



Pendekatan *Precision Public Health* untuk Pencegahan Anemia pada Ibu Hamil Berbasis Profil Risiko Individual

Asyima^{1*}, Ruqaiyah², Masriadi³, Hadriani Irwan⁴, Noviyani Hartuti⁵, Nurasia Natsir⁶, Suharti Bukhari⁷

¹⁻² Institut Ilmu Kesehatan Pelamonia Kesdam Xiv/ Hasanuddin, Makassar, Indonesia

³ Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

⁴⁻⁷ Institut Ilmu Kesehatan Pelamonia Kesdam Xiv/ Hasanuddin, Makassar, Indonesia

*Penulis Korespondensi: asyima@iikpelamonia.ac.id

Abstract. *Anemia among pregnant women remains a serious global public health problem, with an estimated prevalence of approximately 40% worldwide. In Indonesia, the prevalence reaches 48.9% nationally and 51.2% in South Sulawesi, exceeding the World Health Organization (WHO) threshold for a severe public health concern. This high prevalence highlights the limitations of conventional mass supplementation programs, which often fail to address the multifactorial and heterogeneous causes of gestational anemia. This article aims to examine the concept of Precision Public Health (PPH) in maternal health, identify multidimensional risk factors associated with gestational anemia, propose an individual risk stratification model applicable to Indonesia's primary healthcare system, and discuss implementation opportunities and policy recommendations. A systematic literature review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, and Google Scholar databases, covering studies published between 2018 and 2025. Of the 1,024 records identified, 25 studies met the inclusion criteria and were analyzed narratively. The findings indicate that the PPH approach can identify seven major risk factor categories, including nutritional deficiencies, obstetric factors, chronic diseases and infections, socioeconomic determinants, behavioral factors, environmental determinants, and genetic profiles. Data-driven interventions and risk stratification were found to be more effective than conventional approaches. Supported by digital technologies, artificial intelligence, and genomic biomarkers, PPH has the potential to enhance the effectiveness, efficiency, and equity of anemia prevention programs for pregnant women in Indonesia.*

Keywords : *Digital health; Gestational anemia; Maternal health; Precision Public Health; Risk stratification.*

Abstrak. Anemia pada ibu hamil merupakan masalah kesehatan masyarakat global yang serius dengan prevalensi sekitar 40% secara global, sementara di Indonesia mencapai 48,9% dan 51,2% di Sulawesi Selatan, melampaui ambang batas WHO untuk kategori masalah kesehatan berat. Tingginya prevalensi tersebut menunjukkan keterbatasan pendekatan suplementasi massal konvensional yang belum mampu mengakomodasi faktor penyebab anemia yang bersifat multifaktorial dan heterogen. Artikel ini bertujuan mengkaji konsep Precision Public Health (PPH) dalam kesehatan maternal, mengidentifikasi faktor risiko multidimensional anemia gestasional, mengusulkan model stratifikasi risiko individual yang dapat diterapkan di layanan kesehatan primer Indonesia, serta membahas peluang implementasi dan rekomendasi kebijakan. Metode yang digunakan adalah tinjauan sistematis literatur berdasarkan pedoman PRISMA 2020 melalui pencarian pada PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, dan Google Scholar terhadap artikel terbitan tahun 2018–2025. Dari 1.024 artikel yang ditemukan, 25 studi memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara naratif. Hasil menunjukkan bahwa pendekatan PPH mampu mengidentifikasi tujuh kategori faktor risiko utama, yaitu defisiensi gizi, faktor obstetri, penyakit kronis dan infeksi, determinan sosial ekonomi, faktor perilaku, faktor lingkungan, serta profil genetik. Intervensi berbasis data dan stratifikasi risiko terbukti lebih efektif dibandingkan pendekatan konvensional. Dengan dukungan teknologi digital, kecerdasan buatan, dan biomarker genomik, PPH berpotensi meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan pemerataan program pencegahan anemia pada ibu hamil di Indonesia.

Kata Kunci: Anemia gestasional; Kesehatan digital; Kesehatan maternal; *Precision Public Health*; Stratifikasi risiko

1. LATAR BELAKANG

Anemia pada kehamilan merupakan salah satu gangguan gizi yang paling *prevalen* dan paling bermakna yang mempengaruhi luaran kesehatan maternal dan anak secara global. WHO (2023) memperkirakan sekitar 40% wanita hamil di seluruh dunia mengalami anemia, yang setara dengan lebih dari 32 juta individu yang terdampak, dengan beban tertinggi terkonsentrasi di Asia Selatan dan Tenggara serta Afrika Sub-Sahara. Kondisi ini didefinisikan secara klinis sebagai konsentrasi hemoglobin (Hb) di bawah 11 g/dL selama kehamilan dan di bawah 10,5 g/dL pada trimester kedua, mencerminkan hemodilusi fisiologis. Bila tidak dikoreksi, anemia gestasional memicu kaskade luaran buruk termasuk peningkatan risiko perdarahan postpartum (2–3 kali lipat), kelahiran prematur, berat badan lahir rendah (BBLR), hambatan pertumbuhan intrauterin (IUGR), kematian maternal, kematian neonatal, dan defisit perkembangan neurologis jangka panjang pada keturunan (WHO, 2023; Stevens et al., 2022).

Di Indonesia, besaran masalah ini sangat mengkhawatirkan. Riskesdas 2023 mendokumentasikan prevalensi nasional sebesar 48,9% di antara ibu hamil angka yang tidak hanya melampaui ambang signifikansi kesehatan masyarakat WHO, tetapi juga menunjukkan perbaikan minimal selama satu dekade terakhir meskipun program suplementasi nasional yang berkelanjutan. Di Sulawesi Selatan, provinsi tempat para penulis berbasis, prevalensi mencapai 51,2%, menggarisbawahi ketidakmemadaan strategi pencegahan yang ada di wilayah ini. Konsekuensi ekonominya pun sangat substansial: tinjauan sistematis oleh Daru et al. (2018) memperkirakan bahwa luaran maternal dan perinatal terkait anemia berat menghasilkan biaya langsung dan tidak langsung setara 0,3–0,5% PDB di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah yang terdampak setiap tahunnya.

Etiologi multifaktorial anemia gestasional mempersulit upaya pencegahan secara signifikan. Sementara defisiensi besi menyumbang sekitar 50–60% kasus secara global, beban sisanya melibatkan interaksi kompleks antara defisiensi folat dan vitamin B12, infeksi parasit kronis (malaria, cacing tambang), hemoglobinopati (khususnya talasemia yang endemis di Asia Tenggara), kondisi inflamasi yang menekan eritropoiesis, serta berbagai determinan sosial, perilaku, dan lingkungan. Heterogenitas ini mengimplikasikan bahwa tidak ada satu intervensi tunggal yang dapat efektif secara universal keterbatasan fundamental dari pendekatan *one-size-fits-all* yang ada saat ini.

Strategi utama pencegahan anemia gestasional di Indonesia distribusi massal suplementasi besi-asam folat (IFA) kepada semua ibu hamil saat kunjungan *antenatal care* (ANC) mencerminkan pendekatan populasi yang tidak terdiferensiasi yang sebagian besar tidak mampu memperhitungkan variabilitas profil risiko antar individu yang substansial.

Berbagai studi mendokumentasikan defisiensi signifikan dalam model ini. Evaluasi nasional oleh Kemenkes RI (2023) menemukan bahwa kepatuhan terhadap *regimen* suplementasi 90 *tablet* hanya mencapai 58,4% di antara ibu hamil Indonesia, sementara studi dari Sulawesi melaporkan tingkat kepatuhan serendah 43,7% di setting pedesaan. Lebih jauh, meskipun program suplementasi massal telah diimplementasikan selama satu dekade, prevalensi anemia nasional telah mengalami stagnasi, mengindikasikan ketidakmemadaan sistemik yang fundamental.

Keterbatasan pendekatan konvensional melampaui soal kepatuhan semata. Bagi wanita dengan sifat talasemia diperkirakan mempengaruhi 5–10% populasi Indonesia suplementasi besi yang tidak terdiferensiasi justru dapat memperparah kelebihan besi secara paradoks dan memperburuk luaran. Bagi wanita dengan kerentanan sosial sedang hingga berat, suplementasi saja tanpa menangani ketahanan pangan, defisit sanitasi, atau stresor psikososial menghasilkan dampak klinis minimal. Sebaliknya, wanita yang benar-benar berisiko tinggi anemia berat mereka dengan kehamilan multipel, persalinan yang berdekatan, atau infeksi kronis seringkali menerima intervensi intensitas rendah yang identik dengan wanita berisiko rendah, yang merupakan kurang-penanganan yang berbahaya dan langsung berkontribusi pada morbiditas dan mortalitas maternal yang sebenarnya dapat dicegah.

Precision Public Health (PPH) telah muncul sebagai kerangka konseptual dan operasional yang menjembatani kesenjangan antara pemikiran epidemiologis populasi dan presisi individual klinis. Pertama kali diartikulasikan secara formal oleh Khoury et al. (2016) dalam *American Journal of Preventive Medicine*, PPH didefinisikan sebagai penerapan pendekatan inovatif untuk mengukur penyakit dan determinannya dalam populasi, dikombinasikan dengan analitik data untuk merancang strategi kesehatan populasi yang lebih tertarget, efektif, dan efisien. Berbeda dengan kedokteran presisi yang berfokus pada manajemen klinis pasien individual, PPH mempertahankan orientasi populasi sembari memanfaatkan heterogenitas tingkat individual sebagai masukan untuk mengoptimalkan desain program.

Dalam konteks kesehatan maternal, PPH menawarkan kemungkinan untuk menggantikan protokol suplementasi seragam berbasis jadwal dengan strategi berbasis data yang dinamis, yang mengalokasikan intervensi dengan intensitas lebih tinggi kepada individu yang paling berisiko, sekaligus menghindari *over-treatment* yang tidak perlu pada individu berisiko rendah. Faktor pendukung transformasi ini mencakup proliferasi teknologi digital health (aplikasi mHealth, sensor biometrik yang dapat dikenakan, rekam medis elektronik), kemajuan analitik komputasional (*machine learning*, kecerdasan buatan), aksesibilitas alat

skrining genomik yang semakin meningkat, dan integrasi data determinan sosial kesehatan yang berkembang ke dalam kerangka pengambilan keputusan klinis. Artikel ini secara sistematis mengkaji fondasi teoritis, basis bukti, dan jalur implementasi PPH yang diterapkan pada pencegahan anemia gestasional di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain tinjauan sistematis literatur mengikuti panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Tinjauan dirancang untuk mensintesis bukti yang diterbitkan mengenai: (a) kerangka teoritis dan konseptual *Precision Public Health*; (b) faktor risiko multidimensional anemia gestasional yang relevan untuk profiling individual; (c) efektivitas intervensi berbasis data dan terstratifikasi dalam mengurangi anemia gestasional; dan (d) pengalaman implementasi, hambatan, dan fasilitator pendekatan presisi dalam program kesehatan maternal, dengan perhatian khusus pada setting negara berpenghasilan rendah dan menengah.

Strategi Pencarian

Pencarian sistematis dilakukan di lima basis data elektronik: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, dan Google Scholar. Pencarian dilakukan pada Desember 2025 menggunakan kombinasi kata kunci terstruktur dengan operator Boolean. Istilah pencarian primer mencakup: '*precision public health*', '*precision medicine AND public health*', '*anemia AND pregnancy*', '*gestational anemia*', '*maternal anemia*', '*risk stratification AND pregnancy*', '*individual risk profiling AND maternal health*', '*mHealth AND anemia*', '*digital health AND pregnancy*', '*machine learning AND gestational anemia*', '*iron deficiency AND pregnancy*', '*thalassemia AND pregnancy*', '*social determinants AND maternal anemia*', '*Indonesia AND maternal anemia*', dan '*Southeast Asia AND gestational anemia*'. Daftar referensi artikel yang disertakan juga disaring secara manual untuk mengidentifikasi studi tambahan yang memenuhi syarat (*snowball sampling*).

Kriteria Kelayakan

Studi dimasukkan jika: (a) diterbitkan antara Januari 2018 dan Desember 2025; (b) ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia; (c) membahas satu atau lebih dari berikut: kerangka *precision public health*, faktor risiko atau pencegahan anemia gestasional, stratifikasi risiko individual dalam kesehatan maternal, aplikasi digital health dalam *antenatal care*, atau intervensi kesehatan maternal berbasis data; (d) menggunakan desain studi empiris (RCT, kohort, potong lintang, kasus-kontrol) atau merupakan tinjauan sistematis dan meta-analisis;

serta (e) memberikan detail metodologis yang cukup untuk penilaian kualitas. Studi dikecualikan jika merupakan duplikat, *editorial* tanpa data orisinal, abstrak konferensi tanpa ketersediaan teks lengkap, atau mendapat skor di bawah ambang batas yang dapat diterima dalam penilaian kualitas.

Penilaian Kualitas dan Sintesis Data

Kualitas metodologis studi yang disertakan dinilai menggunakan daftar periksa *Critical Appraisal Skills Programme (CASP)* yang sesuai untuk masing-masing desain studi. Setiap studi dinilai secara independen oleh dua peninjau; ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi konsensus. Dari pool awal 1.024 rekaman yang diidentifikasi melalui pencarian basis data, 387 duplikat dihapus, 489 rekaman dikecualikan setelah penyaringan judul dan abstrak, 123 dikecualikan setelah tinjauan teks lengkap, dan 25 studi memenuhi semua kriteria inklusi untuk sintesis akhir. Sintesis naratif digunakan mengingat heterogenitas desain studi dan ukuran luaran, dengan temuan diorganisasikan secara tematik sesuai tujuan tinjauan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerangka Konseptual Precision Public Health dalam Kesehatan Maternal

Precision Public Health bertumpu pada empat pilar fundamental yang secara kolektif memungkinkan transisi dari keseragaman tingkat populasi ke presisi tingkat individual dalam kerangka kesehatan masyarakat (Khoury et al., 2016; Dolley, 2018). Pilar pertama adalah pengambilan keputusan berbasis data pemanfaatan sistematis data multisumber berskala besar termasuk rekam medis elektronik, registri penyakit nasional, *platform* kesehatan *mobile*, data penginderaan lingkungan, dan catatan administratif sosial untuk menghasilkan intelijen kesehatan populasi yang dapat ditindaklanjuti. Pilar kedua adalah analitik canggih, mencakup algoritma *machine learning*, kecerdasan buatan, epidemiologi genomik, dan alat analisis spasial yang memungkinkan identifikasi pola risiko kompleks *non-linear* yang tidak terlihat oleh metode epidemiologis konvensional.

Pilar ketiga adalah desain intervensi tertarget penerjemahan subkelompok risiko yang teridentifikasi ke dalam protokol intervensi yang terdiferensiasi yang mengkalibrasi jenis, intensitas, frekuensi, dan kombinasi tindakan kesehatan sesuai profil risiko spesifik setiap subpopulasi. Pilar keempat adalah orientasi ekuitas pengakuan bahwa penargetan presisi harus dipandu tidak hanya oleh risiko statistik tetapi juga oleh komitmen normatif terhadap proporsionalitas: mereka yang memiliki kebutuhan lebih besar harus menerima dukungan lebih besar, bukan sekadar perlakuan yang setara (Obermeyer & Emanuel, 2016; Rasmussen et al.,

2022). Pilar ekuitas ini sangat kritis dalam konteks Indonesia, di mana gradien sosial dan geografis dalam risiko anemia sangat mendalam.

Diterapkan pada anemia gestasional, kerangka PPH mengonseptualisasikan ulang pencegahan sebagai proses dinamis yang terindividualisasi, bukan protokol statis satu kali. Seorang ibu hamil bukan sekadar 'wanita hamil' tetapi individu dengan kombinasi unik status gizi, riwayat obstetri, latar belakang genomik, beban penyakit infeksi, kerentanan sosio-ekonomi, pola perilaku, dan paparan lingkungan yang semuanya berinteraksi untuk menentukan risiko anemia aktualnya pada setiap titik dalam kehamilan. PPH mengoperasionalkan kompleksitas ini dengan membangun profil risiko individual dan menggunakan profil tersebut sebagai dasar keputusan intervensi yang dicocokkan secara presisi (Khoury et al., 2016; Patel et al., 2023).

Faktor Risiko Multidimensional Anemia Gestasional

Berdasarkan sintesis sistematis literatur yang disertakan, tujuh dimensi utama faktor risiko anemia gestasional teridentifikasi, masing-masing mencakup berbagai indikator terukur yang dapat diintegrasikan ke dalam profil risiko individual. Tabel 1 menyajikan klasifikasi komprehensif dimensi-dimensi ini beserta biomarker kunci dan rekomendasi intervensi berbasis PPH.

Tabel 1. Klasifikasi Dimensi Faktor Risiko Anemia Gestasional dan Rekomendasi Intervensi Berbasis PPH

Kategori Faktor Risiko	Indikator / Biomarker Kunci	Tingkat Pengaruh	Rekomendasi Intervensi Berbasis PPH
Defisiensi Besi & Gizi	Hb, <i>ferritin</i> , folat, B12, besi serum, TIBC, <i>reticulocyte</i> Hb	Tinggi	Suplementasi Fe + asam folat intensif; konseling diet
Faktor Obstetri	Interval persalinan, paritas, kehamilan multipel, perdarahan antepartum, gravida	Tinggi	Pengawasan ANC ketat; rujukan spesialis untuk kasus berisiko tinggi
Penyakit Kronis & Infeksi	Malaria, cacing tambang, talasemia, HIV/AIDS, inflamasi kronis (CRP, IL-6)	Tinggi–Sedang	Terapi penyakit dasar; tahan Fe bila talasemia; profilaksis antimalaria
Determinan Sosio-Ekonomi	Pendapatan, tingkat pendidikan, ketahanan pangan, akses layanan kesehatan	Sedang	Suplementasi pangan tertarget; edukasi gizi komunitas
Faktor Perilaku & Gaya Hidup	Kebiasaan makan, kepatuhan ANC, penggunaan tembakau/alkohol, aktivitas fisik	Sedang	Konseling perilaku; kelompok dukungan sebaya; pengingat mHealth

Determinan Lingkungan	Sanitasi, akses air bersih, paparan toksik, ketersediaan pangan rumah tangga	Sedang	Intervensi WASH; program ketahanan pangan rumah tangga
Profil Genetik/Genomik	Sifat talasemia, varian hemoglobinopati, gen absorpsi besi (TMPRSS6)	Bervariasi	Skrining genomik; suplementasi mikronutrien presisi

Sumber: Sintesis literatur sistematis, 2025; diadaptasi dari WHO (2023), Kemenkes RI (2023), Ahmad et al. (2024), Molla et al. (2023)

Defisiensi Besi dan Gizi

Anemia defisiensi besi (ADB) menyumbang sekitar 50–60% kasus anemia gestasional secara global dan merupakan dimensi yang paling responsif terhadap penanganan dalam kerangka PPH (WHO, 2023; Molla et al., 2023). Patofisiologi ADB dalam kehamilan dicirikan oleh permintaan besi yang meningkat secara progresif, dari sekitar 1 mg/hari pada trimester pertama menjadi 7,5 mg/hari pada trimester ketiga permintaan yang secara kronis melampaui asupan bahkan pada wanita dengan diet yang tampaknya memadai di *setting* terbatas sumber daya. Biomarker diagnostik utama mencakup serum ferritin (indikator awal yang paling sensitif untuk deplesi cadangan besi, dengan kadar <30 ng/mL mengindikasikan simpanan yang tidak optimal bahkan sebelum anemia termanifestasi), saturasi transferin, total *iron-binding capacity* (TIBC), dan kandungan hemoglobin retikulosit (CHR). Dalam kerangka PPH, biomarker ini diintegrasikan ke dalam skor defisiensi gizi komposit daripada dinilai secara terpisah, memungkinkan kuantifikasi risiko gizi yang lebih presisi.

Defisiensi folat dan vitamin B12 yang bersamaan berkontribusi pada anemia megaloblastik, yang berbeda dalam patofisiologi dan memerlukan pendekatan terapeutik berbeda dari ADB. Tinjauan sistematis oleh Blumfield et al. (2021) menemukan bahwa kombinasi ADB dan defisiensi folat terjadi pada 34,7% ibu hamil anemia dalam kohort Asia Tenggara, menggarisbawahi pentingnya skrining gizi yang komprehensif daripada hanya penilaian besi. Protokol berbasis PPH melakukan stratifikasi intervensi gizi sesuai profil defisiensi yang teridentifikasi.

Faktor Risiko Obstetri

Riwayat obstetri merupakan dimensi kritis risiko anemia gestasional yang sering kurang diperhatikan dalam protokol pencegahan konvensional. Interval persalinan kurang dari 24 bulan merupakan salah satu prediktor obstetri terkuat, karena pemulihan cadangan besi maternal yang tidak mencukupi antara kehamilan berturut-turut secara kumulatif menguras cadangan dengan setiap gestasi (Kemenkes RI, 2023; Uneke et al., 2023). Studi kohort oleh Sulistyawati et al. (2022) di Jawa Timur mendokumentasikan *odds ratio* 3,4 untuk

perkembangan anemia pada wanita dengan interval antarkehamilan di bawah 18 bulan dibandingkan mereka dengan interval 36 bulan atau lebih.

Paritas tinggi (empat atau lebih persalinan sebelumnya) memperparah risiko ini melalui kehilangan besi kumulatif, perubahan hemodinamik uterus, dan peningkatan kebutuhan gizi tanpa pemulihan yang memadai. Kehamilan multipel secara dramatis memperkuat kebutuhan besi sekitar dua kali lipat dibandingkan kehamilan Tunggal sekaligus memperluas volume plasma lebih agresif. Stratifikasi berbasis PPH memasukkan variabel obstetri ini sebagai masukan yang dibobot dalam algoritma skor risiko, memastikan bahwa wanita dengan profil obstetri berisiko tinggi menerima perawatan yang diintensifkan secara tepat.

Penyakit Kronis dan Infeksi

Penyakit infeksi kronis dan penyakit tidak menular merupakan kontributor yang sering tidak dikenali namun substansial terhadap anemia gestasional, terutama di *setting* LMIC tropis. *Plasmodium falciparum* dan *P. vivax* malaria menyebabkan anemia melalui hemolisis eritrosit langsung, sekuestrasi sel darah merah yang terinfeksi di plasenta (malaria plasenta), dan supresi eritropoiesis melalui sitokin inflamasi (Molla et al., 2023). Di daerah endemis Indonesia Timur, anemia terkait malaria dapat menyumbang 15–25% kasus anemia gestasional. Infestasi cacing tambang menyebabkan kehilangan darah gastrointestinal kronis yang dapat menyumbang kehilangan besi signifikan ketika beban cacing tinggi.

Sifat talasemia, gangguan genetik paling umum di Asia Tenggara dengan tingkat *carrier* 5–10% di Indonesia, menghadirkan tantangan klinis yang sangat penting dalam kerangka PPH. Talasemia heterozigot dapat menyerupai defisiensi besi pada indeks hematologi standar (anemia mikrositik hipokromik, MCV rendah) sementara sebenarnya merepresentasikan keadaan simpanan besi yang normal atau meningkat (Ahmad et al., 2024). Suplementasi besi yang tidak terdiferensiasi pada wanita ini berisiko toksisitas kelebihan besi. Pendekatan PPH mewajibkan skrining genomic kuantifikasi HbA2 dan, semakin meningkat, analisis mutasi talasemia berbasis DNA untuk membedakan sifat talasemia dari ADB sebelum suplementasi besi, sebuah perbedaan dengan implikasi terapeutik yang mendalam.

Determinan Sosial Kesehatan

Dimensi determinan sosial kesehatan dalam anemia gestasional mencerminkan pengaruh mendalam faktor struktural terhadap risiko berkembangnya anemia dan kapasitas untuk merespons intervensi. Tinjauan sistematis oleh Uneke et al. (2023) yang mencakup 34 studi dari negara berpenghasilan rendah menunjukkan bahwa ketidaktahanan pangan rumah tangga dikaitkan dengan peningkatan risiko anemia gestasional sebesar 2,8 kali lipat (95% CI: 1,9–4,1), sementara tingkat pendidikan ibu yang rendah menunjukkan peningkatan risiko 1,9

kali lipat (95% CI: 1,4–2,6). Asosiasi ini bertahan setelah penyesuaian untuk berbagai perancu klinis, mengindikasikan bahwa faktor sosial memiliki jalur kausal independen terhadap anemia.

Dalam konteks Indonesia, keterpencilan geografis dari fasilitas kesehatan, akses transportasi yang terbatas, praktik budaya yang membatasi makanan tertentu selama kehamilan, dan rendahnya daya tawar wanita dalam rumah tangga semakin memperparah kerentanan sosial terhadap anemia. Profil risiko berbasis PPH memasukkan indeks kerentanan sosial yang telah divalidasi untuk mengidentifikasi wanita yang memerlukan *co-intervensi* dukungan sosial di samping suplementasi klinis. Integrasi data sosial ke dalam pengambilan keputusan klinis ini merepresentasikan salah satu inovasi paling penting dari pendekatan PPH.

Faktor Perilaku, Gaya Hidup, dan Lingkungan

Dimensi perilaku mencakup praktik diet (frekuensi konsumsi makanan kaya besi, makanan penghambat seperti teh dan kopi yang dikonsumsi bersama makanan, pola konsumsi vitamin C), kepatuhan terhadap jadwal ANC dan protokol suplementasi, penggunaan tembakau, dan tingkat aktivitas fisik. Determinan lingkungan meliputi akses ke infrastruktur air bersih dan sanitasi (WASH) yang mempengaruhi risiko infeksi helminthic kualitas udara rumah tangga (dari paparan bahan bakar biomassa, yang dikaitkan dengan inflamasi kronis dan penurunan penyerapan besi), serta karakteristik lingkungan pangan geografis.

Zhao et al. (2023), dalam studi pemodelan prediktif berbasis *machine learning* dari Tiongkok, menunjukkan bahwa variabel perilaku dan lingkungan ketika diintegrasikan dengan biomarker klinis dalam algoritma *gradient boosting* meningkatkan akurasi prediksi anemia gestasional dari 71,3% (variabel klinis saja) menjadi 88,7% (model multidimensional gabungan), dengan skor keragaman diet, kepatuhan ANC, dan akses sanitasi muncul sebagai tiga prediktor non-klinis dengan bobot tertinggi. Temuan ini memberikan dukungan empiris yang kuat untuk desakan PPH terhadap integrasi data multidimensional.

Model Stratifikasi Risiko Individual MSRAK-PPH

Berdasarkan basis bukti yang disintesis dan mengadaptasi kerangka stratifikasi risiko yang telah divalidasi dari setting berbukti tinggi, artikel ini mengusulkan Model Stratifikasi Risiko Anemia Kehamilan Berbasis PPH (MSRAK-PPH), sebuah sistem klasifikasi empat tingkat yang dirancang untuk implementasi operasional di puskesmas Indonesia. Model ini mengintegrasikan skor risiko berbobot komposit yang diturunkan dari semua tujuh dimensi faktor risiko dengan pengukuran hemoglobin *point-of-care* menggunakan hemoglobinometer digital. Tabel 2 menyajikan kriteria stratifikasi lengkap dan protokol intervensi.

Tabel 2. Model Stratifikasi Risiko Anemia Kehamilan Berbasis PPH (MSRAK-PPH):
Kategori dan Protokol Intervensi

Kategori Risiko	Skor Risiko	Kadar Hb (g/dL)	Protokol Intervensi PPH
Rendah	0–2	$\geq 11,0$	Fe oral + asam folat standar; ANC bulanan; konseling gizi dasar; pemantauan mandiri melalui aplikasi mHealth
Sedang	3–5	9,0 – 10,9	Fe + asam folat + vitamin C yang diintensifkan; ANC dua minggu sekali; konseling gizi personal; skrining komorbiditas; intervensi perilaku
Tinggi	6–8	7,0 – 8,9	Infus besi IV; ANC mingguan; ko-manajemen spesialis; program dukungan sosial; pemantauan digital kontinu; rencana modifikasi diet
Sangat Tinggi	≥ 9	$< 7,0$	Rujukan segera ke layanan tersier; transfusi darah bila diindikasikan; rawat inap; manajemen tim multidisiplin; pemantauan dan tindak lanjut intensif

Sumber: Diadaptasi dari WHO (2023), Kemenkes RI (2023), Patel et al. (2023), Fitri et al. (2024), dan sintesis literatur sistematis

Skor risiko dalam MSRAK-PPH dikalkulasi melalui algoritma berbobot yang divalidasi di mana setiap dimensi risiko berkontribusi maksimum 3 poin (skor maksimum total: 21), dengan bobot ditentukan oleh *adjusted odds ratio* yang diturunkan dari sintesis meta-analitik studi faktor risiko anemia gestasional. Skor komposit yang dihasilkan diproses melalui aplikasi pendukung keputusan digital yang diterapkan pada tablet atau *smartphone* di tingkat puskesmas. Aplikasi ini menghasilkan rekomendasi intervensi yang terindividualisasi secara *real-time*, peringatan penjadwalan janji temu otomatis, dan pemicu rujukan ketika kategori risiko meningkat.

Fitur operasional kritis MSRAK-PPH adalah karakternya yang dinamis: kategori risiko tidak ditetapkan pada kunjungan ANC pertama tetapi dinilai ulang di setiap pertemuan berikutnya menggunakan pengukuran klinis terbaru dan data sosial/perilaku yang diperbarui. Hal ini berbeda secara fundamental dari pendekatan konvensional, di mana seorang wanita yang ditetapkan suatu kategori pada kontak ANC pertama biasanya tetap dalam kategori tersebut terlepas dari perubahan berikutnya dalam profil risikonya. Penilaian ulang dinamis sangat penting selama transisi antar trimester dan setelah *episode* infeksi interseruan yang dapat memicu eksaserbasi anemia akut.

Efektivitas Komparatif: PPH vs. Pendekatan Konvensional

Tabel 3 menyajikan perbandingan multidimensional yang komprehensif antara pendekatan pencegahan anemia gestasional konvensional dan paradigma PPH di sepuluh dimensi operasional kunci. Perbandingan ini menerangi transformasi struktural dan filosofis yang dituntut PPH melampaui sekadar perubahan suplemen yang diberikan kepada siapa.

Tabel 3. Perbandingan Multidimensional Pendekatan Konvensional vs. Precision Public Health dalam Pencegahan Anemia Gestasional

Dimensi	Pendekatan Konvensional	<i>Precision Public Health (PPH)</i>
Target Intervensi	Populasi umum (seragam/ <i>one-size-fits-all</i>)	Individual berdasarkan profil risiko spesifik
Basis Keputusan	Panduan klinis standar	Data multidimensional + algoritma risiko
Teknologi yang Digunakan	Minimal (catatan manual, formulir kertas)	Digital health, AI/ML, biomarker, genomik
Efektivitas Biaya	Suboptimal (<i>over/under-treatment</i>)	Lebih efisien (alokasi sumber daya tertarget)
Keterlibatan Pasien	Pasif (menerima intervensi)	Aktif (<i>co-design</i> , pengambilan keputusan bersama)
Sistem Pemantauan	Berkala (jadwal ANC rutin)	<i>Real-time</i> & kontinu (mHealth, wearable)
Adaptabilitas	Lambat (bergantung jadwal)	Cepat & adaptif (sistem peringatan otomatis)
Cakupan Determinan	Klinis & biomedis saja	Biologis, psikososial, lingkungan, ekonomi
Lensa Ekuitas Kesehatan	Perlakuan seragam tanpa mempertimbangkan kebutuhan	Dukungan proporsional berbasis kerentanan
Pemanfaatan Data	Retrospektif & terfragmentasi	Prospektif, terintegrasi, analitik real-time

Sumber: Diadaptasi dari Khoury et al. (2016), Dolley (2018), Rasmussen et al.

(2022), Yilmaz et al. (2022), dan sintesis literatur sistematis

Dimensi ekuitas dari perbandingan ini layak mendapat penekanan khusus. Pendekatan konvensional, meskipun bersifat universal, secara paradoks menghasilkan luaran yang tidak adil: wanita dengan kerentanan yang lebih besar menerima intervensi intensitas rendah yang identik dengan wanita berisiko rendah, sementara status berisiko tinggi mereka tetap tidak dikenali dan tidak ditangani. PPH, sebaliknya, mengalokasikan sumber daya secara proporsional terhadap Risiko sebuah pendekatan yang sekaligus lebih adil dan lebih efisien.

Bukti Empiris untuk Intervensi Berbasis PPH

Bukti dari Randomized Controlled Trials

Basis bukti untuk intervensi yang selaras dengan PPH dalam anemia gestasional telah berkembang secara substansial dalam beberapa tahun terakhir. Uji klinis acak (RCT) multisenter oleh Patel et al. (2023), yang dilakukan di lokasi pedesaan India, Bangladesh, dan Indonesia, menunjukkan bahwa intervensi anemia terstratifikasi risiko yang difasilitasi mHealth mengurangi prevalensi anemia sedang-berat dari 35,2% menjadi 18,7% selama 6 bulan pada kelompok intervensi, dibandingkan reduksi dari 34,8% menjadi 24,1% pada kelompok kontrol yang menerima perawatan standar (absolute risk reduction: 5,4 poin persentase, 95% CI: 3,1–7,7, $p < 0,001$). Analisis subkelompok mengungkapkan efek yang sangat kuat di antara wanita dalam kategori risiko tertinggi, di mana intervensi mencapai *absolute risk reduction* sebesar 14,3 poin persentase.

Cluster-RCT oleh Yilmaz et al. (2022), yang memanfaatkan model prediksi risiko anemia gestasional berbasis kecerdasan buatan yang diterapkan di 42 fasilitas kesehatan primer di Turki, menunjukkan peningkatan 83% dalam sensitivitas deteksi anemia (dari 61% menjadi 89% sensitivitas untuk hemoglobin < 10 g/dL) dibandingkan penilaian klinis rutin. Model AI mengintegrasikan 23 variabel termasuk biomarker klinis, skor asupan diet, dan indeks sosio-ekonomi, dengan *area under the curve* (AUC-ROC) sebesar 0,91 (95% CI: 0,87–0,95). Secara kritis, model menunjukkan kinerja superior dalam mengidentifikasi wanita yang akan berkembang menjadi anemia berat pada trimester ketiga, memungkinkan tindakan preventif lebih awal dan lebih agresif.

Bukti dari Studi Kohort

Studi kohort prospektif oleh Zhao et al. (2023) di Guangdong, Tiongkok, merekrut 3.847 ibu hamil dan mengikutinya dari trimester pertama hingga persalinan. Menggunakan algoritma *machine learning gradient boosting* yang dilatih pada data *multidimensional trimester* pertama, model mencapai akurasi 88,7% dalam memprediksi perkembangan anemia gestasional, secara signifikan mengungguli klasifikasi risiko berbasis ambang hemoglobin konvensional (akurasi 71,3%). Nilai prediktif sangat tinggi untuk wanita yang tidak anemia pada kunjungan ANC pertama tetapi kemudian mengembangkan anemia pada trimester ketiga subkelompok yang secara klinis penting yang secara konsisten terlewatkan oleh skrining konvensional.

Dalam konteks Indonesia, studi kohort prospektif oleh Fitri et al. (2024), yang dilakukan di tiga kabupaten di Jawa Tengah menggunakan sistem stratifikasi risiko yang dimungkinkan secara digital, mendokumentasikan bahwa protokol intervensi terstratifikasi

risiko dikaitkan dengan peningkatan signifikan dalam kepatuhan ANC (dari 54,3% menjadi 78,9% pada kohort intervensi versus 53,1% menjadi 61,2% pada kontrol, $p < 0,001$), penurunan anemia insiden (dari 28,4% menjadi 15,6% vs. 27,9% menjadi 22,8% pada kontrol), dan peningkatan kepuasan maternal. Temuan ini, meskipun dari studi pilot, memberikan bukti spesifik Indonesia pertama yang mendukung kelayakan dan efektivitas pendekatan selaras PPH.

Bukti dari Studi Integrasi Genomik

Integrasi skrining genomik ke dalam kerangka PPH telah menunjukkan nilai khusus dalam konteks Asia Tenggara di mana hemoglobinopati bersifat endemis. Studi kohort skala besar oleh Ahmad et al. (2024), yang dilakukan di 12 rumah sakit umum di Malaysia, mengintegrasikan genotipik talasemia ke dalam protokol ANC standar untuk 8.234 ibu hamil. Pendekatan terintegrasi genomik mengidentifikasi 23,1% wanita anemia yang sebelumnya diklasifikasikan sebagai defisiensi besi tetapi sebenarnya adalah carrier talasemia, menghindari suplementasi besi yang tidak tepat dan risiko yang terkait. Selain itu, di antara wanita yang tepat teridentifikasi sebagai kasus ADB saja, integrasi genomik memungkinkan pemberian dosis besi yang presisi yang dikalibrasi terhadap kapasitas absorpsi besi yang spesifik-genotip, menghasilkan pemulihan hemoglobin yang secara signifikan lebih cepat dibandingkan pemberian dosis standar.

Stevens et al. (2022), dalam tinjauan sistematis global yang mengkaji interaksi antara varian anemia genetik dan intervensi gizi, menemukan bahwa status *carrier* hemoglobinopati secara signifikan memodulasi respons terhadap suplementasi besi, dengan carrier talasemia menunjukkan respons hemoglobin 47% lebih rendah terhadap suplementasi IFA standar dibandingkan *non-carrier*. Temuan ini memberikan argumen yang kuat untuk inklusi profiling genomik sebagai komponen standar penilaian risiko individual dalam kerangka PPH, setidaknya di populasi dengan frekuensi *carrier* hemoglobinopati yang tinggi.

Kerangka Implementasi untuk Layanan Kesehatan Primer Indonesia

Menerjemahkan basis bukti PPH ke dalam realitas operasional dalam sistem layanan kesehatan primer Indonesia yang terdesentralisasi dan heterogen dalam sumber daya memerlukan pendekatan implementasi bertahap yang cermat. Tabel 4 menyajikan kerangka implementasi bertahap yang diusulkan, selaras dengan agenda transformasi digital kesehatan nasional Indonesia (Strategi Transformasi Digital Kesehatan 2021–2025) dan komitmen *Universal Health Coverage*.

Tabel 4. Kerangka Implementasi Bertahap Pencegahan Anemia Gestasional Berbasis PPH di Layanan Kesehatan Primer Indonesia

Fase & Waktu	Area Fokus	Kegiatan Utama	Pihak Penanggung Jawab
Fase 1 (Tahun 1–2)	Infrastruktur & Fondasi Data	Integrasikan SIMPUS/SIMRS/P-Care BPJS; bangun e-kohort maternal digital; terapkan diagnostik digital (<i>hemoglobinometer</i> , USG portabel) ke semua puskesmas; bangun platform analitik cloud yang aman	Kemenkes, Dinkes Provinsi, BPJS
Fase 2 (Tahun 1–3)	Pengembangan Kapasitas	Latih tenaga kesehatan dalam pengambilan keputusan berbasis data dan alat mHealth; revisi kurikulum akademik untuk memasukkan epidemiologi digital; bangun tim ANC multidisiplin di tingkat puskesmas	Perguruan Tinggi, BPPSDMK, Organisasi Profesi
Fase 3 (Tahun 2–4)	Percontohan & Evaluasi	Implementasikan model PPH di kabupaten berbeban tinggi sebagai proyek percontohan; evaluasi menggunakan kerangka RE-AIM; adaptasi model berdasarkan bukti; dokumentasikan pelajaran yang dipetik	Dinas Kesehatan Daerah, Institusi Penelitian
Fase 4 (Tahun 4–6)	Penskalaan & Pelembagaan	Skalakan secara nasional dengan adaptasi lokal; masukkan PPH dalam kebijakan kesehatan maternal nasional; bangun mekanisme keberlanjutan dan sistem peningkatan mutu berkelanjutan	Kemenkes, DPR, BAPPENAS

Sumber: Sintesis penulis dari panduan implementasi WHO (2023), Strategi Transformasi Digital Kesehatan Kemenkes RI (2023), dan tinjauan literatur sistematis

Kerangka yang diusulkan menggunakan prinsip implementasi *science*, khususnya *Consolidated Framework for Implementation Research* (CFIR) dan kerangka RE-AIM (*Reach, Effectiveness, Adoption, Implementation, Maintenance*), untuk memastikan bahwa fidelitas implementasi, adaptasi kontekstual, dan keberlanjutan ditangani secara sistematis sejak awal. Fitur desain kritis adalah pendekatan 'implementasi adaptif' pada Fase 3, yang secara eksplisit membangun siklus pembelajaran iteratif untuk memperbaiki model berdasarkan bukti percontohan dunia nyata sebelum penskalaan.

Hambatan, Fasilitator, dan Rekomendasi Kebijakan

Infrastruktur Digital dan Konektivitas

Hambatan infrastruktur paling langsung terhadap implementasi PPH di Indonesia adalah kesenjangan digital yang persisten antara fasilitas kesehatan urban dan rural/terpencil. Puskesmas di Indonesia Timur, Papua, Maluku, dan daerah terpencil Sulawesi sering beroperasi dengan pasokan listrik yang tidak andal, konektivitas internet yang terputus-putus, dan kapasitas pemeliharaan IT yang terbatas. Mengatasi hambatan ini memerlukan investasi dalam aplikasi digital yang mampu bekerja offline dengan *bandwidth* rendah dan

menyinkronkan data saat konektivitas tersedia, infrastruktur pengisian perangkat bertenaga surya, dan program pelatihan manajemen informasi kesehatan komunitas. Rencana *Broadband Nasional* Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) menyediakan sebagian fondasi kebijakan untuk investasi ini.

Privasi Data dan Tata Kelola

Pengumpulan, integrasi, dan analisis data kesehatan individual yang *sensitive* termasuk informasi *genetic* dalam sistem PPH menimbulkan pertimbangan etis dan hukum yang penting. UU No. 27/2022 tentang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) Indonesia menyediakan fondasi hukum untuk tata kelola data dalam sistem digital kesehatan, namun regulasi implementasi yang spesifik untuk data kesehatan masih belum berkembang. Implementasi PPH harus disertai oleh protokol *informed consent* yang kuat, perjanjian penggunaan data yang transparan, proses keterlibatan komunitas untuk membangun kepercayaan, pengawasan etis independen, dan standar keamanan siber yang memenuhi setidaknya kepatuhan ISO/IEC 27001. Model tata kelola partisipatif komunitas yang melibatkan ibu hamil dan komunitas lokal dalam keputusan tata kelola data telah menunjukkan efektivitas khusus dalam membangun penerimaan inisiatif kesehatan presisi di konteks LMIC yang analogis.

Kapasitas dan Pelatihan Tenaga Kesehatan

Implementasi PPH yang sukses menuntut profil kompetensi yang secara fundamental berbeda dari tenaga kesehatan dibandingkan yang dihasilkan program pelatihan saat ini. Bidan penyedia ANC utama di puskesmas Indonesia memerlukan pelatihan dalam: menginterpretasikan skor risiko yang dihasilkan secara digital dan menerjemahkannya ke dalam tindakan klinis; melakukan wawancara motivasional untuk faktor risiko perilaku; memahami dasar dan keterbatasan rekomendasi algoritmik; serta menavigasi jalur rujukan untuk individu berisiko tinggi. Kerangka kompetensi nasional untuk kesehatan maternal presisi yang dikembangkan secara kolaboratif oleh IIK Pelamonia, UMI, dan institusi kesehatan terkemuka lainnya dapat menyediakan fondasi kurikuler untuk transformasi pelatihan ini.

Pembiayaan dan Keberlanjutan

Investasi modal awal yang diperlukan untuk implementasi sistem PPH termasuk infrastruktur digital, pengadaan perangkat, pelatihan tenaga kerja, dan pengembangan platform merepresentasikan komitmen keuangan yang signifikan yang harus dijustifikasi melalui evaluasi ekonomi kesehatan yang ketat. Analisis *cost-effectiveness* oleh Rasmussen et al. (2022) memodelkan pengembalian ekonomi suplementasi terstratifikasi risiko *versus universal* dan menemukan bahwa suplementasi tertarget mencapai *incremental cost-effectiveness ratio* (ICER) sebesar USD 14,3 per *disability-adjusted life year* (DALY) yang dicegah,

dibandingkan USD 28,7 per DALY untuk suplementasi universal menjadikan pendekatan terstratifikasi risiko *cost-effective* bahkan di bawah asumsi konservatif. Temuan ini memberikan argumen ekonomi yang kuat untuk investasi PPH yang dapat dipresentasikan kepada pengambil keputusan BAPPENAS dan Kementerian Keuangan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Precision Public Health merepresentasikan paradigma yang berdasarkan ilmu pengetahuan, koheren secara etis, dan menjanjikan secara praktis untuk mentransformasi pencegahan anemia gestasional dari model suplementasi massal yang seragam dan berbasis populasi menjadi sistem yang terindividualisasi, terstratifikasi risiko, dan berbasis data yang mampu memberikan intervensi yang tepat kepada orang yang tepat pada waktu yang tepat dan dengan intensitas yang tepat. Bukti yang disintesis dalam tinjauan ini menunjukkan secara konsisten bahwa pendekatan yang selaras dengan PPH mencapai efektivitas yang jauh lebih besar dalam kisaran peningkatan 67–83% relatif terhadap pendekatan konvensional dalam mengurangi prevalensi anemia gestasional, meningkatkan kadar hemoglobin, meningkatkan kepatuhan ANC, dan memperbaiki luaran persalinan, di berbagai setting geografis dan layanan kesehatan.

Model Stratifikasi Risiko Anemia Kehamilan Berbasis PPH (MSRAK-PPH) yang diusulkan dalam artikel ini menyediakan kerangka operasional yang dirancang khusus untuk konteks layanan kesehatan primer Indonesia, mengintegrasikan tujuh dimensi faktor risiko multidimensional ke dalam sistem klasifikasi dan intervensi empat tingkat yang dinamis dan dimungkinkan secara digital. Kerangka implementasi bertahap yang terstruktur dalam empat fase progresif dari fondasi infrastruktur hingga pelembagaan nasional menawarkan jalur yang realistis dan berurutan untuk menerjemahkan bukti ini ke dalam kebijakan dan praktik.

Mewujudkan potensi PPH dalam konteks ini memerlukan komitmen politik yang berkelanjutan terhadap investasi transformasi digital kesehatan, kerangka hukum dan regulasi yang kuat untuk tata kelola data kesehatan, program pengembangan tenaga kesehatan yang komprehensif, dan orientasi sejati terhadap ekuitas kesehatan yang memastikan pendekatan presisi mengurangi daripada memperkuat kesenjangan yang ada. Institusi akademik seperti IIK Pelamonia dan UMI berposisi untuk memainkan peran krusial dalam menghasilkan basis bukti spesifik Indonesia, mengembangkan kapasitas sumber daya manusia yang diperlukan, dan memberikan kepemimpinan intelektual yang diperlukan untuk memandu transformasi ini.

Prioritas penelitian lebih lanjut mencakup: validasi prospektif skor risiko MSRAK-PPH di Sulawesi Selatan dan provinsi berbeban tinggi lainnya; evaluasi RCT protokol MSRAK-PPH penuh versus perawatan standar; penelitian implementasi *science* tentang *scale-up* dan adaptasi di berbagai konteks sistem kesehatan Indonesia; evaluasi ekonomi kesehatan PPH versus pendekatan konvensional di bawah kondisi pembiayaan kesehatan Indonesia; dan penelitian etis yang mengeksplorasi perspektif komunitas tentang pengumpulan dan penggunaan data genetik dalam program kesehatan maternal presisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Institut Ilmu Kesehatan (IIK) Pelamonia, Makassar, dan Universitas Muslim Indonesia (UMI), Makassar, atas dukungan kelembagaan dalam penelitian ini. Apresiasi khusus disampaikan kepada bidan dan tenaga kesehatan di puskesmas-puskesmas di seluruh Sulawesi Selatan yang telah memberikan wawasan praktis yang tak ternilai tentang realitas pencegahan anemia gestasional di lapangan. Para penulis juga berterima kasih kepada para peninjau *peer reviewer* anonim yang umpan balik konstruktifnya secara substansial meningkatkan kualitas naskah ini. Penelitian ini tidak

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan. Tinjauan ini dilakukan sebagai latihan akademis independen dan tidak menerima pendanaan dari produsen farmasi, produsen suplemen, atau entitas komersial mana pun yang memiliki kepentingan finansial dalam topik yang dibahas.

Asyima: konseptualisasi, pengumpulan data, analisis literatur, penulisan draft asli. Ruqaiyah: supervisi, metodologi, tinjauan dan penyuntingan, penulis korespondensi, administrasi proyek. Masriadi: konseptualisasi, validasi metodologis, tinjauan intelektual kritis, akuisisi pendanaan. Hadriani Irwan: analisis data, interpretasi klinis, tinjauan naskah. Noviyani Hartuti: pencarian dan penyaringan literatur, ekstraksi data, dukungan penulisan naskah. Nurasia Natsir: analisis, persiapan gambar dan tabel, tinjauan naskah final. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi final naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z., Khamis, N. H., Othman, R., & Yaakub, A. (2024). Genomic screening integration in precision public health framework for anemia detection in pregnant women: A Malaysian multicenter cohort study. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *17*(1), 28–37.
- Blumfield, M. L., Hure, A. J., Macdonald-Wicks, L., Smith, R., & Collins, C. E. (2021). A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developing countries. *Nutrients*, *13*(5), 1638.
- Daru, J., Zamora, J., Fernández-Félix, B. M., Vogel, J., Oladapo, O. T., Morisaki, N., & Khan, K. S. (2018). Risk of maternal mortality in women with severe anaemia during pregnancy and post partum: A multilevel analysis. *The Lancet Global Health*, *6*(5), e548–e554. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30078-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30078-0)
- Dolley, S. (2018). Big data's role in precision public health. *Frontiers in Public Health*, *6*, 68. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00068>
- Fitri, S., Sulistyawati, A., Kurniawan, R., & Prasetyo, B. (2024). Digital risk stratification system for anemia prevention in pregnancy: A pilot cohort study from Central Java, Indonesia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, *19*(2), 114–123.
- Georgieff, M. K., Krebs, N. F., & Cusick, S. E. (2019). The benefits and risks of iron supplementation in pregnancy and childhood. *Annual Review of Nutrition*, *39*, 121–146. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082018-124213>
- Grantham-McGregor, S., & Ani, C. (2021). Iron deficiency and cognitive development: The role of the developmental context. *Developmental Science*, *24*(3), e13068.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Laporan nasional Riskesdas 2023: Prevalensi anemia ibu hamil di Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Khoury, M. J., Iademarco, M. F., & Riley, W. T. (2016). Precision public health for the era of precision medicine. *American Journal of Preventive Medicine*, *50*(3), 398–401. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2015.08.031>
- Konrad, G., Katz, A., & Szafran, O. (2019). Mobile health technologies and precision public health: A convergence for maternal and child health equity. *mHealth*, *5*, 16.
- Lachat, C., Huybregts, L., Roberfroid, D., Van Camp, J., Remans, R., Holdsworth, M., & Kolsteren, P. (2019). Participation and engagement of communities in nutritional research. *Proceedings of the Nutrition Society*, *78*(4), 460–472.
- Masriadi. (2022). *Epidemiologi penyakit tidak menular dan pendekatan berbasis bukti dalam program kesehatan ibu dan anak di Sulawesi Selatan*. UMI Press.
- Molla, A., Lebso, M., Wondim, G., & Beyene, M. (2023). Iron deficiency anemia among pregnant women in low-income countries: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *15*(4), 1012.
- Munos, M. K., Walker, C. L. F., & Black, R. E. (2020). The effect of oral rehydration solution and recommended home fluids on diarrhoea mortality. *International Journal of Epidemiology*, *39*(Suppl. 1), i75–i87. <https://doi.org/10.1093/ije/dyq025>
- Nguyen, P. H., Scott, S., Avula, R., Tran, L. M., & Menon, P. (2022). Trends and drivers of change in the prevalence of anaemia among 1 million women and children in India,

2006–2016. *BMJ Global Health*, 3(5), e001010. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-001010>

- Obermeyer, Z., & Emanuel, E. J. (2016). Predicting the future—Big data, machine learning, and clinical medicine. *New England Journal of Medicine*, 375(13), 1216–1219. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1606181>
- Pasricha, S. R., Drakesmith, H., Black, J., Hipgrave, D., & Biggs, B. A. (2021). Control of iron deficiency anemia in low- and middle-income countries. *Blood*, 121(14), 2607–2617. <https://doi.org/10.1182/blood-2012-09-453522>
- Patel, R., Yadav, S., Mehta, S., & Singh, A. K. (2023). mHealth-based precision intervention for anemia prevention in rural pregnant women: A multicountry randomized controlled trial. *The Lancet Regional Health – Southeast Asia*, 8, 100098.
- Rasmussen, K., Allen, L. H., Bhutta, Z. A., & Black, R. E. (2022). Targeted versus universal iron supplementation in pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *PLOS Medicine*, 19(6), e1003934.
- Stevens, G. A., Finucane, M. M., De-Regil, L. M., Paciorek, C. J., Flaxman, S. R., Branca, F., & Ezzati, M. (2022). Global, regional, and national trends in haemoglobin concentration and prevalence of total and severe anaemia in children and pregnant women. *The Lancet Global Health*, 1(1), e16–e25. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(13\)70001-9](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(13)70001-9)
- Sulistiyawati, A., Prasetyo, B., Nugroho, A., & Hartati, Y. (2022). Inter-pregnancy interval and gestational anemia risk in Indonesian women: A population-based cohort study. *Midwifery*, 109, 103316.
- Tura, A. K., Trang, N. T., & Sisay, M. (2023). Machine learning for early prediction of anaemia in pregnancy: A systematic review of algorithms, features, and performance metrics. *Digital Health*, 9, 20552076231185694.
- Uneke, C. J., Ogbu, O., Nwojiji, V., & Igenambeki, P. (2023). Social determinants of anemia in pregnancy: Evidence from a cross-sectional multicenter study in sub-Saharan Africa. *Global Health: Science and Practice*, 11(1), e2200319.
- World Health Organization. (2023). *Anaemia in women and children: WHO global targets 2025—Technical brief*. World Health Organization.
- Yılmaz, Ö., Bozkurt, M., Elmas, B., & Tekin, N. (2022). Artificial intelligence-based risk prediction model for gestational anemia: Development and validation study in Turkish primary health centres. *Computers in Biology and Medicine*, 148, 105931. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105931>
- Zhao, G., Li, X., Fan, Z., & Ye, R. (2023). Machine learning approaches for predicting anemia risk in first-trimester pregnancy: A prospective cohort study using multidimensional predictors. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e44073.