
REVIEW ARTICLE

Kimia Obesogen dan Obesiti Kanak-kanak sebagai Ancaman Kesehatan Awam: Satu Ulasan Naratif

Nur Atiqah Mohd Ahwan, Zaleha Md Isa, Mohd Hasni Jaafar, Norfazilah Ahmad*

Department of Public Health Medicine, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur, Cheras, Malaysia.

**Corresponding: zms@hctm.ukm.edu.my*

ABSTRAK

Pengenalan	Obesiti dalam kalangan kanak-kanak ialah isu kesihatan global yang semakin meningkat dengan prevalens yang tinggi, termasuk di Malaysia. Faktor persekitaran seperti pendedahan kepada bahan kimia obesogen dipercayai menyumbang kepada peningkatan risiko obesiti. Ulasan naratif ini bertujuan untuk menyiasat hubungan antara bahan kimia obesogenik dan obesiti kanak-kanak secara mendalam bagi menyokong pembangunan strategi pencegahan yang lebih berkesan.
Metodologi	Ulasan naratif ini dijalankan menggunakan pangkalan data PubMed, Google Scholar, Web of Science, dan Scopus untuk menyiasat hubungan antara bahan kimia obesogenik dan obesiti kanak-kanak. Kata kunci yang relevan digunakan untuk mengenal pasti artikel yang memenuhi skop kajian. Artikel tambahan diperoleh melalui rujukan silang daripada artikel yang dipilih dalam carian awal.
Hasil Kajian	Obesogen ialah bahan kimia eksogen yang mengganggu fungsi metabolik, mempromosikan pengumpulan lemak, dan meningkatkan risiko obesiti dalam kalangan kanak-kanak, terutamanya melalui mekanisme seperti gangguan adipogenesis, penurunan kadar metabolik basal, dan perubahan kawalan selera makan. Kajian menunjukkan hubungan yang signifikan antara pendedahan pranatal kepada bahan kimia seperti phthalate dan PFAS dengan peningkatan indeks jisim badan (BMI) dan risiko obesiti kanak-kanak. Kajian eksperimen turut mengesahkan bahawa obesogen seperti BPA dan phthalate mempromosikan adipogenesis dan gangguan metabolik dalam model haiwan dan sel manusia, memberikan bukti kukuh tentang peranan obesogen terhadap obesiti kanak-kanak.
Kesimpulan	Pendedahan kepada obesogen kimia memberi kesan negatif terhadap obesiti kanak-kanak. Oleh itu, tindakan segera melalui kawalan bahan kimia dan pendidikan awam amat diperlukan. Penyelidikan lanjutan dan perubahan polisi global juga perlu dilaksanakan bagi memastikan masa depan yang lebih sihat untuk generasi akan datang.
Kata kunci	Obesiti Kanak-Kanak; Bahan Kimia Obesogenik; Pengganggu Endokrin; Adipogenesis; Phthalate

ABSTRACT

Introduction	Childhood obesity is a growing global health issue with a high prevalence, particularly in Malaysia. Environmental factors, such as exposure to obesogenic chemicals, are thought to contribute to the increased risk of obesity. This narrative review aimed to investigate the relationship between obesogenic chemicals and childhood obesity to support the development of more effective prevention strategies.
Methods	A narrative review was conducted using PubMed, Google Scholar, Web of Science, and Scopus to explore the relationship between obesogenic chemicals and childhood obesity. Relevant keywords were used to identify articles aligned with the study's scope, and additional articles were sourced through the snowballing technique from selected articles in the initial search.
Results	Obesogens are exogenous chemicals that can disrupt metabolic functions, promote fat accumulation, and increase the risk of childhood obesity. These effects occur through impaired adipogenesis, reduced basal metabolic rate, and altered appetite regulation. Studies revealed significant associations between prenatal exposure to chemicals like phthalates and Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) and increased body mass index (BMI) and obesity risk in children. Experimental studies further confirmed that obesogens, such as bisphenol A (BPA) and phthalates, promote adipogenesis and metabolic disruption in animal models and human adipose tissue cells, providing strong evidence of their role in childhood obesity.
Conclusions	Exposure to chemical obesogens significantly impacts childhood obesity. Immediate action through chemical regulation and public education is essential. Further research and global policy changes are needed to secure a healthier future for the next generation.
Keywords	Childhood Obesity; Obesogenic Chemicals; Endocrine Disruptors; Adipogenesis; Phthalates

Article history:

Received: 8 December 2024

Accepted: 21 January 2025

Published: 4 February 2025

PENGENALAN

Masalah kegemukan atau obesiti dalam kalangan kanak-kanak merupakan isu kesihatan serius yang semakin meningkat, dengan mengakibatkan kesan negatif yang signifikan kepada perkembangan dan kesejahteraan kanak-kanak. Menurut laporan Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO), lebih daripada 390 juta kanak-kanak dan remaja berumur 5–19 tahun mempunyai berat badan berlebihan pada tahun 2022, termasuk 160 juta yang mengalami obesiti. Lebih membimbangkan, sebanyak 37 juta kanak-kanak di bawah usia 5 tahun juga dilaporkan mengalami masalah berat badan berlebihan pada tahun yang sama¹. Pangkalan data terbesar di seluruh dunia iaitu NCD-Risc yang mengkaji masalah obesiti dalam kalangan kanak-kanak dan remaja berumur 5 hingga 19 tahun yang diterbitkan pada tahun 2017 menunjukkan bahawa daripada 2,417 responden yang diukur, prevalens obesiti global meningkat daripada 0.7% kepada 5.6% bagi perempuan, manakala bagi lelaki, ia meningkat daripada 0.9% kepada 7.8%.²

Di Malaysia, prevalens berat badan berlebihan dan obesiti dalam kalangan kanak-kanak berumur 18 tahun ke bawah adalah 11.9%, dan kanak-kanak berumur 5 hingga 9 tahun dilaporkan mempunyai prevalens berat badan berlebihan dan obesiti tertinggi iaitu 14.8% berdasarkan Kajian Kesihatan dan Morbiditi Kebangsaan pada tahun 2015.³ Justeru itu, masalah ini perlu diberi perhatian serius kerana berat badan berlebihan pada kanak-kanak boleh menyebabkan pelbagai jenis masalah kesihatan yang biasanya dikaitkan dengan orang dewasa, seperti diabetes, hipertensi, dan paras kolesterol tinggi. Selain itu, obesiti kanak-kanak juga boleh menyumbang kepada masalah kesihatan mental, di mana kanak-kanak yang obes lebih cenderung berasa rendah diri dan mengalami kemurungan.^{1,4}

Obesogen dan Obesiti Kanak-Kanak

Pelbagai jenis faktor menyumbang kepada masalah epidemik obesiti ini. Secara umum, obesiti kanak-kanak dipercayai berpunca daripada faktor genetik dan ketidakseimbangan tenaga yang kronik antara kalori yang diambil dan kalori yang dibakar.⁵ Di samping itu, faktor-faktor lain seperti tabiat pemakanan yang tidak sihat, kurangnya aktiviti fizikal, dan akses kepada penjagaan kesihatan juga mempengaruhi berat badan seseorang kanak-kanak itu.⁶ Namun, penyelidikan yang semakin berkembang mencadangkan bahawa interaksi antara genetik dan faktor persekitaran seperti pendedahan kepada bahan kimia obesogen, boleh meningkatkan risiko obesiti. Beberapa kajian mencadangkan bahawa bahan kimia obesogenik mungkin mengubah ekspresi gen yang berkaitan dengan metabolisme lemak, seterusnya menyumbang kepada peningkatan risiko obesiti.⁷ Sebagai contoh, penyelidikan menunjukkan bahawa pendedahan

kepada obesogen semasa tempoh perkembangan bayi boleh menyebabkan perubahan kekal dalam aktiviti gen melalui mekanisme seperti metilasi DNA, asetilasi histon, dan perubahan ekspresi mikroRNA dalam tisu-tisu penting yang mengawal metabolisme badan.⁸

Oleh itu, memahami impak pendedahan kepada obesogen terhadap obesiti kanak-kanak adalah penting untuk membangunkan strategi kesihatan awam yang berkesan dalam menangani masalah ini. Selain itu, pemahaman yang mendalam mengenai hubungan ini juga boleh membantu usaha pendidikan dan memberikan kesedaran dalam kalangan ibu bapa dan penjaga tentang langkah-langkah yang boleh diambil untuk melindungi anak-anak daripada pendedahan kepada bahan kimia berbahaya. Dengan mengenal pasti faktor-faktor risiko ini, kita dapat merangka intervensi yang lebih tepat untuk menangani isu obesiti dalam kalangan kanak-kanak dan seterusnya meningkatkan kesihatan generasi akan datang. Tujuan ulasan naratif ini adalah untuk menyiasat hubungan antara bahan kimia obesogenik dan obesiti kanak-kanak dengan lebih mendalam iaitu dengan memberi tumpuan kepada jenis-jenis bahan kimia obesogen dan sumber pendedahannya, bukti saintifik yang mengaitkan obesogen dengan obesiti kanak-kanak melalui kajian epidemiologi dan eksperimen, serta implikasi kesihatan dan perspektif kesihatan awam yang berkaitan.

METODOLOGI

Kajian ulasan naratif ini dijalankan dengan menggunakan pangkalan data PubMed, Google Scholar, Web of Science, dan Scopus. Carian dilakukan dengan menggunakan kata-kata kunci dalam Bahasa Melayu dan Inggeris, termasuk “obesogen kimia”, “obesiti kanak-kanak”, “epigenetik obesiti”, “kimia pengganggu endokrin”, dan “strategi pencegahan obesiti”. Bagi artikel dalam Bahasa Inggeris, kata kunci seperti “chemical obesogens”, “childhood obesity”, “obesity epigenetics”, “endocrine-disrupting chemicals”, dan “obesity prevention strategies” telah digunakan. Operator Boolean seperti “OR” dan “AND” turut digunakan untuk menggabungkan kata kunci dan memastikan artikel yang dicari relevan dengan skop kajian. Contohnya, carian menggunakan kombinasi seperti “chemical obesogens” AND “childhood obesity” atau “endocrine-disrupting chemicals” OR “obesity epigenetics” membolehkan penemuan artikel yang lebih luas dan menyeluruh. Artikel tambahan diperoleh melalui rujukan silang daripada artikel yang dipilih dalam carian awal.

Bagi memastikan liputan artikel yang komprehensif, tiada had tahun penerbitan ditetapkan, dan hanya artikel dalam bahasa Melayu dan Inggeris yang disaring. Artikel yang dipilih merangkumi jurnal penyelidikan asal dalam bentuk kajian kualitatif dan kuantitatif, artikel ulasan,

laporan kerajaan, serta penerbitan daripada organisasi kesihatan global. Ulasan ini tidak menilai kualiti artikel yang dipilih; walau bagaimanapun, hanya artikel yang paling relevan dan memenuhi skop kajian yang ditetapkan telah dipilih.

HASIL KAJIAN

Obesogen Kimia

Obesogen ialah bahan kimia eksogen yang mengganggu proses metabolik yang berpotensi menyebabkan peningkatan pengumpulan lemak dan penambahan berat badan. Bahan kimia ini mengganggu fungsi endokrin, yang mempengaruhi pengaturan hormon berkaitan selera makan, metabolisme, dan penyimpanan lemak. Dalam kalangan kanak-kanak, pendedahan kepada obesogen pada awal kehidupan (termasuk semasa dalam kandungan) mungkin mengganggu mekanisme yang terlibat dalam adipogenesis dan penyimpanan tenaga, menjadikan mereka lebih terdedah kepada risiko berat badan berlebihan dan obesiti.^{9,10}

Mekanisme Tindakan Obesogen

a) Pengaruh terhadap Adiposit

Pendedahan kepada bahan kimia obesogen, terutama semasa peringkat awal kehidupan, boleh mengganggu proses adipogenesis, yang merujuk kepada pembentukan dan perkembangan sel adiposit. Adiposit, atau sel lemak, ialah elemen penting dalam mengawal metabolisme dan penyimpanan tenaga. Fungsi adiposit yang normal membolehkan badan mengambil glukosa dan trigliserida dari aliran darah dengan berkesan sebagai tindak balas terhadap insulin¹¹. Apabila adiposit tidak berfungsi dengan baik disebabkan oleh pendedahan kepada obesogen, ia boleh menyebabkan rintangan insulin, di mana sel-sel tidak bertindak balas dengan baik terhadap insulin. Ini ialah faktor risiko yang signifikan untuk diabetes jenis 2, satu keadaan yang semakin meningkat dalam kalangan populasi, termasuk kanak-kanak.¹² Dengan memahami bagaimana obesogen mengganggu mekanisme adiposit, strategi pencegahan dan intervensi yang lebih berkesan dapat dirancang untuk menjaga kesihatan metabolik.

b) Penurunan Ekspresi Gen Penanda Adiposit Perang

Tisu adiposa perang (*brown adipose tissue*, BAT) memainkan peranan penting dalam proses termogenesis, yang merujuk kepada penghasilan haba sebagai hasil daripada pembakaran kalori. Pendedahan kepada bahan kimia obesogen telah terbukti dalam mengurangkan ekspresi gen penanda adiposit perang, seperti *uncoupling* protein 1 (UCP1).¹³ Penurunan ini menjejaskan keupayaan tubuh untuk menghasilkan haba, yang seharusnya membantu dalam pembakaran kalori. Apabila terdapat peralihan dari adiposa perang kepada

adiposa putih, di mana sel lemak ini berfungsi untuk menyimpan tenaga berbanding membakar, ia menyebabkan peningkatan pengumpulan lemak di dalam badan. Dengan meningkatnya jumlah lemak, terdapat juga pengurangan dalam penggunaan tenaga, yang seterusnya menyumbang kepada obesiti.^{13,14} Oleh itu, ia adalah penting untuk meneliti bagaimana pendedahan kepada obesogen boleh mempengaruhi tisu adiposa perang untuk membangunkan pendekatan yang lebih baik dalam menangani isu obesiti.

c) Gangguan Pengambilan Glukosa dan Isyarat Insulin

Gangguan dalam pengambilan glukosa dan isyarat insulin berkait rapat dengan pendedahan kepada obesogen. Sebagai contoh, bahan kimia seperti bisphenol A (BPA) telah dikaji dan didapati bahawa ia mengurangkan kepekaan insulin dalam adiposit. Ini bermakna bahawa walaupun insulin berada dalam jumlah yang mencukupi, sel-sel tidak dapat bertindak balas dengan berkesan, yang membawa kepada pengurangan dalam pengambilan glukosa.¹⁵ Gangguan ini boleh menjadi penyebab awal bagi perkembangan rintangan insulin, yang merupakan langkah awal ke arah keadaan metabolik yang serius seperti diabetes jenis 2 dan obesiti.¹² Dengan memahami kesan obesogen terhadap pengambilan glukosa dan fungsi insulin ialah kunci untuk merangka strategi pencegahan yang berkesan terhadap masalah kesihatan ini.

d) Pengaruh terhadap Kawalan Selera Makan

Obesogen juga mempunyai pengaruh signifikan terhadap mekanisme kawalan selera makan dan rasa kenyang yang dikendalikan oleh hipotalamus, bahagian otak yang berfungsi sebagai pusat pengawalan keseimbangan tenaga. Beberapa bahan kimia obesogen dipercayai mengganggu isyarat hormon yang mengawal kelaparan dan rasa kenyang, seperti leptin, yang memberikan signal kepada otak bahawa badan sudah cukup makan, dan ghrelin, yang merangsang rasa lapar.¹⁶ Gangguan terhadap isyarat-isyarat ini boleh menyebabkan peningkatan selera makan dan pengambilan makanan yang berlebihan, sehingga menyumbang kepada peningkatan berat badan dan obesiti.¹⁷ Pengetahuan yang mendalam tentang cara obesogen mempengaruhi kawalan selera makan adalah penting untuk merangka intervensi yang dapat membantu individu menguruskan berat badan mereka dengan lebih baik.

e) Pengubahan Kadar Metabolik Basal

Akhir sekali, pendedahan kepada obesogen dapat mengubah kadar metabolik basal (BMR), yang merupakan jumlah tenaga yang digunakan oleh badan semasa keadaan rehat.¹⁸ Gangguan terhadap BMR boleh mengurangkan jumlah tenaga yang dibakar oleh tubuh, menjadikannya lebih sukar

untuk mengekalkan berat badan yang sihat. Apabila BMR berkurangan, ia sering kali diiringi dengan peningkatan penyimpanan lemak, yang menjadikan individu lebih terdedah kepada obesiti.⁵ Memahami hubungan ini penting untuk merumuskan program pemakanan dan aktiviti fizikal yang lebih baik yang boleh membantu menstabilkan kadar metabolik dan mengawal berat badan dengan lebih cekap.

Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas, Rajah 1 memperlihatkan gambaran konsep mekanisme tindakan obesogen yang menyumbang kepada peningkatan risiko obesiti.

Jenis-Jenis Kimia Obesogen dan Sumber Pendedahan

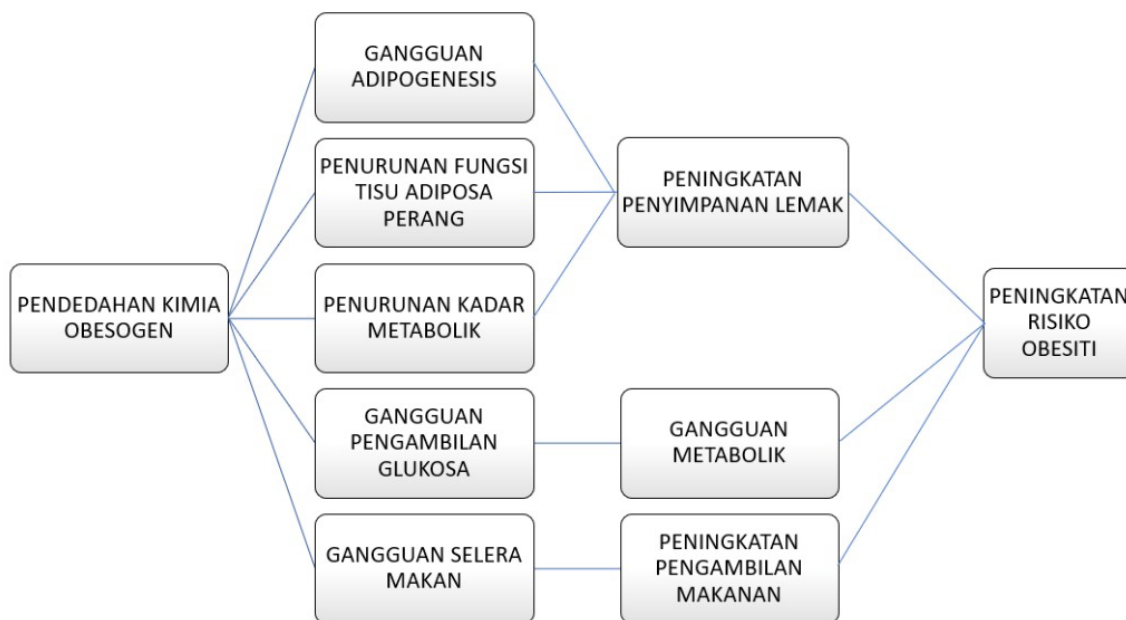
a) Obesogen Utama

Obesogen ialah bahan kimia sintetik atau semulajadi yang boleh mengganggu proses metabolik dan menyumbang kepada peningkatan berat badan. Sehingga kini, kira-kira lebih 20 jenis bahan kimia berbeza telah dikenali sebagai obesogen (Jadual 1). Ada yang wujud secara semula jadi (seperti fitoestrogen), namun kebanyakannya ialah bahan kimia sintetik yang dilepaskan ke alam sekitar, sama ada dengan sengaja atau tidak.¹⁷ Pendedahan kepada bahan-bahan ini boleh berlaku melalui makanan, penyedutan, atau penyerapan melalui kulit. Antara bahan kimia yang paling banyak dikaji berkaitan dengan obesogen ialah racun perosak, terutamanya organotin seperti tributyltin oksida (TBT) dan

triphenyltin (TPT). Hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), termasuk benzo[a]pyrene didapati hasil daripada pembakaran bahan api.^{10,19}

Antara obesogen yang paling terkenal ialah bisphenol A (BPA), yang sering ditemui dalam plastik polikarbonat dan resin epoksi. Pendedahan kepada BPA sangat membimbangkan kerana ia meniru estrogen dan boleh mengubah isyarat hormon, yang memainkan peranan penting dalam pengawalan selera makan dan penyimpanan lemak.^{20,21} Bisphenol A (BPA) pula terdapat dalam plastik polikarbonat, yang banyak digunakan dalam produk seperti botol minuman dan tin makanan. *Polybrominated biphenyls* dan *polybrominated diphenyl ethers* (PBDEs) pula digunakan sebagai bahan tahan api.²²

Kumpulan *phthalate*, yang sering digunakan sebagai peluntur dalam pelbagai jenis produk pengguna termasuk mainan dan pembungkusan makanan, juga merupakan obesogen. Penyelidikan menunjukkan bahawa pendedahan *phthalate* semasa tempoh kritikal pembangunan mungkin mendedahkan kanak-kanak kepada risiko obesiti dengan mempengaruhi tahap hormon dan fungsi tisu adiposa. Bahan-bahan perdan poli-fluoroalkil (PFAS), yang sering dirujuk sebagai "kimia selamanya", juga mendapat perhatian kerana ketahanan mereka dalam persekitaran dan potensi untuk mengganggu kesihatan metabolik.¹⁴



Rajah 1 Mekanisma Tindakan Obesogen

Jadual 1 Kumpulan dan Sumber Bahan Kimia Obesogen

Kumpulan	Sumber	Nama Bahan Kimia
Alkylphenols	Surfaktan dalam produk industri ²³	Nonylphenol (NP), Octylphenol (OP)
Bisphenol A (BPA) dan Analognya DDT/DDE	Komponen plastik polikarbonat ^{20,21} Racun perosak ²⁴	Tetrabromobisphenol A (TBBPA), Tetrachlorobisphenol A (TCBPA) Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), Dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE)
Organotin	Digunakan sebagai biosid (fungisid dan moluskisid), terutamanya sebagai pengawet kayu ¹⁷	Tributyltin oxide (TBT), Triphenyltin (TPT)
Paraben	Agen antimikrob untuk pengawetan makanan, kertas, dan produk farmaseutikal ²⁵	Alkyl esters of p-hydroxybenzoic acid
Phthalates	Agen pelembut dalam plastik, kosmetik, cat, dan ubat-ubatan ¹⁴	Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) Dibutyl phthalate (DBP) Monobenzyl phthalate (MBzP) Benzyl butyl phthalate (BBP) Mono(2-ethylhexyl) phthalate (MEHP)
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)	Bahan kalis api ²²	Lower brominated PBDEs (dengan 1–4 atom bromin)
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	Hasil sampingan pembakaran bahan api ^{10,19}	Benzo[a]pyrene
Fitoestrogen	Komponen makanan (cth. soya, kacang, lentil, kacang kuda) ²⁶	Isoflavones (genistein, daidzein)
Perfluoroalkyl Substances (PFAS)	Alat masak tidak melekat, pembungkusan makanan ¹⁴	Perfluorooctanoic acid (PFOA), Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS)
Organophosphate Retardants (OPFRs)	Flame Bahan kalis api organofosfat dalam perabot dan tekstil ²⁷	Tris(2-chloroethyl)phosphate (TCEP), Tris(1,3-dichloropropyl)phosphate (TDCPP)

b) Sumber Pendedahan

Sumber pendedahan kepada obesogen adalah meluas dalam kehidupan moden, dengan pembungkusan makanan menjadi penyumbang utama. Bahan kimia seperti BPA biasanya terdapat dalam lapisan tin makanan dan bekas plastik, menyebabkan ia larut lesap ke dalam makanan dan minuman.¹⁹ Produk penjagaan peribadi, termasuk syampu dan losyen, sering mengandungi *phthalate* yang boleh diserap melalui kulit atau dihidu. Barang isi rumah seperti perkakas memasak tidak melekat dan kain tahan air juga mungkin melepaskan PFAS ke dalam persekitaran. Selain itu, pencemaran alam sekitar, termasuk pencemaran udara dan air, boleh memperkenalkan bahan kimia ini ke dalam rumah dan badan kanak-kanak, yang terdedah kerana sistem mereka sedang berkembang.²³

c) Laluan Pendedahan dalam Kanak-Kanak

Kanak-kanak secara unik terdedah kepada pendedahan obesogen melalui pelbagai jenis laluan.

Pemindahan maternal boleh berlaku semasa kehamilan dan penyusuan, di mana bahan kimia dalam badan ibu boleh sampai kepada janin atau bayi.²⁴ Bahan kimia seperti BPA boleh merentasi penghalang plasenta, menyebabkan pendedahan janin. Kajian mendapati bahawa terdapat BPA dan obesogen lain dalam serum ibu dan janin, justeru menunjukkan bahawa janin boleh terjejas secara langsung oleh pendedahan bahan kimia daripada ibu.²⁰ Pendedahan obesogen di dalam diet juga adalah signifikan, kerana kanak-kanak mengambil lebih banyak makanan relatif kepada berat badan mereka berbanding orang dewasa, dan ia berpotensi meningkatkan pengambilan bahan kimia berbahaya. Bahan kimia obesogen boleh memasuki tubuh kanak-kanak melalui pelbagai jenis sumber makanan, termasuk bahan tambahan makanan, bahan pembungkusan, pewarna makanan, dan sisa pencemaran daripada peralatan memasak. Sebagai contoh, bahan kimia seperti Bisphenol A (BPA) dan phthalates boleh dibebaskan daripada bekas plastik

atau pembungkusan makanan ke dalam makanan, terutamanya apabila makanan tersebut terdedah kepada haba tinggi. Pewarna makanan sintetik dan bahan pengawet tertentu juga didapati berkait dengan gangguan metabolik yang berpotensi menyumbang kepada obesiti. Selain itu, residu racun perosak dan bahan cemar lain yang terdapat dalam hasil pertanian turut menyumbang kepada pendedahan obesogen dalam diet kanak-kanak.^{2,25}

Sentuhan langsung dengan benda berhabuk di rumah yang boleh mengandungi sisa obesogen dari pelbagai jenis sumber, ialah satu lagi laluan kritikal. Tingkah laku kanak-kanak, seperti aktiviti tangan-ke-mulut dan permainan di lantai, meningkatkan risiko pendedahan mereka. Penyelidikan menunjukkan bahawa habuk rumah boleh mengandungi pelbagai bahan kimia, termasuk bahan obesogen kimia yang mungkin merangsang perkembangan sel lemak dan menyumbang kepada obesiti. Beberapa bahan kimia obesogen utama yang sering dijumpai dalam habuk rumah termasuklah phthalates, polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) serta perfluoroalkyl (PFAS). Bahan-bahan ini boleh mencetuskan aktiviti adipogenik, termasuk pengumpulan trigliserida dan proliferasi prapadiposit, walaupun pada tahap pendedahan yang dianggap relevan dengan persekitaran.²⁶ Memahami laluan ini adalah penting untuk membangunkan intervensi yang disasarkan bagi mengurangkan risiko berkaitan obesogen dalam kalangan kanak-kanak.

Bukti Pengaruh Obesogen Terhadap Obesiti Kanak-Kanak

a) Kajian Epidemiologi

Penyelidikan epidemiologi semakin mengaitkan obesogen tertentu dengan obesiti dalam kalangan kanak-kanak, yang menunjukkan hubungan signifikan antara pendedahan obesogen kimia dan hasil kesihatan yang tidak baik. Sebagai contoh, satu kajian keratan rentas menunjukkan bahawa kanak-kanak dengan kepekatan *phthalate* urin yang lebih tinggi menunjukkan indeks jisim badan (BMI) yang lebih besar dan lilitan pinggang yang meningkat, menandakan risiko berat badan berlebihan dan obesiti.²⁷ Manakala satu kajian longitudinal telah dilakukan dengan menganalisa sampel serum daripada 412 wanita hamil di Norway dan Sweden untuk menilai hubungan antara pendedahan ibu kepada bahan obesogen kimia perfluoroalkil (PFAS) dengan obesiti/berat badan berlebihan pada kanak-kanak berumur 5 tahun. Kajian mendapati bahawa tahap Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) dan Perfluorooctanoic Acid (PFOA) yang lebih tinggi dalam serum ibu dikaitkan dengan peningkatan BMI dan ukuran lipatan kulit pada kanak-kanak, yang membawa kepada peningkatan risiko obesiti.²⁸ Penemuan seperti ini menekankan kepentingan pemantauan pendedahan bahan kimia dalam

populasi kanak-kanak dan implikasi jangka panjang untuk kesihatan awam.

b) Kajian Eksperimen

Kajian eksperimen, termasuk model haiwan dan sel, menawarkan bukti tambahan tentang kesan obesogenik bahan kimia ini di peringkat biologi. Penyelidikan telah menunjukkan bahawa pendedahan kepada BPA boleh mengubah laluan metabolik dalam model rodent, yang menyebabkan peningkatan pengumpulan lemak dan rintangan insulin.^{29,30} Selain itu, kajian menggunakan sel tisu adiposa manusia telah menunjukkan bahawa pendedahan kepada *phthalate* boleh mempromosikan adipogenesis, iaitu proses di mana preadiposit berbeza menjadi adiposit matang, dengan itu meningkatkan penyimpanan lemak.³¹ Penemuan ini memberikan pemahaman mekanistik tentang bagaimana obesogen menyumbang kepada obesiti, menekankan keperluan untuk strategi pencegahan bagi mengurangkan pendedahan, terutamanya semasa peringkat pembangunan yang kritikal.

PERBINCANGAN

Implikasi Kesihatan dan Perspektif Kesihatan Awam

Implikasi obesiti kanak-kanak yang berkaitan dengan pendedahan obesogen adalah mendalam, merangkumi risiko kesihatan jangka pendek dan jangka panjang. Dalam jangka pendek, kanak-kanak dengan obesiti berisiko lebih tinggi untuk mengalami sindrom metabolik, yang boleh membawa kepada keadaan seperti diabetes melitus jenis 2 dan penyakit kardiovaskular pada usia awal. Masalah kesihatan ini boleh mengakibatkan penurunan kualiti hidup, dengan kos penjagaan kesihatan yang meningkat dan kesejahteraan fizikal dan psikologi yang berkurangan.¹ Akibat jangka panjang mungkin termasuk penyakit kronik yang berterusan hingga dewasa, yang menyebabkan keperluan mendesak untuk intervensi berkesan yang menyasarkan pendedahan obesogen untuk membendung epidemik obesiti yang semakin meningkat.⁴

Impak terhadap Populasi Rentan

Populasi tertentu mungkin lebih rentan terhadap kesan buruk obesogen disebabkan faktor sosioekonomi dan geografi. Kanak-kanak dari keluarga berpendapatan rendah mungkin mengalami tahap pendedahan yang lebih tinggi disebabkan pengambilan makanan yang lebih murah dan makanan terproses yang sering dibungkus dalam bahan yang mengandungi obesogen.^{32,33} Perbezaan geografi juga boleh mempengaruhi akses kepada pilihan makanan yang sihat dan ruang rekreasi yang selamat, yang meningkatkan risiko obesiti.³⁴ Menangani ketidakseimbangan ini adalah penting untuk membangunkan strategi kesihatan awam yang

adil yang melindungi semua kanak-kanak tanpa mengira latar belakang mereka daripada kesan buruk obesogen.

Strategi Mitigasi Terkini dan Polisi Peraturan Polisi Peraturan

Usaha untuk mengurangkan risiko yang berkaitan dengan pendedahan kepada bahan kimia obesogen telah membawa kepada pelaksanaan pelbagai polisi peraturan di seluruh dunia. Banyak negara telah menyedari potensi bahaya yang ditimbulkan oleh bahan kimia ini terhadap kesihatan, terutamanya bagi kanak-kanak yang sedang dalam peringkat perkembangan. Oleh itu, mereka telah melaksanakan langkah-langkah pengawalan yang bertujuan untuk melindungi masyarakat daripada kesan buruk pendedahan kepada bahan kimia obesogen.

Sebagai contoh, negara maju seperti Kesatuan Eropah (EU) telah melaksanakan peraturan yang ketat mengenai penggunaan bahan kimia dalam produk pengguna melalui REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*). Di bawah peraturan ini, bahan kimia berbahaya, termasuk obesogen seperti BPA, telah diharamkan dalam produk kanak-kanak. REACH memerlukan semua pengeluar dan pengimport untuk mendaftar bahan kimia yang mereka gunakan dan membuktikan keselamatannya.^{35,36} Di Amerika Syarikat, beberapa negeri seperti California telah mengambil tindakan tegas dengan mengharamkan penggunaan BPA dalam botol bayi dan produk makanan. Langkah ini bertujuan untuk melindungi kesihatan kanak-kanak daripada risiko yang berkaitan dengan bahan kimia ini. Selain itu, BPA telah diharamkan atau dikawal ketat di beberapa negara maju lain termasuk Perancis, Kanada, Belgium, Denmark, dan Sweden, terutamanya dalam produk yang diperuntukkan untuk kegunaan kanak-kanak, seperti botol susu dan mainan. Langkah-langkah ini diambil sebagai tindak balas terhadap kebimbangan mengenai potensi bahaya BPA yang boleh mengganggu sistem endokrin dan menyumbang kepada masalah kesihatan seperti obesiti.^{37,38}

Selain itu, FDA (*Food and Drug Administration*) di Amerika Syarikat kini sedang menilai bahan kimia lain yang berpotensi bertindak sebagai obesogen, dan mereka sedang mengambil langkah-langkah untuk mengawal penggunaannya dalam produk makanan dan minuman bagi memastikan keselamatan pengguna, terutamanya kanak-kanak.³⁹ Manakala negara membangun seperti India turut mengambil langkah yang sewajarnya dengan mempunyai peraturan yang mengawal penggunaan bahan kimia dalam produk makanan dan minuman melalui *Food Safety and Standards Authority of India* (FSSAI).⁴⁰ Mereka telah mengkaji semula penggunaan beberapa bahan kimia berbahaya yang berpotensi menyebabkan

obesiti dan sedang berusaha untuk meningkatkan kesedaran mengenai risiko pendedahan kepada bahan kimia tersebut.⁴¹

Di Malaysia, terdapat beberapa langkah yang telah diambil untuk mengawal pendedahan kepada bahan kimia obesogen dan melindungi kesihatan awam terutamanya terhadap pendedahan kepada kanak-kanak. Kerajaan Malaysia telah memutuskan untuk mengharamkan penjualan susu botol bayi polikarbonat yang mengandungi Bisphenol A (BPA) berkuat kuasa 1 Mac 2012. Menurut Seksyen 27A Peraturan Makanan 1985: (1) Tiada seorang pun boleh mengimport, mengeluarkan atau mengiklankan bagi jualan atau menjual sebarang botol susu mengandungi Bisphenol A (BPA). (2) Perkataan "Bebas BPA" mungkin dilabelkan ke atas botol susu atau di atas bungkusan botol susu yang tidak mengandungi Bisphenol A (BPA).⁴²

Selain itu, Bahagian Mutu dan Keselamatan Makanan, Malaysia (*Food Safety and Quality Division*) telah memperkenalkan garis panduan keselamatan makanan yang merangkumi pengawalan terhadap bahan kimia berbahaya dalam makanan serta program kesedaran awam mengenai pemakanan sihat, risiko pendedahan kepada bahan kimia berbahaya, termasuk beberapa bahan kimia yang dikaitkan dengan obesiti.⁴³

Walaupun langkah-langkah ini menunjukkan kemajuan, masih terdapat keperluan untuk memperkukuh kerangka peraturan dan mengembangkan polisi yang lebih komprehensif bagi mengawal pendedahan kepada pelbagai jenis bahan kimia obesogen. Kerjasama antara kerajaan, industri, dan masyarakat adalah penting dalam membangunkan strategi yang berkesan untuk melindungi kesihatan rakyat Malaysia daripada kesan negatif pendedahan kepada bahan kimia ini.

Kesedaran dan Pendidikan Pengguna

Meningkatkan kesedaran dan pendidikan pengguna adalah penting dalam mengurangkan pendedahan kanak-kanak kepada obesogen. Ibu bapa, sekolah, dan komuniti memainkan peranan penting dalam mempromosikan pilihan penggunaan bahan yang lebih selamat dan meminimumkan risiko pendedahan. Inisiatif seperti kempen maklumat tentang bahaya bahan kimia tertentu dalam produk harian boleh membantu keluarga untuk membuat keputusan yang bijak tentang tabiat pemakanan mereka. Selain itu, sekolah boleh melaksanakan polisi untuk menghadkan penggunaan bekas plastik dan menggalakkan penggunaan alternatif yang lebih selamat. Dengan membudayakan kesedaran dan tingkah laku proaktif, komuniti boleh bekerjasama untuk mengurangkan insiden obesiti kanak-kanak yang berkaitan dengan pendedahan bahan kimia.^{44,45}

Keperluan Penyelidikan dan Pemantauan

Walaupun kemajuan telah dicapai dalam memahami pendedahan obesogen, terdapat kekurangan yang ketara dalam usaha penyelidikan dan pemantauan. Kajian longitudinal yang menjejaki pendedahan dan hasil kesihatan adalah perlu untuk menerangkan kesan jangka panjang obesogen terhadap obesiti kanak-kanak. Tambahan pula, kaedah yang piawai untuk mengukur tahap pendedahan dalam pelbagai jenis populasi adalah penting untuk penilaian risiko yang tepat.

Pemantauan tahap obesogen yang berterusan dalam persekitaran dan produk pengguna dapat membantu mengenal pasti ancaman baru dan memaklumkan perubahan peraturan. Memperkukuh usaha penyelidikan dalam bidang ini akan menyumbang kepada pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pendedahan obesogen dan implikasi kesihatannya.

Kesimpulan dan Hala Tuju Masa Hadapan

Bukti yang mengaitkan pendedahan obesogen kepada obesiti kanak-kanak adalah kukuh, dan ini menandakan keperluan mendesak untuk menangani isu kesihatan awam ini. Melindungi kanak-kanak daripada bahan kimia berbahaya adalah penting untuk memupuk generasi yang lebih sihat⁴⁶. Penyelidikan masa hadapan harus memberi tumpuan kepada kesan sinergistik beberapa obesogen, kerana interaksi antara bahan kimia mungkin meningkatkan potensi obesogenik mereka. Di samping itu, kajian longitudinal diperlukan untuk menjejaki hasil kesihatan dari semasa ke semasa, memberikan wawasan penting tentang akibat jangka panjang pendedahan.

Tambahan pula, perubahan polisi global adalah penting untuk mengawal penggunaan bahan kimia obesogenik secara berkesan. Kempen kesedaran awam boleh dipertingkatkan untuk mendidik komuniti tentang risiko yang berkaitan dengan pendedahan obesogen, membantu individu untuk membuat pilihan yang lebih sihat. Dengan mengutamakan penyelidikan, pembaharuan polisi, dan penglibatan komuniti, kita dapat bekerja ke arah masa hadapan yang lebih sihat untuk kanak-kanak di seluruh dunia, bebas daripada beban obesiti dan komplikasi kesihatan yang berkaitan.

KEKUATAN DAN KELEMAHAN KAJIAN

Kajian ini mempunyai beberapa kekuatan yang signifikan. Ulasan ini menyediakan sintesis komprehensif terhadap bukti saintifik dari pelbagai kajian epidemiologi dan eksperimen, yang memberikan pemahaman mendalam tentang hubungan antara obesogen kimia dan obesiti kanak-kanak. Penekanan terhadap implikasi kesihatan awam dan populasi rentan seperti kanak-kanak menjadikan hasil kajian ini relevan dan bermanfaat bagi penggubal dasar dan profesional kesihatan.

Selain itu, topik yang dibincangkan adalah terkini dan penting dalam menangani peningkatan prevalens obesiti kanak-kanak, khususnya dalam konteks faktor persekitaran. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa kelemahan dalam kajian ini. Sebagai ulasan naratif, metodologi carian yang digunakan tidak mengikuti protokol sistematik, yang mungkin menghadkan penghasilan semula kajian ini dan memperkenalkan bias pemilihan dalam pemilihan artikel. Selain itu, ulasan ini tidak menjalankan penilaian kritikal terhadap kualiti kajian yang disertakan, yang berpotensi mempengaruhi kekukuhan kesimpulan yang dirumuskan.

PENGHARGAAN

Kami ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Jabatan Perubatan Kesihatan Awam, Fakulti Perubatan, Universiti Kebangsaan Malaysia, atas bimbingan pakar serta sokongan teknikal yang cemerlang sepanjang projek ini. Sumbangan mereka terutamanya Penasihat Akademik amat penting dalam mencapai matlamat penyelidikan kami, dan kami sangat menghargai bantuan serta sokongan yang telah diberikan.

RUJUKAN

1. Organization WH. Obesity and Overweight WHO; 2024 [Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>].
2. Di Cesare M, Soric M, Bovet P, Miranda JJ, Bhutta Z, Stevens GA, et al. The epidemiological burden of obesity in childhood: a worldwide epidemic requiring urgent action. *BMC Med.* 2019;17(1):212.
3. Aslan AA, Sula N. Overweight and Obesity Among Children: A Relationship Between Maternal Beliefs and Feeding Practices With Children's Body Mass Index-for-Age in Bandar and Jugra Kuala Langat Selangor. *Malaysian Journal of Medicine & Health Sciences.* 2020;16(6).
4. Bendor CD, Bardugo A, Pinhas-Hamiel O, Afek A, Twig G. Cardiovascular morbidity, diabetes and cancer risk among children and adolescents with severe obesity. *Cardiovascular Diabetology.* 2020;19(1):79.
5. Egusquiza RJ, Blumberg B. Environmental obesogens and their impact on susceptibility to obesity: new mechanisms and chemicals. *Endocrinology.* 2020;161(3).
6. La Merrill M, Birnbaum LS. Childhood obesity and environmental chemicals. *Mount Sinai Journal of Medicine: a Journal of translational and personalized medicine.* 2011;78(1):22-48.

7. Shahnazaryan U, Wójcik M, Bednarczuk T, Kuryłowicz A. Role of Obesogens in the Pathogenesis of Obesity. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(9).
8. Nettore IC, Franchini F, Palatucci G, Macchia PE, Ungaro P. Epigenetic Mechanisms of Endocrine-Disrupting Chemicals in Obesity. *Biomedicines*. 2021;9(11).
9. Amato AA, Wheeler HB, Blumberg B. Obesity and endocrine-disrupting chemicals. *Endocrine connections*. 2021;10(2):R87-R105.
10. Entezari B, Bozdağ D, Güreer-orhan H. Obesogens: Definition, mechanisms of action, potential industrial chemicals and pharmaceuticals. *Istanbul Journal of Pharmacy*. 2022;52(2):215-25.
11. Heindel JJ, Newbold R, Schug TT. Endocrine disruptors and obesity. *Nature Reviews Endocrinology*. 2015;11(11):653-61.
12. Veiga-Lopez A, Pu Y, Gingrich J, Padmanabhan V. Obesogenic Endocrine Disrupting Chemicals: Identifying Knowledge Gaps. *Trends Endocrinol Metab*. 2018;29(9):607-25.
13. Di Gregorio I, Busiello RA, Burgos Aceves MA, Lepretti M, Paoletta G, Lionetti L. Environmental Pollutants Effect on Brown Adipose Tissue. *Front Physiol*. 2018;9:1891.
14. Dalamaga M, Kounatidis D, Tsilingiris D, Vallianou NG, Karampela I, Psallida S, et al. The Role of Endocrine Disruptors Bisphenols and Phthalates in Obesity: Current Evidence, Perspectives and Controversies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(1):675.
15. Kurşunoğlu NE, Sarer Yurekli BP. Endocrine disruptor chemicals as obesogen and diabetogen: Clinical and mechanistic evidence. *World J Clin Cases*. 2022;10(31):11226-39.
16. Yeung AY, Tadi P. Physiology, Obesity Neurohormonal Appetite And Satiety Control. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; January 3, 2023.
17. Shahnazaryan U, Wójcik M, Bednarczuk T, Kuryłowicz A. Role of obesogens in the pathogenesis of obesity. *Medicina*. 2019;55(9):515.
18. Nadal A, Quesada I, Tuduri E, Nogueiras R, Alonso-Magdalena P. Endocrine-disrupting chemicals and the regulation of energy balance. *Nature Reviews Endocrinology*. 2017;13(9):536-46.
19. Kladnicka I, Bludovska M, Plavinova I, Muller L, Mullerova D. Obesogens in foods. *Biomolecules*. 2022;12(5):680.
20. Cimmino I, Fiory F, Perruolo G, Miele C, Beguinot F, Formisano P, et al. Potential Mechanisms of Bisphenol A (BPA) Contributing to Human Disease. *Int J Mol Sci*. 2020;21(16).
21. Legeay S, Faure S. Is bisphenol A an environmental obesogen? *Fundamental & clinical pharmacology*. 2017;31(6):594-609.
22. Ćurčić M, Esteban J, Cakmak G, Durgo K, Baralić K, Živanović J, et al. Environmental pollutants and the obesity: proven causalities and open questions. *Archives of Pharmacy*. 2024;74(Notebook 3):426-35.
23. Pérez-Albaladejo E, Lacorte S, Porte C. Differential toxicity of alkylphenols in JEG-3 human placental cells: alteration of P450 aromatase and cell lipid composition. *Toxicological Sciences*. 2019;167(2):336-46.
24. Cano-Sancho G, Salmon AG, La Merrill MA. Association between exposure to p, p'-DDT and its metabolite p, p'-DDE with obesity: integrated systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*. 2017;125(9):096002.
25. Darbre PD, Harvey PW. Parabens can enable hallmarks and characteristics of cancer in human breast epithelial cells: a review of the literature with reference to new exposure data and regulatory status. *Journal of Applied Toxicology*. 2014;34(9):925-38.
26. Ruhlen RL, Howdeshell KL, Mao J, Taylor JA, Bronson FH, Newbold RR, et al. Low phytoestrogen levels in feed increase fetal serum estradiol resulting in the "fetal estrogenization syndrome" and obesity in CD-1 mice. *Environmental health perspectives*. 2008;116(3):322-8.
27. Bateman ME, Strong AL, McLachlan JA, Burow ME, Bunnell BA. The effects of endocrine disruptors on adipogenesis and osteogenesis in mesenchymal stem cells: a review. *Frontiers in endocrinology*. 2017;7:171.
28. Flaws J, Damdimopoulou P, Patisaul HB, Gore A, Raetzman L, Vandenberg LN. Plastics, EDCs and health. *Endocrine Society: Washington, DC, USA*. 2020.
29. Nelson SM, Matthews P, Poston L. Maternal metabolism and obesity: modifiable determinants of pregnancy outcome. *Human reproduction update*. 2010;16(3):255-75.

30. Heindel JJ. History of the obesogen field: looking back to look forward. *Frontiers in endocrinology*. 2019;10:14.
31. Kassotis CD, Hoffman K, Stapleton HM. Characterization of adipogenic activity of house dust extracts and semi-volatile indoor contaminants in 3T3-L1 cells. *Environmental science & technology*. 2017;51(15):8735-45.
32. Trasande L, Attina TM, Blustein J. Association between urinary bisphenol A concentration and obesity prevalence in children and adolescents. *Jama*. 2012;308(11):1113-21.
33. Lauritzen HB, Larose TL, Øien T, Sandanger TM, Odland JØ, Van de Bor M, et al. Prenatal exposure to persistent organic pollutants and child overweight/obesity at 5-year follow-up: a prospective cohort study. *Environmental Health*. 2018;17:1-12.
34. Moon MK, Jeong I-K, Jung Oh T, Ahn HY, Kim HH, Park YJ, et al. Long-term oral exposure to bisphenol A induces glucose intolerance and insulin resistance. *J Endocrinol*. 2015;226(1):35-42.
35. Batista TM, Alonso-Magdalena P, Vieira E, Amaral MEC, Cederroth CR, Nef S, et al. Short-term treatment with bisphenol-A leads to metabolic abnormalities in adult male mice. *PloS one*. 2012;7(3):e33814.
36. Goerdeler C, Engelmann B, Aldehoff AS, Schaffert A, Blüher M, Heiker JT, et al. Metabolomics in human SGBS cells as new approach method for studying adipogenic effects: Analysis of the effects of DINCH and MINCH on central carbon metabolism. *Environmental Research*. 2024;252:118847.
37. Chou Y-C, Cheng F-S, Weng S-H, Yen Y-F, Hu H-Y. Impact of household income on the risk of overweight and obesity over time among preschool-aged children: a population-based cohort study. *BMC Public Health*. 2024;24(1):549.
38. Hemmingsson E. Early Childhood Obesity Risk Factors: Socioeconomic Adversity, Family Dysfunction, Offspring Distress, and Junk Food Self-Medication. *Curr Obes Rep*. 2018;7(2):204-9.
39. Pineda S, Lignell S, Gyllenhammar I, Lampa E, Benskin JP, Lundh T, et al. Socio-demographic inequalities influence differences in the chemical exposome among Swedish adolescents. *Environment International*. 2024;186:108618.
40. Greim H. European regulations for compounds and products. In: Wexler P, editor. *Encyclopedia of Toxicology* (Fourth Edition). Oxford: Academic Press; 2024. p. 543-7.
41. Pereira M, Macmillan DS, Willett C, Seidle T. REACHing for solutions: Essential revisions to the EU chemicals regulation to modernise safety assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2022;136:105278.
42. Boudalia S, Oudir M. Bisphenol-A: Legislation in industrial countries and in Algeria. *Res J Environ Toxicol*. 2016;10:189-92.
43. Mandel ND, Gamboa-Loira B, Cebrián ME, Mérida-Ortega Á, López-Carrillo L. Challenges to regulate products containing bisphenol A: Implications for policy. *Salud pública de México*. 2019;61(5):692-7.
44. Federal Food D, and Cosmetic Act Understanding How the FDA Regulates Food Additives and GRAS Ingredients 2024 [Available from: <https://www.fda.gov/food/food-additives-and-gras-ingredients-information-consumers/understanding-how-fda-regulates-food-additives-and-gras-ingredients>].
45. Dhara D, Biswas S, Das S, Biswas O. Status of food safety and food security in India in the perspective of FSSAI. *Indian J Anim Health*. 2021;60(2):167-73.
46. Yang H. Food safety in India: status and challenges. *Gates Open Res*. 2019;3(1043):1043.