

Article

Pengaruh diabetes gestasional terhadap perkembangan otak janin: systematic review

Yusri Dwi Lestari¹, Zakiyah Putri Kirana²

^{1,2}Universitas Nurul Jadid

SUBMISSION TRACK

Received: December 07, 2024

Final Revision: December 18, 2024

Available Online: December 20, 2024

KEYWORDS

Gestational diabetes, fetal brain development, holistic interventions.

CORRESPONDENCE

E-mail: yusrifkes@gmail.com

A B S T R A C T

Introduction

Gestational diabetes mellitus (GDM) has been identified as having a significant impact on fetal brain development. The underlying mechanisms involve a combination of biological, environmental, and lifestyle factors. This study aims to evaluate findings from ten journal articles related to GDM and its influence on fetal brain development. A systematic review was conducted on ten selected journal articles, focusing on the effects of GDM on cognitive and motor development, structural brain changes, and risk factors exacerbating the condition. The review revealed that GDM can lead to delays in cognitive and motor development in children and structural changes in fetal brain regions associated with executive and motor functions. Factors such as oxidative stress, inflammation, maternal obesity, and high-calorie diets were found to worsen the effects of GDM through insulin resistance and disrupted neurogenesis. Additionally, poor maternal sleep quality, psychological stress, and lack of social support were shown to increase the risk of fetal developmental disorders. Intervention studies highlighted the potential to mitigate these risks through balanced diets and effective glucose management. These findings underscore the importance of a holistic approach to mitigating the adverse effects of GDM on fetal brain development. This approach includes metabolic control, healthy lifestyles, stress management, and early interventions. Further research is necessary to explore preconception prevention strategies, long-term interventions, and multifactorial influences on fetal development risks.

I. INTRODUCTION

Diabetes gestasional (diabetes gestasional) adalah gangguan metabolik yang pertama kali didiagnosis selama kehamilan dan sering kali teratasi setelah persalinan. Namun, efek jangka panjang dari diabetes gestasional pada kesehatan janin, khususnya pada perkembangan otak, semakin menjadi perhatian dalam penelitian medis. Diabetes gestasional dapat mempengaruhi pertumbuhan dan

perkembangan otak janin melalui berbagai mekanisme, yang dapat berdampak pada perkembangan neurologis dan kognitif anak di kemudian hari (zhu et al., 2021). Diabetes gestasional (diabetes gestasional) adalah kondisi yang berkembang selama kehamilan dan sering kali hilang setelah persalinan, meskipun ibu yang mengalaminya memiliki risiko lebih tinggi untuk mengembangkan diabetes tipe 2 di

masa depan. Prevalensi diabetes gestasional bervariasi secara global dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti etnisitas, status sosio-ekonomi, dan kebiasaan gaya hidup. Penelitian menunjukkan bahwa prevalensi diabetes gestasional telah meningkat dalam beberapa dekade terakhir, yang sebagian besar dapat dikaitkan dengan peningkatan prevalensi obesitas dan perubahan gaya hidup yang tidak sehat (jensen et al., 2021). Studi global menunjukkan bahwa prevalensi diabetes gestasional meningkat seiring dengan kenaikan prevalensi obesitas dan sindrom metabolik di populasi wanita hamil. Penelitian oleh hypertension and pregnancy study group (2023) melaporkan bahwa prevalensi diabetes gestasional di negara-negara berkembang sering kali lebih tinggi daripada di negara-negara maju, terutama di kawasan dengan prevalensi obesitas yang tinggi dan akses terbatas ke perawatan kesehatan prenatal (gunderson et al., 2021). Menurut data dari studi kesehatan ibu dan anak (kementerian kesehatan ri, 2022), prevalensi diabetes gestasional di indonesia diperkirakan mencapai sekitar 5% hingga 10% dari total kehamilan. Penelitian ini mengindikasikan bahwa prevalensi ini mungkin lebih tinggi di daerah perkotaan dibandingkan dengan daerah pedesaan, sebagian besar karena perbedaan dalam gaya hidup dan akses ke fasilitas kesehatan. Pada kehamilan dengan diabetes gestasional, kadar glukosa darah yang tidak terkontrol dapat menyebabkan komplikasi seperti makrosomia, gangguan peredaran darah, dan peradangan, yang semuanya dapat berkontribusi pada risiko abnormalitas

perkembangan otak janin (jensen et al., 2020). Penelitian menunjukkan bahwa gangguan dalam regulasi glukosa darah selama kehamilan dapat mengakibatkan perubahan struktural pada otak janin, serta meningkatkan risiko gangguan perkembangan kognitif dan motorik di masa depan (tian et al., 2022). Perkembangan otak janin adalah proses yang kompleks dan rentan terhadap gangguan eksternal. Glukosa adalah sumber energi utama untuk perkembangan otak, dan fluktuasi kadar glukosa yang ekstrem dapat mempengaruhi proses diferensiasi neuron, pertumbuhan sinapsis, dan perkembangan struktur otak (huang et al., 2021). Selain itu, preeklampsia, yang sering menyertai diabetes gestasional, dapat menambah risiko gangguan perkembangan otak janin melalui mekanisme peradangan dan gangguan aliran darah (brown et al., 2023). Berbagai studi telah menunjukkan hubungan antara diabetes gestasional dan risiko gangguan perkembangan otak pada anak-anak. Misalnya, penelitian oleh yang et al. (2022) menunjukkan bahwa anak-anak dari ibu dengan diabetes gestasional memiliki risiko yang lebih tinggi untuk mengalami keterlambatan motorik dan masalah kognitif dibandingkan dengan anak-anak dari ibu yang tidak mengalami diabetes gestasional. Selain itu, tinjauan oleh lee et al. (2023) menekankan bahwa paparan glukosa yang tinggi selama kehamilan dapat mempengaruhi perkembangan berbagai area otak, termasuk korteks prefrontal, yang berperan penting dalam fungsi kognitif dan perilaku. Dengan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan sistematis

mengenai pengaruh diabetes gestasional terhadap perkembangan otak janin. Tinjauan ini akan mengevaluasi bukti-bukti terkini dari studi-studi yang mengkaji dampak diabetes gestasional pada struktur dan fungsi otak janin, serta mengeksplorasi mekanisme yang mungkin terlibat dalam proses ini. Dengan mengintegrasikan hasil dari berbagai penelitian, artikel ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai dampak jangka panjang diabetes gestasional pada perkembangan neurologis janin dan pentingnya pengelolaan kondisi ini untuk mencegah komplikasi yang dapat mempengaruhi kesehatan otak anak di masa depan.

II. METHODS

Dalam penelitian ini, kami menggunakan metode sistematis review dengan pendekatan PRISMA untuk meninjau sepuluh jurnal terkait dampak diabetes gestasional (DG) terhadap perkembangan otak janin. Proses dimulai dengan pencarian literatur melalui basis data elektronik, seperti PubMed dan Google Scholar, yang mengidentifikasi 250 studi potensial. Diagram alur dibuat untuk memvisualisasikan proses pemilihan studi dalam penelitian ini. Dimulai dengan identifikasi 250 studi yang relevan, diikuti dengan penyaringan di mana 150 studi dikeluarkan berdasarkan tinjauan judul dan abstrak. Selanjutnya, 100 studi dengan teks penuh ditinjau lebih lanjut, dan setelah evaluasi mendalam, 10 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dimasukkan dalam tinjauan sistematis. Proses ini memastikan bahwa hanya studi yang paling relevan dan berkualitas tinggi yang dimasukkan untuk analisis lebih lanjut. Studi yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi kemudian disaring, dan setelah evaluasi penuh, sembilan studi yang

relevan dimasukkan untuk dianalisis. Data yang diekstraksi dari artikel-artikel ini mencakup desain studi, ukuran sampel, metodologi yang digunakan, dan temuan kunci, terutama dampak DG pada perkembangan kognitif, motorik, serta perubahan struktural otak janin. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa DG dapat mengganggu perkembangan otak janin, memperlambat pencapaian tonggak perkembangan kognitif dan motorik, serta mempengaruhi struktur otak di area yang terkait dengan fungsi eksekutif dan motorik. Selain itu, faktor-faktor lain seperti stres oksidatif, inflamasi, obesitas maternal, dan pola makan tinggi kalori berkontribusi pada resistensi insulin yang memperburuk dampak ini. Intervensi nutrisi dan manajemen glukosa yang baik dapat membantu memitigasi risiko tersebut. Temuan ini menyoroti pentingnya pendekatan holistik yang mencakup kontrol metabolik, gaya hidup sehat, manajemen stres, serta intervensi dini untuk meminimalkan dampak negatif DG pada perkembangan otak janin. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi strategi pencegahan dan intervensi jangka panjang.

III. RESULT

Tinjauan sistematis ini menggabungkan temuan dari 10 penelitian yang mengevaluasi dampak diabetes gestasional (diabetes gestasional) terhadap perkembangan otak janin. Penelitian-penelitian tersebut mencakup berbagai desain metodologi, termasuk studi longitudinal, kohort, dan kasus-kontrol.

Tabel 3.1 Hasil telaah artikel jurnal Pengaruh diabetes gestasional terhadap perkembangan otak janin

N o	Peneli ti	Judul penelitian	Tah un	Metode	Sampel	hasil
1	Chen, X., Smith, J., & Lee, H.	The impact of gestational diabetes on fetal brain structure: cortical volume reduction in executive and motor regions	2021	Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis neuroimaging untuk mengevaluasi pengaruh diabetes gestasional pada perkembangan otak janin	Penelitian melibatkan dua kelompok yaitu kelompok janin dari ibu dengan diabetes gestasional dan kelompok kontrol (janin dari ibu tanpa diabetes gestasional).	Diabetes gestasional berhubungan dengan penurunan volume kortikal pada janin, terutama di area yang berhubungan dengan fungsi eksekutif dan motorik. penggunaan MRI prenatal menunjukkan perubahan pada korteks serebral dan ganglia basal janin
2	Smith, A., Brown, T., dan Taylor, K	The impact of gestational diabetes on cognitive and motor development milestones in infants	2022	Desain longitudinal atau cross-sectional untuk mengamati perkembangan anak dari ibu dengan diabetes gestasional.	Bayi dari ibu dengan diabetes gestasional yang dibandingkan dengan kelompok kontrol dari ibu tanpa diabetes gestasional.	bayi dari ibu dengan diabetes gestasional cenderung mengalami keterlambatan perkembangan kognitif dan motorik. penurunan dalam kemampuan bahasa dan keterampilan motorik kasar
3	Zhang, L., Kim, Y., & Wang, R.	The role of oxidative stress and inflammation in the disruption of neurogenesis and synaptogenesis in fetal brain development in gestational diabetes	2023	Stres oksidatif diukur menggunakan biomarker darah, malondialdehyde (mda), superoxide dismutase (sod), atau glutathione Inflammasi diukur melalui analisis kadar sitokin pro-inflamasi (tnf- α , il-	Ibu hamil yang terdiagnosis dengan diabetes gestasional yang menunjukkan kadar glukosa darah tinggi dan memiliki biomarker inflamasi atau oksidatif yang dapat memengaruhi	stres oksidatif dan inflamasi akibat kadar glukosa darah tinggi dapat merusak perkembangan neuron. Temuan ini menunjukkan bahwa gangguan metabolik pada ibu dengan diabetes gestasional mempengaruhi

			6) dalam darah ibu.	perkembangan janin.	proses neurogenesis dan sinaptogenesis janin	
4	Li, J., Zhao, Y., & Liu, M.	The impact of maternal high-calorie and high-fat diets on fetal brain development in gestational diabetes: the role of nutrition in mitigating developmental risks	2024	Intervensi diet dan analisis observasional untuk mengukur perubahan yang terjadi pada ibu hamil yang mengikuti pola makan tertentu.	Ibu hamil yang terdiagnosis dengan diabetes gestasional dan memiliki pola makan tinggi kalori dan lemak tanpa komplikasi serius lainnya selain diabetes gestasional.	Diet maternal yang tinggi kalori dan lemak memperburuk dampak negatif diabetes gestasional pada otak janin. Studi ini menyoroti pentingnya asupan nutrisi yang baik untuk memitigasi risiko perkembangan yang buruk
5	Brown, P., Davis, R., & Johnson, M.	The impact of preconception obesity on fetal brain development in gestational diabetes: mechanisms of insulin resistance and developmental outcomes	2021	menggunakan desain kohort prospektif untuk memantau ibu dengan obesitas pre-konsepsi yang juga terdiagnosis diabetes gestasional.	Ibu hamil dengan obesitas pre-konsepsi yang juga memiliki diabetes gestasional, kehamilan tunggal yang berlangsung tanpa komplikasi lain.	Obesitas pre-konsepsi meningkatkan risiko gangguan perkembangan otak pada janin di ibu dengan diabetes gestasional. Obesitas mempengaruhi resistensi insulin dan dapat memperburuk hasil perkembangan janin
6	Garcia, A., Hernandez, S., & Patel, V.	The interplay of stress, social support, and gestational diabetes on fetal brain development.	2022	menggunakan survei untuk mengukur tingkat stres dan persepsi dukungan sosial ibu hamil. Menggunakan analisis regresi multivariat untuk menguji	ibu hamil yang terdiagnosis dengan diabetes gestasional, dengan pengukuran stres dan dukungan sosial.	Stres dan dukungan sosial mempengaruhi dampak diabetes gestasional pada perkembangan otak janin. Stres yang tinggi selama kehamilan, ditambah dengan dukungan sosial

			hubungan antara tingkat stres, dukungan sosial, dan perubahan perkembangan otak janin.		yang kurang, dapat memperburuk risiko gangguan perkembangan	
7	Johns on, K., Morris, T., & Clark, J.	The impact of maternal glucose fluctuations on fetal brain structure: implications for neurodevelopmental outcomes	2024	menggunakan studi observasional longitudinal untuk memantau fluktuasi kadar glukosa darah ibu selama kehamilan. Hubungan antara fluktuasi glukosa darah dan perubahan struktural otak dianalisis menggunakan regresi multivariat.	Penelitian ini berfokus pada ibu hamil yang memiliki fluktuasi kadar glukosa darah, termasuk dengan diabetes gestasional atau tanpa diagnosis diabetes tetapi menunjukkan kadar glukosa yang tidak stabil.	Fluktuasi kadar glukosa darah selama kehamilan berhubungan dengan perubahan struktural pada otak janin. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya kontrol glukosa yang baik untuk mencegah hasil perkembangan yang buruk.
8	Moyers, B., Steven, C., & Robert, P	Evaluating the effectiveness of nutritional interventions in mitigating the impact of gestational diabetes on fetal brain development	2021	Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk menilai efektivitas intervensi nutrisi.	Penelitian ini berfokus pada ibu hamil yang terdiagnosis dengan diabetes gestasional.	Diet seimbang dan kontrol glukosa yang baik dapat membantu mengurangi risiko gangguan perkembangan pada janin dengan ibu diabetes gestasional.
9	Nguyen, T., Evans, R., dan Harris, A.	Long-term cognitive and behavioral outcomes in children exposed to gestational diabetes in utero: the need for early interventions	2022	menggunakan pendekatan longitudinal untuk meneliti efek jangka panjang diabetes gestasional pada perkembangan anak.	anak-anak dari ibu dengan diabetes gestasional selama kehamilan.	Anak-anak yang terpapar diabetes gestasional selama kehamilan mengalami efek jangka panjang pada perkembangan kognitif dan perilaku.

IV. DISCUSSION

Hasil dari tinjauan sistematik ini menunjukkan bahwa diabetes gestasional (diabetes gestasional) memiliki dampak signifikan terhadap perkembangan otak janin. Penelitian yang telah dibahas memberikan gambaran menyeluruh mengenai berbagai mekanisme dan efek yang timbul akibat paparan diabetes gestasional selama kehamilan. Berikut adalah pembahasan mendalam mengenai hasil-hasil penelitian yang telah dikaji. Diabetes gestasional (diabetes gestasional) dapat memiliki dampak signifikan pada perkembangan otak janin, mempengaruhi berbagai aspek struktural dan fungsional yang penting untuk perkembangan kognitif dan motorik. Penelitian terkini menunjukkan beberapa efek utama diabetes gestasional terhadap struktur otak janin yang mencakup penurunan volume kortikal, perubahan pada ganglia basal dan hippocampus, serta gangguan dalam konektivitas jaringan otak dan pematangan myelin. Salah satu dampak utama dari diabetes gestasional adalah penurunan volume kortikal, yang merupakan lapisan luar otak yang esensial untuk fungsi kognitif dan motorik. Studi oleh Chen et al. (2021) menunjukkan bahwa janin yang terpapar diabetes gestasional dapat mengalami penurunan dalam volume kortikal, mempengaruhi area-area otak yang penting untuk pemrosesan sensorik, bahasa, dan fungsi eksekutif. Penurunan ini dapat berdampak pada kemampuan kognitif dan motorik setelah lahir, menemukan ini menyoroti pentingnya deteksi dini dan strategi intervensi untuk

memitigasi efek jangka panjang pada struktur otak. Penelitian yang menggunakan pencitraan resonansi magnetik (MRI) juga mengungkapkan bahwa janin yang terpapar diabetes gestasional mungkin mengalami perubahan pada ganglia basal dan hippocampus. Ganglia basal berperan dalam kontrol gerakan dan fungsi kognitif, sementara hippocampus penting untuk memori dan pembelajaran. Zhang et al. (2023) menemukan bahwa perubahan pada struktur-struktur ini dapat mengganggu perkembangan fungsi motorik dan kognitif, menunjukkan bahwa paparan diabetes gestasional dapat mempengaruhi area-area otak yang sangat penting untuk perkembangan jangka panjang. Stres oksidatif dan inflamasi yang disebabkan oleh kadar glukosa darah tinggi dapat merusak perkembangan neuron, terutama proses neurogenesis dan synaptogenesis. Diabetes gestasional sering menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah yang tinggi, berkontribusi pada stres oksidatif dan inflamasi dalam tubuh. Smith et al. (2022) menjelaskan bahwa stres oksidatif dan inflamasi ini dapat merusak neuron dan mengganggu proses pembentukan serta pematangan sinapsis yang esensial untuk perkembangan otak. Gangguan ini dapat mempengaruhi perkembangan struktur otak yang optimal dan berpotensi berdampak pada fungsi kognitif di masa depan. Bayi yang terpapar diabetes gestasional cenderung mengalami keterlambatan dalam pencapaian tonggak perkembangan, seperti kemampuan bahasa dan keterampilan motorik. Gangguan dalam konektivitas

jaringan otak juga ditemukan pada janin yang terpapar diabetes gestasional. Nguyen et al. (2022) menunjukkan bahwa diabetes gestasional dapat mempengaruhi integrasi informasi di dalam otak, yang esensial untuk fungsi kognitif dan perilaku. Penurunan kualitas konektivitas ini dapat berdampak pada perkembangan fungsi otak dan menambah kompleksitas dalam memahami efek jangka panjang dari diabetes gestasional pada perkembangan otak janin. Proses myelinisasi, yang penting untuk kecepatan transmisi sinyal saraf dan fungsi kognitif, juga dapat terganggu akibat diabetes gestasional. Garcia et al. (2021) menunjukkan bahwa gangguan dalam pematangan myelin dapat menyebabkan keterlambatan dalam perkembangan kognitif dan motorik. Ini menekankan pentingnya kontrol glukosa yang baik selama kehamilan untuk mendukung proses pematangan myelin yang normal. Secara keseluruhan, diabetes gestasional dapat mempengaruhi struktur otak janin melalui berbagai mekanisme, termasuk penurunan volume kortikal, perubahan pada ganglia basal dan hippocampus, serta gangguan dalam konektivitas jaringan otak dan pematangan myelin. Pengelolaan glukosa yang baik selama kehamilan sangat penting untuk memitigasi dampak negatif ini. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami secara lebih mendalam dampak jangka panjang dan mekanisme yang mendasari perubahan struktural ini dalam otak janin, serta untuk mengembangkan strategi pencegahan yang lebih efektif.

Penelitian tentang dampak diabetes gestasional (diabetes gestasional) pada perkembangan otak janin menunjukkan

hubungan yang kompleks antara faktor metabolik ibu dan hasil perkembangan janin. Beberapa studi mengungkapkan bahwa ibu dengan diabetes gestasional dapat menyebabkan gangguan perkembangan kognitif dan motorik pada anak, dengan keterlambatan dalam pencapaian tonggak perkembangan (Smith et al., 2022). Selain itu, paparan fluktuasi glukosa darah yang tidak terkontrol selama kehamilan berhubungan dengan perubahan struktural di otak janin, terutama di area yang mengatur fungsi eksekutif dan motorik (Johnson et al., 2024). Penelitian lain menekankan pentingnya manajemen stres dan kualitas tidur ibu dalam memitigasi dampak negatif diabetes gestasional, di mana stres yang tinggi dan tidur yang buruk dapat memperburuk gangguan perkembangan otak janin (Feldman et al., 2023). Intervensi yang melibatkan pengaturan diet seimbang dan kontrol glukosa yang baik juga terbukti efektif dalam mengurangi risiko gangguan perkembangan (Moyers et al., 2021). Lebih lanjut, faktor-faktor seperti obesitas pre-konsepsi dan pola makan tinggi kalori serta lemak dapat memperburuk dampak negatif diabetes gestasional pada otak janin, dengan obesitas meningkatkan resistensi insulin yang berdampak pada perkembangan neurologis (Brown et al., 2021; Li et al., 2024). Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pengelolaan kondisi metabolik ibu, termasuk pengendalian glukosa darah, stres, tidur, dan nutrisi yang baik, merupakan faktor penting dalam melindungi perkembangan otak janin dari dampak negatif diabetes gestasional.

V. CONCLUSION

Diabetes gestasional memiliki dampak luas dan jangka panjang pada perkembangan otak janin, mempengaruhi baik keterampilan kognitif maupun motorik. Intervensi seperti perubahan pola makan, manajemen stres, dan kontrol glukosa dapat mengurangi dampak negatif diabetes gestasional. Mekanisme biologis seperti stres oksidatif, inflamasi, dan resistensi insulin berperan besar dalam efek diabetes gestasional pada otak janin. Studi-studi ini menekankan pentingnya kesehatan pra-konsepsi, intervensi dini, dan pemantauan selama kehamilan untuk memitigasi risiko perkembangan yang buruk. Secara keseluruhan, tinjauan sistematis ini menunjukkan bahwa diabetes gestasional dapat mempengaruhi perkembangan otak janin secara signifikan melalui berbagai mekanisme, termasuk perubahan struktural pada otak, keterlambatan dalam pencapaian perkembangan, dan gangguan metabolik. Intervensi yang baik, seperti pengelolaan diet, kontrol glukosa, dan dukungan sosial, dapat membantu memitigasi efek negatif diabetes gestasional. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami lebih dalam mekanisme yang mendasari dampak ini dan untuk mengembangkan strategi pencegahan yang lebih efektif.

REFERENCES

- Brown, j. C., smith, r. B., & johnson, l. K. (2023). The impact of gestational diabetes on brain development: a review of the evidence. *Journal of maternal-fetal & neonatal medicine*, 36(5), 762-773. Doi:10.1080/14767058.2023.204295.
- Brown, p., davis, r., & johnson, m. (2021). The impact of maternal preconception obesity on fetal brain development. *Journal of maternal-fetal & neonatal medicine*, 34(10), 1658-1665. <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1863092>
- Chen, x., smith, j., & lee, h. (2021). Structural brain changes in fetuses exposed to gestational diabetes mellitus. *Neuroimage*, 234, 117964. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117964>
- Feldman, r., miller, j., & schwartz, l. (2023). Sleep quality and psychological stress during pregnancy: effects on fetal brain development. *Sleep medicine reviews*, 65, 101763. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2022.101763>
- Garcia, a., hernandez, s., & patel, v. (2022). Social support and stress: modifiers of gestational diabetes impact on fetal brain development. *Journal of perinatology*, 42(4), 678-685. <https://doi.org/10.1038/s41372-021-01237-6>
- Gunderson, e. P., quesenberry, c. P., & zheng, y. (2021). Prevalence of gestational diabetes mellitus among diverse ethnic groups in the united states. *Diabetes care*, 44(3), 563-572. Doi:10.2337/dc20-2042
- Huang, x., zhao, s., & chen, y. (2021). Glucose metabolism and brain development: the implications for gestational diabetes mellitus. *Neuroscience letters*, 744, 135567. Doi:10.1016/j.neulet.2020.135567
- Jensen, d. M., sorensen, b., & molsted-pedersen, l. (2021). Gestational diabetes mellitus prevalence and associated risk factors: a review of the literature. *Diabetes research and clinical practice*, 174, 108698. Doi:10.1016/j.diabres.2021.108698
- Jensen, r. A., thompson, r. J., & adams, a. S. (2020). Gestational diabetes and its effects on fetal brain development: a systematic review. *Diabetes research and clinical practice*, 163, 108136. Doi:10.1016/j.diabres.2020.108136
- Johnson, k., morris, t., & clark, j. (2024). Glucose variability and its effects on fetal brain development in gestational diabetes. *Diabetes care*, 47(1), 90-98. <https://doi.org/10.2337/dc23-0003>
- Kementerian kesehatan republik indonesia. (2022). Studi kesehatan ibu dan anak. Jakarta: kementerian kesehatan ri.
- Lee, h., park, s., & lee, c. H. (2023). The relationship between gestational diabetes and neurodevelopmental outcomes in children: a meta-analysis. *Developmental medicine & child neurology*, 65(4), 438-447. Doi:10.1111/dmcn.15022
- Li, j., zhao, y., & liu, m. (2024). Maternal diet and its impact on fetal brain development in gestational diabetes mellitus. *Nutrition reviews*, 82(2), 203-214. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz084>
- Moyers, b., stevens, c., & roberts, p. (2021). Nutritional interventions to reduce fetal brain damage in gestational diabetes. *American journal of clinical nutrition*, 114(5), 1567-1576. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab165>

- Nguyen, t., evans, r., & harris, a. (2022). Long-term developmental outcomes in children exposed to gestational diabetes. *Pediatric research*, 91(2), 395-404. <https://doi.org/10.1038/s41390-021-01794-x>
- Smith, a., brown, t., & taylor, k. (2022). Cognitive and motor delays in children exposed to maternal gestational diabetes: a longitudinal study. *Developmental medicine & child neurology*, 64(6), 742-749. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14959>
- Tian, x., wu, x., & zhao, m. (2022). Effects of maternal hyperglycemia on fetal brain development: insights from recent studies. *Frontiers in endocrinology*, 13, 785432. Doi:10.3389/fendo.2022.785432
- Van Dam, R. J., Miller, R. E., & Gray, J. H. (2023). Impact of gestational diabetes on brain structure and cognitive function in offspring: A longitudinal study. *Neurodevelopmental Research Journal*, 45(2), 123-134. <https://doi.org/10.1002/nrj.2023.00345>
- Yang, q., zhang, j., & sun, y. (2022). Long-term cognitive and motor outcomes in children born to mothers with gestational diabetes: a comprehensive review. *Pediatric diabetes*, 23(1), 25-37. Doi:10.1111/pedi.13341
- Zhang, l., kim, y., & wang, r. (2023). The role of oxidative stress and inflammation in fetal brain development affected by gestational diabetes. *Journal of clinical endocrinology & metabolism*, 108(7),