

Dari Otot ke Plasenta: Potensi Aktivitas Fisik Prenatal sebagai Terapi Pensinyalan Metabolik dalam Pemrograman Fetomaternal

Yohanes Satrya Wibawa^{1*}, Elisia Atnil²

Universitas Trisakti, Indonesia¹

RS Pondok Indah - Puri Indah, Indonesia²

Email: satryaw@trisakti.ac.id^{1*}, elisia.atnil@gmail.com²

Keywords:

*prenatal physical activity;
myokines; placenta; mtor; ampk.*

Abstract

The maternal metabolic environment influences placental function and future offspring health. Physical activity during pregnancy provides consistent clinical benefits, but the biological pathways linking muscle contractions to placental responses have not been widely addressed in an integrated manner in maternal-fetal practice. We examine skeletal muscle endocrine function, maternal metabolic adaptations, placental nutrient signaling, and fetal developmental programming as a basis for understanding prenatal physical activity as a metabolic signaling therapy. This article is a focused narrative review with a translational perspective. Literature from 2020–2025 was searched through PubMed, Scopus, and Web of Science using a combination of the terms exercise in pregnancy, physical activity, myokines, maternal metabolism, placental signaling, mTOR, AMPK, and fetal programming. Seminal references prior to 2020 were used to explain basic concepts. Human studies were prioritized for clinical implications, while experimental studies were used to address mechanisms that have not yet been directly assessed in humans. Muscle contraction increases myokine release and activates the AMPK–GLUT-4 pathway, which supports glucose uptake, lipid oxidation, and inflammation control. Improvements in insulin sensitivity, adipokine profiles, and endothelial function are thought to be key pathways linking physical activity to placental perfusion and nutrient signaling. The mTOR–AMPK balance is one candidate mechanism linking maternal energy status to nutrient transport. The strongest clinical evidence supports the safety and benefits of physical activity on maternal outcomes. In contrast, evidence regarding myokines, epigenetic changes, and long-term metabolic outcomes in offspring is still dominated by experimental studies. Physical activity during pregnancy should be provided as a structured clinical intervention, not simply as a general recommendation.

Kata Kunci:

aktivitas fisik prenatal; miokin;
plasenta; mtor; ampk.

Abstrak

Lingkungan metabolik maternal memengaruhi fungsi plasenta dan kesehatan keturunan di masa depan. Aktivitas fisik selama kehamilan memberikan manfaat klinis yang konsisten, tetapi jalur biologis yang menghubungkan kontraksi otot dengan respons plasenta belum banyak dibahas secara terpadu dalam praktik fetomaternal. Menelaah fungsi endokrin otot rangka, adaptasi metabolik maternal, pensinyalan nutrisi plasenta, dan pemrograman perkembangan janin sebagai dasar untuk memahami aktivitas fisik prenatal sebagai terapi pensinyalan metabolik. Artikel ini merupakan focused narrative review dengan perspektif translasi. Literatur tahun 2020–2025 ditelusuri melalui PubMed, Scopus, dan Web of Science menggunakan kombinasi istilah exercise in pregnancy, physical activity, myokines, maternal metabolism, placental signaling, mTOR, AMPK, dan fetal programming. Referensi seminal sebelum

2020 digunakan untuk menjelaskan konsep dasar. Studi manusia diprioritaskan untuk implikasi klinis, sedangkan studi eksperimental digunakan untuk membahas mekanisme yang belum dapat dinilai langsung pada manusia. Kontraksi otot meningkatkan pelepasan miokin dan mengaktifkan jalur AMPK–GLUT-4, yang mendukung ambilan glukosa, oksidasi lipid, dan pengendalian inflamasi. Perbaikan sensitivitas insulin, profil adipokin, dan fungsi endotel diduga menjadi jalur utama yang menghubungkan aktivitas fisik dengan perfusi serta pensinyalan nutrien plasenta. Keseimbangan mTOR–AMPK merupakan salah satu mekanisme kandidat yang menghubungkan status energi maternal dengan transport nutrien. Bukti klinis paling kuat mendukung keamanan dan manfaat aktivitas fisik terhadap luaran maternal. Sebaliknya, bukti mengenai miokin, perubahan epigenetik, dan luaran metabolik jangka panjang pada anak masih didominasi studi eksperimental. Aktivitas fisik selama kehamilan sebaiknya diberikan sebagai intervensi klinis yang terstruktur, bukan sekadar anjuran umum.

PENDAHULUAN

Konsep *Developmental Origins of Health and Disease* (DOHaD) menjelaskan bahwa paparan pada awal kehidupan dapat memengaruhi struktur organ, fungsi fisiologis, dan risiko penyakit sepanjang daur hidup, bahkan lintas generasi. Periode intrauterin menjadi fase yang sangat penting karena perubahan nutrisi, metabolisme, inflamasi, dan lingkungan hormonal maternal dapat memicu adaptasi perkembangan serta perubahan epigenetik pada janin. Bila adaptasi tersebut tidak sesuai dengan lingkungan setelah lahir, risiko obesitas, diabetes, penyakit kardiovaskular, dan gangguan perkembangan multisistem dapat meningkat (Hagemann et al., 2021; Reynolds et al., 2022).

Lingkungan intrauterin bersifat dinamis. Kondisinya dipengaruhi oleh faktor genetik, fisiologis, nutrisi, infeksi dan inflamasi, psikososial, serta status metabolik sebelum dan selama kehamilan. Faktor-faktor tersebut memengaruhi luaran ibu, janin, dan anak melalui perubahan vaskular, hormonal, dan fungsi plasenta (Muglia et al., 2022). Obesitas maternal merupakan contoh penting. Kondisi ini bukan hanya mencerminkan kelebihan energi, tetapi juga berkaitan dengan resistensi insulin, disfungsi adipokin, stres oksidatif, dan inflamasi kronik derajat rendah. Perubahan tersebut dapat meningkatkan transfer nutrien melalui plasenta serta mendorong hiperinsulinemia dan adipositas janin (Hill & Hill, 2024; Louwen et al., 2024).

Praktik obstetri masih banyak berfokus pada identifikasi risiko dan penatalaksanaan setelah gangguan metabolik terdiagnosis. Pendekatan ini tetap penting, tetapi sebagian besar baru diterapkan setelah masalah muncul. Aktivitas fisik merupakan intervensi nonfarmakologis yang aman pada sebagian besar kehamilan tanpa komplikasi dan berhubungan dengan penurunan kenaikan berat badan gestasional berlebih, diabetes melitus gestasional, dan preeklampsia (Andargie et al., 2025; Gynecologists, 2020; Letukienė et al., 2024). Meskipun demikian, aktivitas fisik masih sering disampaikan sebagai anjuran umum, bukan sebagai preskripsi klinis yang terukur dan disesuaikan dengan kondisi pasien.

Kebaruan penelitian ini terletak pada beberapa aspek. Pertama, penelitian ini merupakan focused narrative review yang mengintegrasikan bukti klinis dan eksperimental mengenai aktivitas fisik prenatal dalam kerangka "terapi pensinyalan metabolik", yang menekankan bahwa latihan terstruktur menimbulkan respons biologis yang dapat dimanfaatkan dalam pelayanan antenatal. Kedua, penelitian ini membedakan secara jelas bukti pada manusia

dari bukti eksperimental untuk memberikan implikasi klinis yang realistis. Ketiga, penelitian ini menyajikan kerangka konseptual yang menghubungkan fungsi endokrin otot rangka, adaptasi metabolik maternal, pensinyalan nutrisi plasenta, dan pemrograman perkembangan janin dalam satu model terpadu. Keempat, penelitian ini mengidentifikasi kesenjangan bukti dan arah penelitian yang diperlukan untuk mengkonfirmasi hubungan kausal antara otot, plasenta, dan janin pada manusia. Penelitian oleh Nagpal et al. (2020) menunjukkan bahwa intervensi selama kehamilan dengan program latihan yang efektif mungkin menjadi kunci untuk mencegah risiko penyakit kronis pada lebih dari satu generasi.

Saat berkontraksi, otot rangka berfungsi sebagai organ endokrin yang melepaskan miokine dan memicu komunikasi dengan organ lain. Respons ini dapat memperbaiki metabolisme maternal, memengaruhi inflamasi dan fungsi vaskular, serta secara tidak langsung mengubah lingkungan yang dihadapi plasenta. Dalam artikel ini, istilah terapi pensinyalan metabolik digunakan sebagai kerangka untuk menjelaskan aktivitas fisik prenatal sebagai intervensi yang memicu respons endokrin, metabolik, dan vaskular. Artikel ini bertujuan menelaah jalur tersebut, membedakan bukti manusia dari bukti eksperimental, dan membahas implikasinya bagi praktik fetomaternal.

METODE PENELITIAN

Artikel ini merupakan *focused narrative review* dengan perspektif translasi. Tinjauan ini mengintegrasikan bukti klinis dan eksperimental mengenai aktivitas fisik prenatal, fungsi endokrin otot rangka, metabolisme maternal, fungsi plasenta, dan pemrograman perkembangan keturunan. Pencarian literatur terakhir dilakukan pada 12 Juli 2026 melalui PubMed, Scopus, dan Web of Science. Pencarian utama mencakup artikel yang diterbitkan antara Januari 2020 dan Desember 2025. Referensi seminal sebelum 2020 ditambahkan secara selektif untuk menjelaskan komunikasi otot–organ, biologi plasenta, dan pedoman aktivitas fisik selama kehamilan.

Istilah pencarian meliputi “exercise in pregnancy”, “physical activity in pregnancy”, “prenatal exercise”, “myokines”, “skeletal muscle endocrine function”, “muscle-organ crosstalk”, “maternal metabolism”, “maternal inflammation”, “placental blood flow”, “placental signaling”, “placental mTOR”, “AMPK”, “fetal programming”, “developmental origins of health and disease”, dan “offspring metabolic health”. Istilah tersebut digunakan sendiri maupun dalam kombinasi dengan operator Boolean AND dan OR. Sintaks pencarian disesuaikan untuk setiap basis data.

Pencarian dibagi menjadi tiga kelompok topik. Kelompok pertama mencakup kehamilan, aktivitas fisik, dan fungsi endokrin otot rangka. Kelompok kedua menghubungkan aktivitas fisik dengan metabolisme maternal, inflamasi, fungsi vaskular, dan biologi plasenta. Kelompok ketiga membahas aktivitas fisik maternal, pemrograman perkembangan, perubahan epigenetik, dan kesehatan metabolik keturunan. Contoh strategi pencarian pada PubMed adalah sebagai berikut:

(“Pregnancy”[Mesh] OR pregnan OR prenatal OR antenatal) AND (“Exercise”[Mesh] OR “Motor Activity”[Mesh] OR exercise OR “physical activity”)* AND *(myokine* OR “skeletal muscle” OR “maternal metabolism” OR inflammation OR placenta* OR mTOR OR AMPK OR “fetal programming” OR offspring).*

Literatur dipertimbangkan apabila membahas satu atau lebih dari lima topik berikut: (1) aktivitas fisik atau latihan selama kehamilan; (2) fungsi endokrin otot rangka dan miokin; (3) metabolisme glukosa dan lipid, inflamasi, atau fungsi vaskular maternal; (4) fungsi plasenta, perfusi uteroplasenta, transport nutrien, atau jalur pensinyalan plasenta; dan (5) pemrograman perkembangan serta luaran metabolik keturunan. Studi manusia diprioritaskan untuk rekomendasi dan implikasi klinis. Studi hewan dan in vitro digunakan untuk menjelaskan mekanisme yang belum dapat dinilai secara langsung pada manusia.

Editorial, komentar, laporan kasus tunggal, abstrak konferensi tanpa artikel lengkap, serta publikasi yang tidak berkaitan dengan kehamilan atau tidak membahas jalur biologis yang menjadi fokus tinjauan tidak dimasukkan dalam sintesis utama. Artikel yang hanya menjelaskan manfaat umum aktivitas fisik tanpa membahas aspek metabolik, miokin, plasenta, atau luaran keturunan juga tidak diprioritaskan. Publikasi berbahasa Inggris dan Indonesia dipertimbangkan.

Bukti dikelompokkan ke dalam empat domain: fungsi endokrin otot rangka dan miokin; adaptasi metabolik, inflamasi, dan vaskular maternal; regulasi fungsi serta pensinyalan nutrien plasenta; dan pemrograman perkembangan serta luaran metabolik keturunan. Keempat domain tersebut kemudian dibahas dalam kerangka DOHaD untuk menjelaskan hubungan biologis antara aktivitas fisik selama kehamilan, lingkungan maternal, plasenta, dan kesehatan anak. Interpretasi disesuaikan dengan jenis bukti. Uji klinis, studi kohort, dan tinjauan sistematis pada manusia digunakan terutama untuk membahas implikasi klinis. Model hewan dan studi in vitro digunakan untuk mendukung uraian mekanistik. Jalur yang belum dikonfirmasi langsung pada manusia disebut sebagai mekanisme potensial atau hipotesis biologis, bukan sebagai hubungan kausal yang telah terbukti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Otot rangka sebagai organ endokrin dalam kehamilan

Otot rangka tidak hanya berperan dalam pergerakan, tetapi juga berfungsi sebagai organ endokrin. Kontraksi otot memicu pelepasan peptida dan protein bioaktif yang disebut miokin. Mediator ini bekerja secara autokrin, parakrin, maupun endokrin dan memungkinkan komunikasi antara otot dengan hati, jaringan adiposa, pankreas, otak, tulang, serta sistem vascular (Dahdah et al., 2024). Pada kehamilan, komunikasi lintas organ ini penting karena perubahan metabolisme dan inflamasi maternal membentuk lingkungan yang dihadapi plasenta dan janin.

Jenis, intensitas, durasi, dan frekuensi kontraksi memengaruhi profil miokin yang dilepaskan. Miokin terlibat dalam ambilan glukosa, oksidasi asam lemak, lipolisis, termogenesis, regenerasi jaringan, dan pengendalian inflamasi (Goudreau et al., 2021; Niu et al., 2025; Severinsen & Pedersen, 2020). Namun, miokin perlu dibedakan dari adipokin dan sitokin imun. Tidak semua mediator yang berubah setelah latihan berasal dari otot rangka; sumber jaringan serta pola respons akut dan kronik harus dipertimbangkan ketika menafsirkan hasil penelitian.

Tabel 1. Miokin dan mediator imunometabolik yang berkaitan dengan aktivitas fisik selama kehamilan

Mediator	Respons/fungsi terkait aktivitas fisik	Relevansi fetomaternal	Kekuatan bukti
IL-6 dari otot	Meningkat secara akut; mendukung AMPK, ambilan glukosa, oksidasi lipid, dan respons antiinflamasi	Berpotensi memperbaiki homeostasis glukosa maternal; efek bergantung sumber, durasi, dan jalur pensinyalan	Manusia nonhamil kuat; kehamilan terbatas
Irisin	Berkaitan dengan termogenesis, browning jaringan adiposa, dan sensitivitas insulin	Kandidat mediator perbaikan metabolik maternal	Eksperimental/moderat
Myostatin	Regulator negatif pertumbuhan otot; ekspresi dapat menurun dengan latihan	Penurunan dapat mendukung massa otot dan metabolisme glukosa	Tidak langsung pada kehamilan
BDNF	Berperan pada metabolisme energi dan fungsi saraf; sebagian bekerja secara lokal di otot	Potensi hubungan dengan adaptasi metabolik dan neurobiologis	Eksperimental
IL-10, TNF- α , IL-1 β	Mediator imunometabolik, bukan seluruhnya miokin; dipengaruhi inflamasi kronik dan latihan	Mempengaruhi toleransi imun, resistensi insulin, dan lingkungan plasenta	Manusia dan eksperimental, heterogen

IL-6 menunjukkan pentingnya konteks biologis. Peningkatan IL-6 yang akut dan sementara selama kontraksi otot berbeda dari peningkatan kronik pada inflamasi metabolik. IL-6 yang berkaitan dengan kontraksi mendukung translokasi *Glucose Transporter Type 4* (GLUT-4) dan aktivasi *Adenosine Monophosphate-activated Protein Kinase* (AMPK). Respons ini meningkatkan ambilan glukosa dan oksidasi asam lemak. Irisin, myostatin, dan *Brain-Derived Neurotrophic Factor* (BDNF) juga dikaitkan dengan regulasi massa otot, termogenesis, dan metabolisme energi, tetapi bukti langsung pada kehamilan masih terbatas (Chatzakis et al., 2022; Kelly et al., 2020; Van Poppel et al., 2024).

Kehamilan memerlukan keseimbangan imun yang terus berubah. Sel natural killer, makrofag, sel T, dan mediator inflamasi berperan dalam implantasi, toleransi fetomaternal, dan perkembangan plasenta. Scoping review mengenai aktivitas fisik maternal dan miokin menunjukkan hasil yang masih heterogen, terutama dalam jenis mediator, waktu pengukuran, dan karakteristik latihan (Valencia-Ortega et al., 2024; Wang et al., 2025). Miokin mungkin menjadi salah satu penghubung antara kontraksi otot dan perubahan metabolik selama kehamilan, tetapi belum dapat dianggap sebagai mediator kausal tunggal terhadap luaran kehamilan.

Adaptasi metabolik dan vaskular maternal

Pada paruh kedua kehamilan, resistensi insulin meningkat secara fisiologis untuk mempertahankan ketersediaan glukosa bagi janin. Pada ibu dengan obesitas atau gaya hidup sedentari, adaptasi ini dapat berkembang menjadi hiperglikemia, disfungsi sel beta, inflamasi kronik, dan diabetes melitus gestasional. Aktivitas fisik meningkatkan ambilan glukosa oleh otot melalui kontraksi dan translokasi GLUT-4, termasuk melalui jalur yang tidak sepenuhnya

bergantung pada insulin. Aktivasi AMPK juga meningkatkan penggunaan glukosa dan oksidasi lipid, sehingga membantu mempertahankan fleksibilitas metabolik maternal (Chen et al., 2025; Ding et al., 2023).

Pada obesitas, jaringan adiposa mengalami infiltrasi makrofag, fibrosis, dan peningkatan mediator proinflamasi seperti TNF- α dan IL-1 β . Inflamasi tersebut memperburuk resistensi insulin. Aktivitas fisik teratur dapat membantu memperbaiki keseimbangan imunometabolik, meskipun responsnya dipengaruhi oleh status metabolik awal, dosis latihan, dan usia kehamilan. Disregulasi leptin dan adiponektin juga berperan. Leptin yang tinggi dan adiponektin yang rendah berkaitan dengan resistensi insulin, lipolisis, serta peningkatan asam lemak bebas yang dapat mengganggu fungsi sel beta dan meningkatkan paparan nutrisi kepada janin (Gascoigne et al., 2023; Jones et al., 2021; Panagiotidou et al., 2024).

Aktivitas fisik juga memengaruhi fungsi endotel dengan meningkatkan bioavailabilitas *Nitric Oxide* dan respons vasodilatasi. Adaptasi ini dapat mendukung perfusi uteroplasenta, tetapi respons akut dan kronik perlu dibedakan. Studi fisiologis pada kehamilan sehat menunjukkan bahwa pasokan oksigen janin umumnya tetap terjaga selama latihan yang sesuai. Studi pilot pada kehamilan dengan diabetes melitus gestasional juga menunjukkan kemungkinan perbaikan kapasitas oksidatif dan sirkulasi uteroplasenta. Temuan tersebut mendukung keamanan latihan terukur, tetapi tidak menunjukkan bahwa semua jenis dan intensitas latihan memberi efek plasental yang sama.

Plasenta sebagai sensor metabolik dan target tidak langsung aktivitas fisik

Plasenta mengintegrasikan sinyal nutrisi, hormonal, inflamasi, dan oksigen untuk mengatur pertumbuhan janin. Jalur insulin dan *mechanistic Target of Rapamycin* (mTOR) berperan dalam sintesis protein, fungsi mitokondria, dan ekspresi transporter nutrisi. Pada obesitas maternal, peningkatan insulin, leptin, serta insulin-like growth factor-1 yang disertai rendahnya adiponektin dapat meningkatkan aktivitas mTOR dan transfer nutrisi kepada janin.

AMPK berfungsi sebagai sensor status energi sel. Aktivasi AMPK dapat menghambat mTOR melalui regulator seperti TSC2 dan Raptor, sehingga menurunkan proses anabolik ketika energi terbatas. Namun, aktivasi AMPK pada otot maternal tidak dapat langsung disamakan dengan aktivasi AMPK pada plasenta. Penjelasan yang lebih masuk akal adalah bahwa aktivitas fisik memperbaiki glikemia, profil lipid, inflamasi, dan fungsi vaskular maternal; perubahan tersebut kemudian dapat memengaruhi pensinyalan energi serta transport nutrisi plasenta. Hubungan langsung ini masih memerlukan penelitian intervensi yang disertai analisis jaringan plasenta manusia.

Tabel 2. Sinyal metabolik maternal dan implikasinya terhadap fungsi plasenta

Sinyal/jalur	Perubahan pada disfungsi metabolik maternal	Implikasi plasental	Interpretasi terhadap aktivitas fisik
Insulin–mTOR	Cenderung meningkat pada obesitas/kelebihan nutrisi	Transport asam amino dan proses anabolik meningkat	Latihan dapat memengaruhi secara tidak langsung melalui sensitivitas insulin
AMPK	Aktif pada tekanan energi seluler	Menghambat proses anabolik dan mTOR	Efek langsung pada plasenta manusia belum pasti

Sinyal/jalur	Perubahan pada disfungsi metabolik maternal	Implikasi plasental	Interpretasi terhadap aktivitas fisik
Leptin	Meningkat pada obesitas dan sebagian diproduksi plasenta	Berkaitan dengan resistensi insulin dan pertumbuhan janin	Perbaikan profil metabolik dapat menurunkan stimulus berlebih
Adiponektin	Menurun pada obesitas	Berkaitan dengan lipolisis dan transport nutrien	Dapat membaik bersama penurunan resistensi insulin
NO/perfusi	Disfungsi endotel dapat menurunkan adaptasi vaskular	Memengaruhi distribusi oksigen dan nutrien	Latihan terukur mendukung fungsi endotel; respons bergantung konteks

Plasenta juga menghasilkan hormon dan mediator metabolik. *Placental growth hormone* membantu meningkatkan resistensi insulin fisiologis maternal, sedangkan human placental lactogen mendukung proliferasi sel beta dan kapasitas sekresi insulin. Bila kompensasi pankreas tidak memadai, hiperglikemia, asam lemak bebas, dan stres oksidatif akan meningkatkan paparan nutrien kepada janin. Plasenta menjadi mediator sentral dalam jalur ini. Namun, efek aktivitas fisik kemungkinan besar bekerja melalui perubahan lingkungan maternal secara keseluruhan, bukan melalui satu jalur molekuler tunggal.

Aktivitas fisik dan pemrograman perkembangan keturunan

Paparan glukosa, lipid, hormon, dan mediator inflamasi selama kehamilan dapat memengaruhi ekspresi gen, fungsi mitokondria, perkembangan jaringan adiposa, dan sensitivitas insulin anak. Dalam kerangka DOHaD, hiperglikemia serta kelebihan nutrien maternal dapat mendorong hiperinsulinemia dan adipogenesis janin. Aktivitas fisik maternal dapat mengurangi paparan tersebut melalui perbaikan metabolisme maternal dan fungsi plasenta.

Studi pada manusia menunjukkan hubungan antara aktivitas fisik dan beberapa luaran kehamilan serta pertumbuhan janin, tetapi data metabolik anak dalam jangka panjang masih terbatas. Sebaliknya, studi hewan lebih konsisten menunjukkan perbaikan toleransi glukosa, profil lipid, fungsi mitokondria, dan adipositas keturunan, termasuk setelah paparan diet tinggi lemak maternal. Hasil tersebut mendukung dasar biologis hubungan ini, tetapi belum dapat digunakan untuk memperkirakan besar manfaat klinis pada manusia.

Mekanisme epigenetik yang telah diusulkan meliputi perubahan metilasi DNA, ekspresi mikroRNA, jalur AMPK–TET, dan biogenesis mitokondria. Tingkat aktivitas sedentari dan aktivitas fisik selama kehamilan juga berhubungan dengan luaran kelahiran dalam studi observasional. Namun, perbedaan metode pengukuran aktivitas, faktor perancu, dan heterogenitas populasi membatasi kesimpulan kausal. Karena itu, pemrograman metabolik melalui aktivitas fisik sebaiknya dipahami sebagai hipotesis translasi yang didukung oleh bukti dengan tingkat kekuatan berbeda.

Tabel 3. Tingkat bukti aktivitas fisik maternal menurut domain luaran

Domain luaran	Bukti manusia	Bukti eksperimental/hewan	Kesimpulan
Keamanan dan luaran maternal	Relatif kuat pada kehamilan tanpa kontraindikasi	Mendukung	Paling siap diterapkan secara klinis

Domain luaran	Bukti manusia	Bukti eksperimental/hewan	Kesimpulan
Sensitivitas insulin dan inflamasi maternal	Moderat–kuat	Kuat	Mekanisme klinis cukup konsisten
Perfusi dan pensinyalan plasenta	Terbatas–moderat	Moderat–kuat	Mekanisme kandidat; perlu pengukuran langsung
Miokin selama kehamilan	Terbatas dan heterogen	Moderat	Belum ada biomarker standar
Epigenetik dan kesehatan metabolik keturunan	Awal/terbatas	Relatif kuat	Belum dapat digeneralisasi langsung

Reposisi aktivitas fisik dalam praktik fetomaternal

Pada kehamilan tanpa kontraindikasi, aktivitas fisik yang dilakukan sesuai rekomendasi memiliki profil keamanan yang baik dan bermanfaat bagi kebugaran, pengendalian kenaikan berat badan gestasional, metabolisme glukosa, dan kesehatan mental. Pedoman ACOG merekomendasikan sedikitnya 150 menit aktivitas aerobik intensitas sedang per minggu. Penilaian awal tetap diperlukan untuk mengenali komplikasi medis atau obstetri, riwayat latihan, gejala, dan kebutuhan modifikasi.

Preskripsi latihan sebaiknya mencakup frekuensi, intensitas, waktu, dan jenis latihan. Intensitas dapat dipantau dengan *talk test* atau *Rating of Perceived Exertion* (RPE) karena respons denyut jantung berubah selama kehamilan. Pada intensitas sedang, ibu umumnya masih dapat berbicara selama latihan. Ibu yang sebelumnya tidak aktif perlu memulai secara bertahap. Sebaliknya, ibu yang telah terlatih dapat melanjutkan aktivitas dengan intensitas lebih tinggi setelah mempertimbangkan kondisi klinis dan toleransi individual.

Tabel 4. Komponen praktis preskripsi aktivitas fisik selama kehamilan

Komponen	Rekomendasi praktis
Skrining	Evaluasi kontraindikasi, komplikasi obstetri/medis, gejala, kebugaran, dan riwayat latihan
Target umum	Sedikitnya 150 menit aktivitas aerobik intensitas sedang per minggu
Frekuensi	Disebar pada ≥ 3 hari per minggu; idealnya aktif pada sebagian besar hari
Intensitas	<i>Talk test</i> dan RPE; hindari pendekatan target tunggal untuk semua pasien
Jenis	Aerobik, latihan kekuatan, mobilitas, dan latihan neuromotor sesuai kondisi
Progresi	Bertahap menurut status awal, usia kehamilan, gejala, dan toleransi
Dukungan metabolik	Hidrasi, asupan energi yang adekuat, pengaturan suhu, dan pemulihan
Hentikan/evaluasi	Perdarahan, sesak yang tidak wajar, nyeri dada, pusing/presinkop, kontraksi teratur, kebocoran cairan, atau gejala obstetri lain

Memposisikan aktivitas fisik sebagai terapi pensinyalan metabolik tidak berarti menggantikan terapi medis atau menganggap seluruh mekanismenya telah terbukti. Istilah ini menekankan bahwa latihan terstruktur menimbulkan respons biologis yang dapat dimanfaatkan dalam pelayanan antenatal. Pada kehamilan dengan obesitas, diabetes melitus gestasional, atau

kebutuhan khusus lainnya, penerapannya idealnya melibatkan dokter obstetri, tenaga gizi, serta profesional olahraga atau rehabilitasi yang kompeten. Meta-analisis menunjukkan bahwa latihan selama kehamilan berkaitan dengan perbaikan beberapa luaran persalinan, meskipun jenis dan dosis yang paling efektif belum ditentukan.



Garis hubungan menunjukkan jalur biologis yang diusulkan; sebagian mekanisme langsung pada manusia masih memerlukan konfirmasi.

Gambar 1. Kerangka konseptual hubungan aktivitas fisik prenatal, otot rangka, adaptasi maternal, plasenta, dan pemrograman janin.

Catatan: garis pada gambar menunjukkan hubungan biologis yang diusulkan. Hubungan langsung antara miokin, jalur plasenta, dan luaran jangka panjang pada anak belum seluruhnya dikonfirmasi pada manusia.

KETERBATASAN BUKTI DAN ARAH PENELITIAN

Hubungan antara otot, plasenta, dan janin secara biologis masuk akal, tetapi bukti langsung pada manusia masih terbatas. Studi miokin selama kehamilan menggunakan mediator, waktu pengukuran, dan protokol latihan yang berbeda-beda. Sebagian besar penjelasan mengenai mTOR–AMPK dan perubahan metabolik keturunan juga masih berasal dari studi hewan atau *in vitro*. Pada studi manusia, aktivitas fisik sering diukur melalui laporan subjektif dan masa tindak lanjut umumnya singkat. Selain itu, respons terhadap latihan dapat dipengaruhi oleh status gizi, obesitas, diabetes, usia kehamilan, kebugaran awal, dan karakteristik plasenta.

Tabel 5. Kesenjangan bukti dan arah penelitian

Kesenjangan	Konsekuensi	Arah penelitian
Heterogenitas jenis dan dosis latihan	Sulit menentukan <i>dose–response</i>	RCT dengan protokol FITT terstandarisasi dan pelaporan kepatuhan
Pengukuran aktivitas subjektif	Risiko salah klasifikasi	Akselerometri atau wearable yang tervalidasi
Data miokin serial terbatas	Tidak diketahui pola trimester dan respons individual	Pengukuran longitudinal sebelum–sesudah latihan
Mekanisme plasenta banyak bersifat inferensial	Hubungan kausal belum pasti	Analisis jaringan plasenta, Doppler, metabolomik, dan biomarker
Follow-up keturunan pendek	Dampak DOHaD belum teruji	Kohort longitudinal hingga masa kanak-kanak/dewasa
Populasi heterogen	Generalisasi terbatas	Stratifikasi menurut IMT, DMG, kebugaran, dan karakteristik demografi

Penelitian selanjutnya perlu menggabungkan luaran klinis dengan pengukuran miokin, adipokin, metabolomik, epigenomik, fungsi vaskular, dan karakteristik plasenta. Pertanyaan utama tidak lagi hanya apakah aktivitas fisik bermanfaat, tetapi juga pasien mana yang memperoleh manfaat terbesar, berapa dosis yang paling tepat, dan mediator biologis apa yang dapat membantu personalisasi preskripsi.

KESIMPULAN

Aktivitas fisik yang dilakukan sesuai rekomendasi pada kehamilan tanpa kontraindikasi memiliki profil keamanan yang baik dan memberi manfaat terhadap kebugaran, kenaikan berat badan gestasional, metabolisme glukosa, serta beberapa komplikasi maternal. Kontraksi otot memicu respons endokrin dan metabolik melalui miokin, AMPK–GLUT-4, perubahan inflamasi dan adipokin, serta fungsi endotel. Perbaikan lingkungan maternal tersebut dapat memengaruhi perfusi dan pensinyalan nutrisi plasenta, yang selanjutnya relevan terhadap perkembangan janin. Namun, hubungan kausal langsung antara otot, miokin, plasenta, dan kesehatan anak masih terbatas pada bukti eksperimental. Aktivitas fisik selama kehamilan perlu diberikan sebagai preskripsi klinis yang terstruktur. Istilah terapi pensinyalan metabolik dapat digunakan untuk menjelaskan dasar biologisnya, dengan tetap membedakan manfaat klinis yang telah terbukti dari mekanisme yang masih bersifat hipotesis.

REFERENSI

- Andargie, B. A., Legas, A., W/Sellassie, A., Abuhay, H., & Angaw, D. A. (2025). Effects of Physical Exercise During Pregnancy on Delivery Outcomes: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, 20, e0326868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0326868>
- Chatzakis, C., Sotiriadis, A., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Deli, C. K., & Papagianni, M. (2022). The Effect of Physical Exercise on Oxidation Capacity and Utero-Placental Circulation in Pregnancies with Gestational Diabetes Mellitus and Uncomplicated Pregnancies: A Pilot Study. *Diagnostics*, 12, 1732. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071732>
- Chen, S., Cao, M., Gu, Y., & Liu, K. (2025). The Impact of Exercise During Pregnancy on Maternal and Offspring Outcomes in Gestational Diabetes Mellitus. *BIOCELL*, 49, 181–198. <https://doi.org/10.32604/biocell.2025.058745>
- Dahdah, N., Tercero-Alcázar, C., Malagón, M. M., Garcia-Roves, P. M., & Guzmán-Ruiz, R. (2024). Interrelation of Adipose Tissue Macrophages and Fibrosis in Obesity. *Biochemical Pharmacology*, 225, 116324. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2024.116324>
- Ding, L., Liu, J., Zhou, L., & Xiao, X. (2023). Maternal Exercise Impacts Offspring Metabolic Health in Adulthood: A Systematic Review and Meta-Analysis of Animal Studies. *Nutrients*, 15, 2793. <https://doi.org/10.3390/nu15122793>
- Gascoigne, E. L., Webster, C. M., Honart, A. W., Wang, P., Smith-Ryan, A., & Manuck, T. A. (2023). Physical Activity and Pregnancy Outcomes: An Expert Review. *American Journal of Obstetrics & Gynecology MFM*, 5, 100758. <https://doi.org/10.1016/j.ajogmf.2022.100758>
- Goudreau, A. D., Everest, C., Nagpal, T. S., Puranda, J. L., Bhattacharjee, J., & Vasanthan, T. (2021). Elucidating the Interaction Between Maternal Physical Activity and Circulating Myokines Throughout Gestation: A Scoping Review. *American Journal of Reproductive Immunology*, 86, e13488. <https://doi.org/10.1111/aji.13488>
- Gynecologists, A. C. of O. and. (2020). Physical Activity and Exercise During Pregnancy and

- the Postpartum Period: ACOG Committee Opinion No. 804. *Obstetrics & Gynecology*, 135(4), e178–e188. <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000003772>
- Hagemann, E., Silva, D. T., Davis, J. A., Gibson, L. Y., & Prescott, S. L. (2021). Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD): The Importance of Life-Course and Transgenerational Approaches. *Paediatric Respiratory Reviews*, 40, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2021.05.005>
- Hill, D. J., & Hill, T. G. (2024). Maternal Diet During Pregnancy and Adaptive Changes in the Maternal and Fetal Pancreas Have Implications for Future Metabolic Health. *Frontiers in Endocrinology*, 15, 1456629. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1456629>
- Jones, M. A., Catov, J. M., Jeyabalan, A., Whitaker, K. M., & Barone Gibbs, B. (2021). Sedentary Behaviour and Physical Activity Across Pregnancy and Birth Outcomes. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 35, 341–349. <https://doi.org/10.1111/ppe.12731>
- Kelly, A. C., Powell, T. L., & Jansson, T. (2020). Placental Function in Maternal Obesity. *Clinical Science*, 134, 961–984. <https://doi.org/10.1042/CS20190266>
- Letukienė, A., Hendrixson, V., & Ginevičienė, V. (2024). Current Knowledge and Scientific Trends in Myokines and Exercise Research in the Context of Obesity. *Frontiers in Medicine*, 11, 1421962. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1421962>
- Louwen, F., Kreis, N. N., Ritter, A., & Yuan, J. (2024). Maternal Obesity and Placental Function: Impaired Maternal–Fetal Axis. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 309, 2279–2288. <https://doi.org/10.1007/s00404-024-07462-w>
- Muglia, L. J., Benhalima, K., Tong, S., & Ozanne, S. (2022). Maternal Factors During Pregnancy Influencing Maternal, Fetal, and Childhood Outcomes. *BMC Medicine*, 20, 418. <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02632-6>
- Niu, X., Wang, K., Li, L., & Zhang, L. (2025). Exercise Therapy for Gestational Diabetes Mellitus: From Basic to Clinical. *Frontiers in Medicine*, 12, 1716883. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1716883>
- Panagiotidou, A., Chatzakis, C., Ververi, A., Eleftheriades, M., & Sotiriadis, A. (2024). The Effect of Maternal Diet and Physical Activity on the Epigenome of the Offspring. *Genes*, 15, 76. <https://doi.org/10.3390/genes15010076>
- Reynolds, L. P., Diniz, W. J. S., Crouse, M. S., Caton, J. S., Dahlen, C. R., & Borowicz, P. P. (2022). Maternal Nutrition and Developmental Programming of Offspring. *Reproduction, Fertility and Development*, 35, 19–26. <https://doi.org/10.1071/RD22234>
- Severinsen, M. C. K., & Pedersen, B. K. (2020). Muscle–Organ Crosstalk: The Emerging Roles of Myokines. *Endocrine Reviews*, 41(4), 594–609. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnaa016>
- Valencia-Ortega, J., Castillo-Santos, A., Molerés-Orduña, M., Solis-Paredes, J. M., Saucedo, R., & Estrada-Gutierrez, G. (2024). Influence of Maternal Adipokines on Anthropometry, Adiposity, and Neurodevelopmental Outcomes of the Offspring. *International Journal of Molecular Sciences*, 25, 11655. <https://doi.org/10.3390/ijms252111655>
- Van Poppel, M. N. M., Kruse, A., & Carter, A. M. (2024). Maternal Physical Activity in Healthy Pregnancy: Effect on Fetal Oxygen Supply. *Acta Physiologica*, 240, e14229. <https://doi.org/10.1111/apha.14229>
- Wang, K., Zhao, J., Wang, Y., & Liu, M. (2025). Exercise Benefits Yourself and Your Offspring: A Mini-Review. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 13, 1606790. <https://doi.org/10.3389/fcell.2025.1606790>