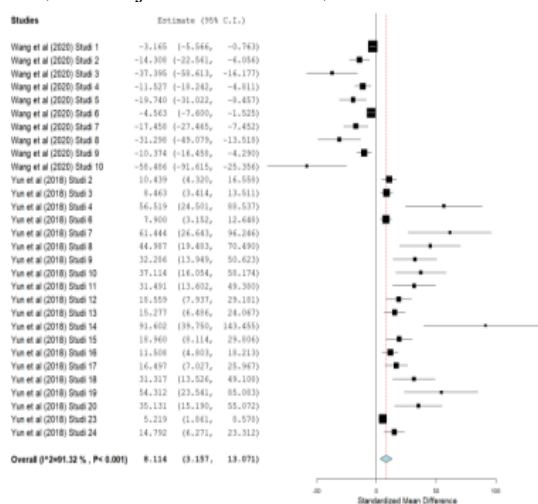
Gambar 12. Hasil bubble plot parameter kandungan protein kelompok eksperimen

Parameter yang dapat mempengaruhi migrasi BPA pada produk tuna kaleng, seperti jenis pelapis dalam kaleng dan tingkat keasaman produk. Penelitian oleh Sadrabad et al., (2023) menunjukkan melalui pelapis epoksi, dapat terjadi sintesis BPA dalam resin epoksi memerlukan kondensasi BPA dan epiklorohidrin, yang menghasilkan bisfenol A diglikidil eter dan polimer dengan massa molekul yang beragam. Ketika reaksi polimerisasi tidak memadai akan terjadi pelepasan BPA, sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan BPA

ke dalam makanan kaleng. Bingo et al., (2018) turut menambahkan bahwa tingkat kestabilan gugus hidroksil BPA sangat dipengaruhi oleh pH karena monomer BPA cenderung lebih stabil pada kondisi netral dan sedikit basa.

Migrasi BPA Pada Air Minum Kemasan Plastik Polikarbonat Dan Polietilena Tereftalat

Jumlah artikel yang terkumpul yaitu sebanyak 852 yang telah dikumpulkan dari 10 database jurnal internasional serta pada hasil akhir hanya didapat 2 jurnal yang digunakan untuk pengujian meta-analisis setelah melalui seleksi duplikasi, seleksi judul dan abstrak, serta relevansi.



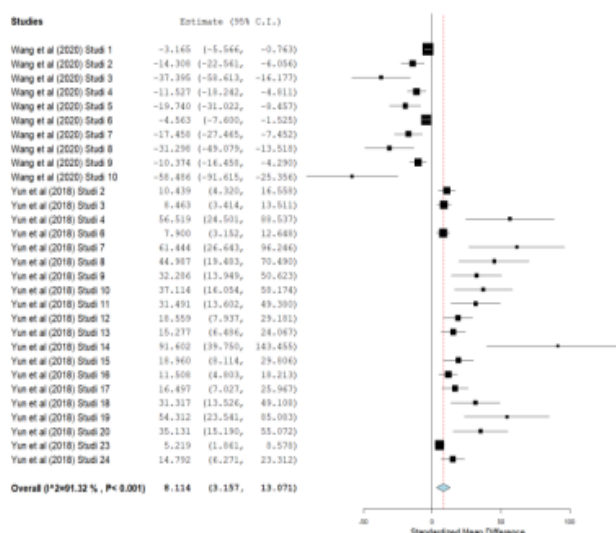
Gambar 13. Hasil forest plot migrasi BPA pada botol air minum kemasan PC dan PET

Total studi sebanyak 34 yang telah digunakan hanya terdapat 32 studi yang mampu dihitung effect size-nya. Berdasarkan Gambar 13, hasil menunjukkan bahwa overall effect size sebesar 8,144 sehingga disimpulkan bahwa migrasi BPA kemasan air minum PC lebih banyak daripada PET. Penelitian oleh Guart et al., (2011) turut menegaskan bahwa adanya kontaminasi BPA dikarenakan bahan baku pembuatan PC adalah BPA, sednagkan untuk PET hanya disebabkan oleh kontaminasi silang.

Analisis subkelompok pada bagian asal negara adapat dilihat pada Tabel 14 dan Gambar 14. Berdasarkan pengujian tersebut, negara Cina dan Malaysia memiliki perbedaan hasil yang signifikan. Negara Malaysia memiliki nilai Standardized Mean Difference sebesar 25,045 yang mengindikasikan bahwa produk BPA pada botol PC lebih tinggi daripada PET. Berbeda dnegan Cina yang memiliki nilai Standardized Mean Difference negatif sebesar -13,913 yang berarti bahwa produksi BPA pada botol PET lebih tinggi daripada PC.

Tabel 12. Hasil analisis subkelompok variabel asal negara terhadap migrasi BPA

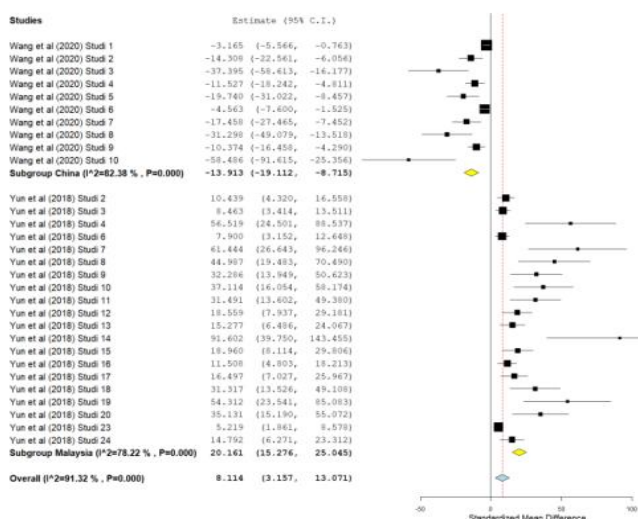
No	Asal negara	N	Standardized Mean Difference (CI 95%)	p-value
1	Cina	10	-13,913 (-19,112; -8,715)	<0,001
2	Malaysia	24	20,161 (15,276; 25,045)	<0,001



Gambar 14. Hasil forest plot analisis subkelompok asal negara

Tabel 13. Hasil analisis subkelompok suhu penyimpanan terhadap migrasi BPA

No	Suhu penyimpanan	N	Standardized Mean Difference (CI 95%)	p-value
1	1-25°C	20	-1,887 (-7,314; 3,540)	0,496
2	26-50°C	10	26,462 (16,264; 36,659)	<0,001
3	>50°C	4	26,307 (11,078; 41,536)	<0,001



Gambar 15. Hasil forest plot analisis subkelompok suhu penyimpanan

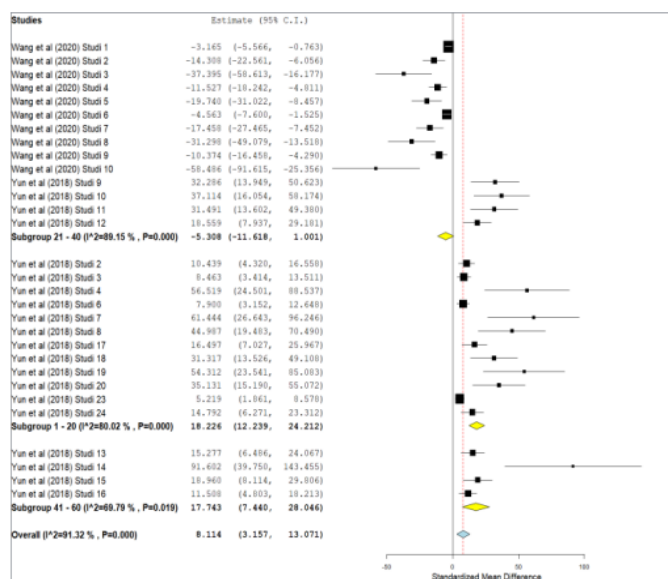
Analisis subkelompok selanjutnya adalah menganalisis berdasarkan suhu penyimpanan. Berdasarkan Tabel 13, suhu penyimpanan lebih dari 26°C dapat berpengaruh terhadap jumlah migrasi BPA pada botol air minum PC. Rentang suhu dari 1-25°C memberikan hasil bahwa jika nilai Standardized Mean Difference negatif, maka jumlah migrasi BPA pada botol PET lebih tinggi daripada PC. Berbeda dengan variabel suhu penyimpanan diatas 26°C yang menunjukkan nilai positif yang memiliki arti bahwa jumlah migrasi BPA lebih

banyak pada botol air kemasan PC daripada PET. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian oleh Baz et al., (2023) yang menyatakan bahwa semakin tinggi suhu penyimpanan pada botol air minum maka akan berdampak pada migrasi BPA yang semakin tinggi pula.

Hasil analisis subkelompok pada variabel moderator lama penyimpanan memberikan hasil yang diilustrasikan pada Tabel 16 dan Gambar 16. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, hasil analisis subkelompok pada lama penyimpanan 1-20 hari dan 41-60 hari menunjukkan nilai positif. Hal tersebut memiliki arti bahwa lama penyimpanan cenderung berpengaruh dominan terhadap migrasi BPA pada botol air minum PC. Subkelompok lama penyimpanan 21-45 hari menunjukkan nilai negatif dimana merepresentasikan bahwa hal tersebut lebih berpengaruh terhadap tingginya migrasi BPA pada botol air minum PET.

Tabel 14. Hasil analisis subkelompok lama penyimpanan dengan migrasi BPA

No	Lama penyimpanan (hari)	N	Standardized Mean Difference (CI 95%)	p-value
1	1-20	16	18,266 (12,239; 24,212)	<0,001
2	21-40	14	-5,308 (-11,618; 1,001)	0,099
3	41-60	4	17,743 (7,440; 28,046)	<0,001



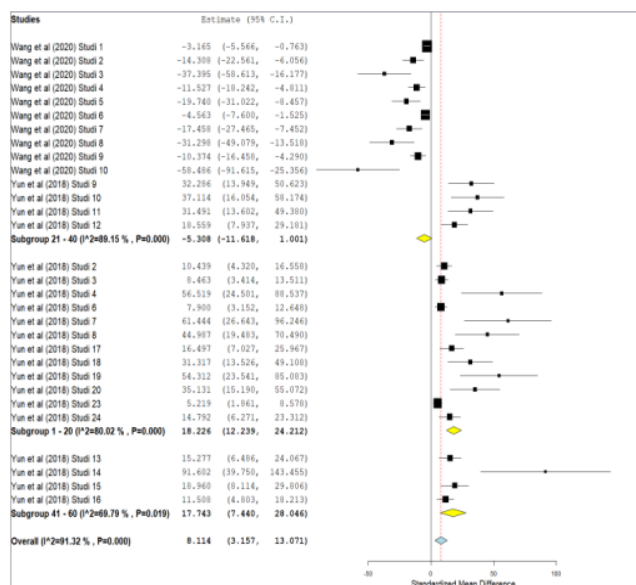
Gambar 16. Hasil forest plot analisis subkelompok lama penyimpanan

Hasil pengujian subkelompok paparan sinar UV memberikan hasil bahwa pada bagian Standardized Mean Difference (SMD) memiliki nilai positif yang berarti bahwa kedua interval memberikan pengaruh terhadap migrasi BPA, baik pada botol air kemasan PC dan PET. Tabel 17 dan Gambar 17 menunjukkan perbedaannya dapat dilihat dari nilai p-value. Kelompok 81,76-124,1 termasuk dalam signifikan, sedangkan 0,9-1,5 termasuk tidak signifikan. Baz et al., (2023) menambahkan bahwa penyimpanan baik di indoor atau outdoor akan berpengaruh terhadap migrasi BPA, tetapi botol yang disimpan pada area outdoor memiliki tingkat migrasi BPA lebih tinggi daripada indoor.

Tabel 15. Hasil analisis subkelompok paparan UV pada migrasi BPA

No	Paparan UV (W/m)	N	Standardized Mean Difference (CI 95%)	p-value

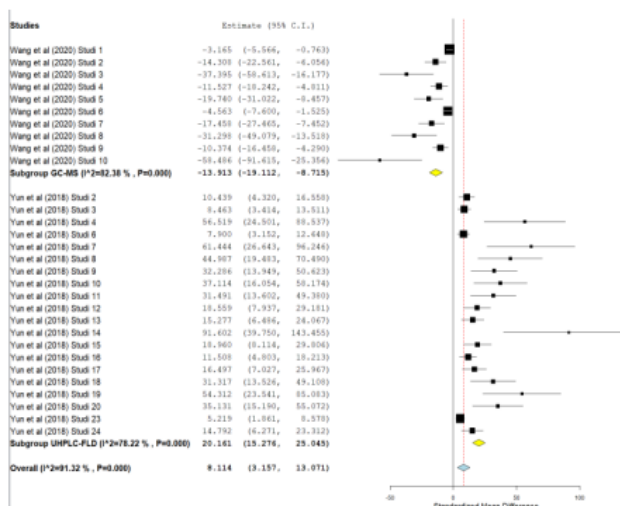
1	81,76-124,1	4	30,265	<0,001
2	0,9-1,5	4	9,172	0,052



Gambar 17. Hasil forest plot subkelompok paparan UV

Tabel 16. Hasil analisis subkelompok variabel instrumen penelitian terhadap migrasi BPA

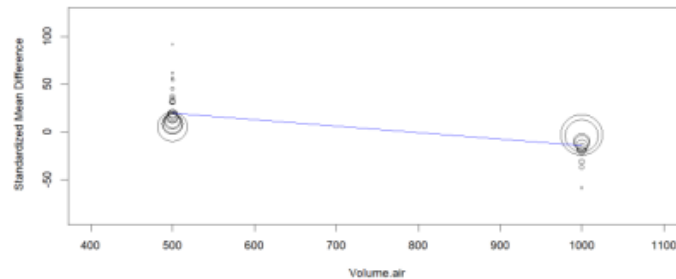
No	Jenis instrumen penelitian	N	Standardized Mean Difference (CI 95%)	p-value
1	GC-MS	12	-13,913 (-19,112; -8,715)	<0,001
2	UHPLC-FLD	24	20,161 (15,276; 25,045)	<0,001



Gambar 18. Forest plot analisis subkelompok instrumen penelitian

Hasil analisis variabel instrumen penelitian menunjukkan bahwa pada nilai SMD pada Tabel 18 dan Gambar 18 bernilai negatif memiliki arti bahwa sensitivitas deteksi BPA akan lebih besar pada kemasan PET, begitupun sebaliknya. Nilai p-value <0,001 menunjukkan bahwa data signifikan secara statistik.

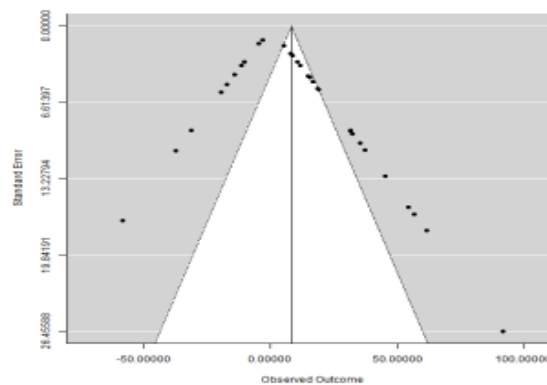
Analisis meta-regresi pada Gambar 19 menunjukkan bahwa semakin turun nilai slope maka variabel X berpengaruh negatif terhadap variabel Y. Selain itu, Tabel 19 juga menunjukkan hasil bahwa adanya nilai slope yang negatif, maka semakin besar volume air akan berpengaruh terhadap tingkat migrasi BPA yang semakin melemah.



Gambar 19. Hasil plot meta-regresi variabel volume air

Tabel 17. Hasil uji meta-regresi variabel volume air

Variabel	<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	<i>p-value</i>
Volume air	53,441	-0,068	<0,001



Gambar 20. Hasil funnel plot migrasi BPA pada botol air minum PC dan PET

Hasil analisis bias publikasi dapat dilihat pada **Gambar 20** yang menginterpretasikan bahwa bentuk *funnel plot* tersebut adalah simetris sehingga tidak terdapat bias publikasi tinggi dan data memiliki kepresisian yang tinggi.

KESIMPULAN

Data menunjukkan bahwa pada pengujian migrasi BPA dan BPF pada minuman ringan kemasan kaleng memiliki tingkat migrasi BPA yang lebih tinggi daripada BPF. Selain itu, data yang didapat dari pengujian migrasi BPA pada tuna kaleng dengan medium minyak dan air garam menunjukkan hasil bahwa migrasi BPA lebih tinggi pada tuna kaleng dengan medium minyak. Berbeda dengan pengujian migrasi BPA pada botol air minum PC dan PET yang memberikan hasil bahwa botol dengan bahan PC memiliki migrasi BPA lebih tinggi daripada PET.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zahrani, F. S. A., Albaqshi, H. A. A., Alhelal, G. A. M., Mohamed, I. A., Aga, O., & Abdel-Magid, I. M. (2017). Bottled water quality in KSA. *IJISSET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 4, 2348–7968.
- Almeida, T. F. A., Oliveira, S. R., da Silva, J. M., de Oliveira, A. L. F., de Lourdes Cardeal, Z., Menezes, H. C., Gomes, J. M., Campolina-Silva, G. H., Oliveira, C. A., & Macari, S. (2021). Effects of high-dose bisphenol A on the mouse oral mucosa: A possible link with oral cancers. *Environmental Pollution*, 286, 117296.

- Arar, S., & Alawi, M. (2019). A new solvent extraction method with gas chromatography–mass spectrometry for bisphenol A determination in canned foods. *Acta Chromatographica*, 31(1), 71–78.
- Bakhori, A. (2017). Tinjauan aspek korosi pada makanan dalam kemasan kaleng. *PISTON (Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU)*, 2(1), 30–38.
- Baz, L., Alharbi, A., Al-Zahrani, M., Alkhabbaz, S., Alsousou, R., & Aljawadri, H. (2023). The Effect of Different Storage Conditions on the Levels of Bisphenol A in Bottled Drinking Water in Jeddah City, Saudi Arabia. *Advances in Public Health*, 2023(1), 8278428.
- Chailurkit, L., Srijaruskul, K., & Ongphiphadhanakul, B. (2017). Bisphenol A in canned carbonated drinks and plastic-bottled water from supermarkets. *Exposure and Health*, 9(4), 243–248.
- Choi, S. J., Yun, E. S., Shin, J. M., Kim, Y. S., Lee, J. S., Lee, J. H., Kim, D. G., Oh, Y. H., Jung, K., & Kim, G. H. (2018). Concentrations of bisphenols in canned foods and their risk assessment in Korea. *Journal of Food Protection*, 81(6), 903–916.
- Hwang, M., Park, S.-J., & Lee, H.-J. (2023). Risk assessment of bisphenol a in the Korean general population. *Applied Sciences*, 13(6), 3587.
- Lehmle, H.-J., Liu, B., Gadogbe, M., & Bao, W. (2018). Exposure to bisphenol A, bisphenol F, and bisphenol S in US adults and children: the national health and nutrition examination survey 2013–2014. *ACS Omega*, 3(6), 6523–6532.
- Lestido-Cardama, A., Sendón, R., Bustos, J., Nieto, M. T., Paseiro-Losada, P., & Rodríguez-Bernaldo de Quirós, A. (2022). Food and beverage can coatings: A review on chemical analysis, migration, and risk assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(4), 3558–3611.
- 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. (2022). An insight into bisphenol A, food exposure and its adverse effects on health: A review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1047827.
- Marqueño, A., Pérez-Albaladejo, E., Flores, C., Moyano, E., & Porte, C. (2019). Toxic effects of bisphenol A diglycidyl ether and derivatives in human placental cells. *Environmental Pollution*, 244, 513–521.
- Nugraheni, M. (2018). *Kemasan Pangan*. Yogyakarta: Plantaxia.
- Prayogo, A., & Mazda, C. N. (2021). Inovasi Teknologi Pelcing Kaleng Sebagai Pemulihan Ekonomi Pasca Gempa Lombok. *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains (Jinteks)*, 3(3), 376–383.
- Russo, G., Varriale, F., Barbato, F., & Grumetto, L. (2019). Are canned beverages industries progressively switching to bisphenol AF? *Journal of Food Science*, 84(11), 3303–3311.
- Rybczyńska-Tkaczyk, K., Skóra, B., & Szychowski, K. A. (2023). Toxicity of bisphenol A (BPA) and its derivatives in divers biological models with the assessment of molecular mechanisms of toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(30), 75126–75140.
- Seyhan, G., Ustundag, U. V., Unal, I., Kalkan, P. S. A., Cansız, D., Alturfan, E. E., & Alturfan, A. (2022). The effect of different storage conditions on the migration of chemicals from polyethylene terephthalate and polycarbonate bottles to water. *Experimed*, 12(2), 74–79.
- Sucipta, I. N., Suriasih, K., & Kencana, P. K. D. (2017). Pengemasan pangan kajian pengemasan yang aman, nyaman, efektif dan efisien. *Udayana University Press*, 1, 1–178.
- Ullah, A., Pirzada, M., Afsar, T., Razak, S., Almajwal, A., & Jahan, S. (2019). Effect of bisphenol F, an analog of bisphenol A, on the reproductive functions of male rats. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 24, 1–11.
- Winkler, J., Liu, P., Phong, K., Hinrichs, J. H., Ataii, N., Williams, K., Hadler-Olsen, E., Samson, S., Gartner, Z. J., & Fisher, S. (2022). Bisphenol A replacement chemicals, BPF and BPS, induce protumorigenic changes in human mammary gland organoid morphology and proteome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(11), e2115308119.
- Yun, W. M., Ho, Y. Bin, Tan, E. S. S., & How, V. (2018). Release of Bisphenol A from polycarbonate and polyethylene terephthalate drinking water bottles under different storage conditions and its associated health risk. *Malaysian Journal of Medicine & Health Sciences*, 14.
- Benhamada, M., Bouzid, D., Boyron, O., Taam, M. (2016). The relationship between the aging of polycarbonate characterized by SEC and the release of bisphenol A quantified by HPLC–UV. *European Food Research and Technology*. 242(2): 227–232. doi:10.1007/s00217-015-2534-7
- Bingol, M., Konar, N., Poyrazoğlu, E. S., Artik, N. (2018). Influence of storage conditions on bisphenol A in polycarbonate carboys of water. *European International Journal of Science and Technology*. 7(3): 107–123. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3398>
- Cao, X. L., Corriveau, J. (2008). Determination of bisphenol A in water by isotope dilution headspace solid microextraction and gas chromatography mass spectrometry without derivatation. *Journal of AoAc International*. 91(3):622- 629
- Cacho, J. I., Campillo, N., Vinas, P., Hernandez-Cordoba, M. (2012). Stir bar sorptive extraction coupled to gas chromatography–mass spectrometry for the determination of bisphenols in canned beverages and

- filling liquids of 30 canned vegetables. *Journal of Chromatography A*. 1247(2012): 146- 153. doi:10.1016/j.chroma.2012.05.064
- Do, M. T., Chang, V. C., Mendez, M. A., Groh, M. D. (2017). Urinary bisphenol A and obesity adults: result from the canadian health measurement survey. *Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada*. 37(12):403-413. <https://doi.org/10.24095/hpcdp.37.12.02>
- Fasano, E., Bono-Blay, F., Cirillo, T., Montuori, P., Lacorte, S. (2012). Migration of phthalates, alkylphenols, bisphenol A and di (2-ethylhexyl) adipate from food packaging. *Food control*. 27(1): 132-138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.03.005>
- Guart, A., Bono-Blay, F., Borrell, A., Lacorte, S. (2011). Migration of plasticizers phthalates, bisphenol A and alkylphenols from plastic containers and evaluation of risk. *Food Additives & Contaminants*. 28(5):1-10.
- Guart, A., Bono-Blay, F., Borrell, A., Lacorte, S. (2014). Effect of bottling and storage on the migration of plastic constituents in Spanish bottled waters. *Food Chemistry*. 156: 73–80. doi:10.1016/j.foodchem.2014.01.075.
- Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *Bmj*. 327(7414): 557-560.
- Khan, N. G., Correia, J., Adiga, D., Rai, P. S., Dsouza, H. S., Chakkarabarty, S., Kabekkodu, S. P. (2021). A comprehensive review on the carcinogenic potential of bisphenol A: clues and evidence. *Environmental Science and Pollution Research*. 28:19643-19663. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13071-w>
- Kovačiča, A., Gysc, C., Gulina, M. R., Kosjeka, T., Heatha, D., Covacic, A., Heatha, E. (2020). The migration of bisphenols from beverage cans and reusable sports bottles. *Food Chemistry*. 331(2020): 127326.
- Kramarczyk, G. D., Zembrzuska, J., Kruszelnicka, I., Zajac-Woznialis, A., Cislak, M. (2022). Influence of temperature on the quality of bisphenol A in bottled drinking water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(9):1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095710>
- Martínez, M. Á., Blanco, J., Rovira, J., Kumar, V., Domingo, J. L., Schuhmacher, M. (2020). Bisphenol A analogues (BPS and BPF) present a greater obesogenic capacity in 3T3-L1 cell line. *Food Chem Toxicol*. 140:111298. doi:10.1016/j.fct.2020.111298.
- Sadrabad, E. K., Hashemi, S. A., Nadjarzadeh, A., Askari, E., Mohajeri, A. F., Ramroudi, F. (2023). Bisphenol A release from food and beverage containers—A review. *Food Science & Nutrition*. 11(7): 3718-3728. doi: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3398>
- Shindy, Aidid, M. K., Nusrang, M. (2021). Analisis meta regresi untuk menjelaskan heterogenitas hasil penelitian pada kejadian demam berdarah dengue. *Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*. 3(1): 1- 9. doi:10.35580/variasiunm14643
- Tazkeen, A., Hameed, R., Naeem, I. (2012). Sources of bisphenol A contamination in drinking water in Pakistan and determination of migration rates. *Biomedical and Pharmacology Journal*. 5(2):235-240