

Interaksi Paparan Timbal dan Nutrisi terhadap Kejadian Anemia pada Remaja Putri di Wilayah Industri Logam, Kabupaten Tegal

Ika Esti Anggraeni^{1,2*}, Apoina Kartini¹, Yudhy Dharmawan¹, Onny Setiani¹

¹Program Doktor Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro, Indonesia

²Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Bhamada Slawi, Tegal, Indonesia

*Corresponding author: ika.esti@gmail.com



©2026. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Info Artikel: Diterima 22 Mei 2026 ; Direvisi 1 Juli 2026 ; Disetujui 19 Oktober 2026

Tersedia online : 26 Oktober 2026 ; Diterbitkan secara teratur : Oktober 2026



Cara sitasi: Anggraeni IE, Kartini A, Dharmawan Y, Setiani O. Interaksi Paparan Timbal dan Nutrisi terhadap Kejadian Anemia pada Remaja Putri di Wilayah Industri Logam, Kabupaten Tegal. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2026 Okt;25(3):353-360. <https://doi.org/10.14710/jkli.84807>.

ABSTRAK

Latar belakang: Anemia pada remaja putri masih menjadi masalah kesehatan masyarakat, terutama di kawasan industri logam. Selain defisiensi zat besi, paparan timbal (Pb) diduga berkontribusi terhadap anemia melalui gangguan sintesis hemoglobin. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan asupan zat besi dan kadar timbal darah dengan kejadian anemia pada remaja putri di Kabupaten Tegal.

Metode: Penelitian observasional analitik dengan desain *cross-sectional* ini melibatkan 83 remaja putri yang dipilih secara purposive sampling. Kadar hemoglobin diperiksa menggunakan *hematology analyzer* (Mindray BC-5000) dengan metode *Sodium Lauryl Sulfate (SLS)*, sedangkan kadar timbal (Pb) darah dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) (Shimadzu AA-7000). Asupan zat gizi diukur melalui 24-hour food recall dan dianalisis menggunakan *NutriSurvey*. Data dianalisis menggunakan uji *Chi-Square* dan regresi logistik.

Hasil: Hasil analisis bivariat menunjukkan adanya hubungan yang bermakna secara statistik antara asupan zat besi ($p = 0,0001$) dan kadar timbal dalam darah ($p = 0,002$) dengan kejadian anemia. Berdasarkan analisis multivariat, asupan zat besi merupakan faktor dominan terhadap kejadian anemia (OR = 0,015; IK95% 0,002–0,088; $p < 0,001$). Selain itu, kadar timbal dalam darah juga berhubungan secara signifikan dengan kejadian anemia (OR = 0,260; IK 95%: 0,112–0,600; $p = 0,002$). Temuan ini mengindikasikan bahwa kadar timbal yang rendah memberikan efek protektif, sehingga remaja dengan paparan timbal tinggi menanggung risiko anemia yang secara substansial lebih besar. Sebaliknya, variabel usia tidak menunjukkan korelasi yang bermakna terhadap kejadian anemia ($p > 0,05$).

Simpulan: Asupan zat besi dan kadar timbal darah berhubungan signifikan dengan kejadian anemia, dengan asupan zat besi sebagai faktor dominan. Oleh karena itu, pencegahan anemia perlu dilakukan melalui peningkatan asupan zat besi dan pengendalian paparan timbal.

Kata kunci: Paparan; Timbal; Nutrisi; Anemia; Remaja Putri

ABSTRACT

Title: *The Interaction Between Lead Exposure and Nutritional Status on the Incidence of Anemia Among Adolescent Girls in a Metal Industrial Area of Tegal Regency*

Background: Anemia among adolescent girls remains a public health issue, particularly in industrial metal-processing areas. In addition to iron deficiency, lead (Pb) exposure contributes to anemia by disrupting hemoglobin synthesis. This study aimed to analyze the associations of iron intake and blood lead levels with the prevalence of anemia among adolescent girls in Tegal Regency

Method: This observational, cross-sectional study involved 83 adolescent girls selected through purposive sampling. Hemoglobin levels were measured using a hematology analyzer (Mindray BC-5000) employing the sodium lauryl sulfate (SLS) method, while blood lead levels were analyzed using atomic absorption spectrophotometry (AAS) (Shimadzu AA-7000). Dietary intake was assessed using a 24-hour recall and analyzed with NutriSurvey software. Data were evaluated using chi-square tests and logistic regression.

Result: Bivariate analysis revealed that both iron intake ($p < 0.001$) and blood lead levels ($p = 0.002$) were significantly associated with the prevalence of anemia. Multivariate analysis identified iron intake as the primary determinant of anemia (OR = 0.015; 95% CI: 0.002–0.088; $p < 0.001$). Furthermore, blood lead levels remained significantly associated with the prevalence of anemia (OR = 0.260; 95% CI: 0.112–0.600; $p = 0.002$). These findings suggest that lower lead levels exert a protective effect, indicating that adolescents with elevated lead exposure face a substantially greater risk of developing anemia. Conversely, age was not significantly associated with the prevalence of anemia ($p > 0.05$).

Conclusion: Both iron intake and blood lead levels are significantly associated with the prevalence of anemia, with iron intake serving as the primary determinant. Consequently, anemia prevention strategies should focus on improving iron intake and controlling environmental lead exposure.

Keywords: Lead; Exposure; Nutritional; Anemia; Adolescent Girls

PENDAHULUAN

Anemia tetap menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat global yang krusial, khususnya bagi remaja putri di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Kerentanan pada fase remaja ini dipicu oleh peningkatan kebutuhan zat besi yang signifikan akibat percepatan pertumbuhan, perkembangan organ reproduksi, dan onset menstruasi. Ketidakseimbangan antara kebutuhan dan asupan zat besi akan mendepleksi cadangan besi tubuh, yang pada gilirannya memicu terjadinya anemia.¹

Berdasarkan Survei Kesehatan Indonesia (SKI) tahun 2023, prevalensi anemia pada perempuan usia 15–24 tahun mencapai 14,6% secara nasional dan meningkat hingga 57,1% di Provinsi Jawa Tengah. Kondisi ini berpotensi menurunkan kemampuan belajar, produktivitas, serta meningkatkan risiko komplikasi kehamilan pada masa reproduksi sehingga pencegahan anemia menjadi salah satu prioritas program kesehatan nasional.^{2,3}

Anemia pada remaja merupakan kondisi multifaktorial yang dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor, antara lain asupan zat gizi, riwayat penyakit, kehilangan darah saat menstruasi, status sosial ekonomi, infeksi, serta faktor lingkungan.⁴ Dari aspek gizi, rendahnya konsumsi zat besi, protein, vitamin C, dan zink dapat menghambat pembentukan hemoglobin.⁵ Selain itu, kebiasaan mengonsumsi teh yang mengandung tanin juga diketahui menghambat absorpsi zat besi non-heme sehingga meningkatkan risiko anemia.^{6,7}

Dari aspek nutrisi, rendahnya konsumsi pangan hewani yang kaya akan zat besi heme menjadi salah satu determinan utama. Meskipun asupan zat besi non-heme dari sumber nabati tergolong tinggi, bioavailabilitasnya yang rendah menuntut kuantitas konsumsi yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan harian. Kondisi ini diperburuk oleh defisiensi mikronutrien pendukung absorpsi besi, seperti protein dan vitamin C, serta tingginya konsumsi inhibitor absorpsi seperti serat, fitat, dan tanin. Secara khusus, senyawa tanin yang terkandung dalam teh diketahui secara kuat menghambat penyerapan zat besi non-heme, sehingga secara langsung mengganggu sintesis hemoglobin dan meningkatkan risiko anemia defisiensi besi.⁸ Interaksi tanin dapat menggagalkan proses absorpsi meskipun asupan zat besi dari makanan atau suplementasi telah memadai.⁹ Dalam konteks sosiokultural, hal ini menjadi sangat relevan di Kabupaten Tegal yang memiliki tradisi "MOCI" (minum teh bersama) sebagai simbol kohesi sosial keluarga dan Masyarakat. Kebiasaan mengonsumsi teh bersamaan dengan waktu makan dapat menurunkan absorpsi zat besi non-heme karena kandungan polifenol dan tanin membentuk kompleks yang sulit diserap di usus. Efek ini terutama terjadi pada individu dengan asupan zat besi heme yang rendah atau konsumsi vitamin C yang tidak mencukupi.⁹

Kabupaten Tegal merupakan salah satu sentra industri pengecoran dan pengolahan logam di Indonesia. Aktivitas industri tersebut menghasilkan emisi dan limbah yang mengandung berbagai polutan, termasuk timbal (Pb), yang berpotensi mencemari udara, tanah, dan air di sekitar permukiman. Penelitian sebelumnya melaporkan kadar timbal pada tanah di Desa Pesarean mencapai 398.489 ppm, jauh melebihi ambang batas yang direkomendasikan. Selain itu, rata-rata kadar timbal dalam darah masyarakat di wilayah tersebut juga dilaporkan relatif tinggi, sehingga menunjukkan adanya paparan kronis pada masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri.¹⁰

Penelitian sebelumnya (Wijayanti, 2022) melaporkan bahwa kadar timbal pada tanah di Desa Pesarean Kabupaten Tegal mencapai 398.489 ppm, angka yang jauh melampaui ambang batas normal.¹⁰ Akibat tingkat pencemaran tersebut, wilayah pesarean ditetapkan sebagai prioritas nasional untuk program remediasi oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada periode 2021–2025.¹¹ Rata-rata kadar timbal dalam darah masyarakat di wilayah di Desa Pesarean Kabupaten Tegal dilaporkan relatif tinggi mencapai 20 mg/dL, sehingga menunjukkan adanya paparan kronis pada masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri.¹²

Paparan timbal diketahui dapat menghambat aktivitas enzim aminolevulinate dehidratase (ALAD) dan ferrochelataze yang berperan penting dalam sintesis heme. Gangguan pada jalur tersebut menyebabkan penurunan pembentukan hemoglobin dan meningkatkan risiko terjadinya anemia¹³. Kondisi ini menjadi perhatian penting karena prevalensi anemia pada remaja putri di wilayah industri logam Adiwerna pada tahun 2024 mencapai 45,5%, jauh lebih tinggi dibandingkan target nasional penurunan anemia sebesar 28%¹⁴. Temuan tersebut menunjukkan bahwa anemia di wilayah ini kemungkinan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor gizi, tetapi juga oleh paparan logam berat dari lingkungan.¹³

Meskipun hubungan antara defisiensi zat besi dan anemia telah banyak dilaporkan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada faktor gizi tanpa mempertimbangkan paparan lingkungan sebagai faktor risiko. Sebaliknya, penelitian mengenai paparan timbal lebih banyak mengevaluasi dampaknya terhadap kadar timbal dalam darah tanpa mengkaji interaksinya dengan status gizi dalam kejadian anemia, khususnya pada remaja putri yang tinggal di kawasan industri logam. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan bukti mengenai kontribusi simultan faktor nutrisi dan paparan timbal terhadap kejadian anemia pada populasi tersebut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara asupan zat gizi dan kadar timbal dalam darah dengan kejadian anemia pada remaja putri di kawasan industri logam Kabupaten Tegal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi pencegahan anemia yang tidak hanya berfokus pada perbaikan status gizi, tetapi juga mempertimbangkan pengendalian paparan timbal di lingkungan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif observasional dengan rancangan potong lintang (*cross-sectional*) untuk mengevaluasi hubungan antara kadar timbal (Pb) dalam darah dan kejadian anemia pada remaja putri yang tinggal di sekitar kawasan industri logam Kabupaten Tegal.

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2025 di wilayah kerja Puskesmas Adiwerna yang meliputi Desa Pesarean dan Puskesmas Talang yang meliputi Desa Kebasen, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. Kedua wilayah tersebut dipilih karena berada di sekitar kawasan industri logam yang berpotensi menjadi sumber paparan timbal bagi masyarakat.

Sampel penelitian adalah remaja putri berusia 12–19 tahun yang berdomisili di sekitar kawasan industri logam dan tercatat sebagai wilayah binaan Puskesmas Adiwerna maupun Puskesmas Talang. Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

Kriteria inklusi meliputi remaja putri yang telah menetap di wilayah penelitian selama minimal tiga tahun, tidak sedang hamil, tidak mengonsumsi suplemen zinc selama penelitian berlangsung, serta bersedia mengikuti seluruh rangkaian penelitian dengan menandatangani lembar persetujuan (*informed consent*). Kriteria eksklusi meliputi riwayat penyakit kronis, infeksi akut pada saat pengambilan data, riwayat transfusi darah, dan menolak dilakukan pengambilan sampel darah vena.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kejadian anemia, sedangkan variabel bebas meliputi kadar timbal (Pb) darah. Variabel kovariat yang dianalisis meliputi usia, indeks massa tubuh (IMT), asupan protein, asupan zat besi, asupan vitamin C, dan asupan zinc.

Informasi mengenai karakteristik responden dikumpulkan melalui wawancara langsung. Asupan gizi meliputi protein, zat besi, vitamin C, dan zinc dikumpulkan menggunakan metode 24-hour food recall, kemudian dianalisis dengan perangkat lunak NutriSurvey untuk memperoleh nilai konsumsi zat gizi yang selanjutnya dibandingkan dengan Angka Kecukupan Gizi (AKG) sesuai kelompok umur.

Pemeriksaan kadar hemoglobin dilakukan terhadap sampel darah vena sebanyak 1 mL yang dimasukkan ke dalam tabung EDTA. Analisis dilakukan menggunakan hematology analyzer Mindray BC-5000 (Mindray, China) dengan metode Sodium Lauryl Sulfate (SLS). Hasil pemeriksaan dinyatakan dalam satuan gram per desiliter (g/dL) dan diklasifikasikan berdasarkan kriteria WHO.

Pengukuran kadar Pb darah dilakukan terhadap sampel darah vena sebanyak 5 mL menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Shimadzu AA-7000 (Shimadzu, Jepang). Seluruh proses analisis mengikuti prosedur operasional laboratorium untuk menjamin validitas dan ketelitian hasil pengukuran.

Pelaksanaan penelitian diawali dengan koordinasi bersama pihak puskesmas dan pemerintah desa, dilanjutkan dengan identifikasi calon responden berdasarkan data sasaran remaja putri. Responden yang memenuhi kriteria inklusi diberikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian, kemudian diminta memberikan persetujuan tertulis untuk berpartisipasi. Selanjutnya dilakukan wawancara karakteristik responden, penilaian asupan makanan menggunakan metode 24-hour food recall, pengambilan sampel darah vena untuk pemeriksaan kadar hemoglobin dan kadar Pb darah, pengolahan data, serta analisis statistik sesuai tujuan penelitian.

Data dianalisis menggunakan IBM SPSS Statistics. Analisis univariat dilakukan untuk menggambarkan karakteristik responden dalam bentuk distribusi frekuensi, persentase, rerata, dan simpangan baku. Hubungan antara kadar Pb darah dengan kejadian anemia dianalisis menggunakan uji Chi-square. Variabel yang memenuhi kriteria seleksi pada analisis bivariat selanjutnya dimasukkan ke dalam model regresi logistik untuk

mengidentifikasi faktor yang berhubungan secara independen dengan kejadian anemia. Seluruh pengujian statistik menggunakan tingkat kemaknaan $p < 0,05$.

Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro dengan Nomor 298/EA/KEPK-FKM/2025. Seluruh responden dan orang tua/wali telah memberikan persetujuan tertulis sebelum mengikuti penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Karakteristik Subjek Penelitian (n = 83)

Karakteristik	n	%	Median (Min–Maks)
Usia			15 (13–18)
Remaja awal	16	19,3	
Remaja tengah	37	44,6	
Remaja akhir	30	36,1	
Indeks Massa Tubuh			19,17 (11,10–34,20)
Kurang	40	48,2	
Normal	40	48,2	
Lebih	2	2,4	
Obesitas	1	1,2	
Kejadian Anemia			12,6 (8,00–16,30)
Anemia	31	37,3	
Tidak anemia	52	62,7	
Kadar Timbal Darah			19,63 (6,49–28,85)
Rendah	9	10,8	
Sedang	35	42,2	
Tinggi	39	47,0	

Tabel 1 menunjukkan bahwa dari 83 remaja putri, sebagian besar berada pada kelompok remaja tengah (44,6%) dengan median usia 15 tahun (13–18 tahun). Fase ini merupakan periode pertumbuhan pesat yang diiringi oleh peningkatan kebutuhan zat gizi, khususnya zat besi, sehingga berpotensi meningkatkan risiko anemia apabila asupan nutrisi tidak mencukupi.¹⁵ Menarche dini memicu peningkatan kebutuhan zat besi lebih awal akibat kehilangan darah menstruasi, yang berisiko mempercepat terjadinya defisiensi zat besi jika tidak diimbangi dengan asupan yang adekuat.¹⁶

Berdasarkan indeks massa tubuh (IMT), masing-masing 48,2% responden memiliki status gizi kurang dan normal, sedangkan status gizi lebih dan obesitas hanya ditemukan pada 3,6% responden. Sebanyak 37,3% responden mengalami anemia dengan median kadar hemoglobin 12,6 g/dL (8,00–16,30 g/dL). Hasil pemeriksaan kadar timbal (Pb) darah menunjukkan bahwa hampir setengah responden (47,0%) berada pada kategori kadar Pb tinggi, diikuti kategori sedang (42,2%) dan rendah (10,8%), dengan median kadar Pb darah 19,63 µg/dL (6,49–28,85 µg/dL). Temuan ini secara substansial mengindikasikan bahwa mayoritas remaja telah mengalami paparan timbal pada tingkat yang relatif tinggi. Sebagai implikasinya, kondisi tersebut berpotensi memicu berbagai risiko kesehatan yang signifikan, khususnya yang berkaitan dengan gangguan hematologis. Secara toksikologis, paparan timbal diketahui dapat menghambat aktivitas enzim ALAD dan ferrochelatase dalam jalur sintesis heme, yang secara langsung mengganggu pembentukan hemoglobin dan memicu terjadinya anemia.^{19,20}

Selain karakteristik responden, penelitian ini juga menggambarkan status asupan zat gizi yang berperan dalam pembentukan hemoglobin, meliputi asupan protein, zat besi, vitamin C, dan zinc. Distribusi asupan zat gizi responden disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Asupan zat gizi responden (n = 83)

Karakteristik	n	%	Median (Min–Maks)
Asupan Protein			70,70 (42,60–154,30)
Defisit	58	69,9	
Normal	21	25,3	
Lebih	4	4,8	
Asupan Zat Besi			95 (28,80–185,80)
Defisit	41	49,4	
Normal	39	47,0	
Lebih	3	3,6	
Asupan Vitamin C			58 (25,00–132,10)
Defisit	72	86,7	
Normal	9	10,8	
Lebih	2	2,4	

Karakteristik	n	%	Median (Min–Maks)
Asupan Zink			63 (28,80–145,40)
Defisit	80	96,4	
Normal	1	1,2	
Lebih	2	2,4	

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar responden mengalami defisit asupan protein (69,9%), zat besi (49,4%), vitamin C (86,7%), dan zinc (96,4%). Temuan ini mengindikasikan adanya masalah defisiensi gizi mikro yang cukup serius pada remaja putri Secara patofisiologis, kekurangan zat besi berkontribusi langsung terhadap penurunan sintesis hemoglobin¹⁷. Kondisi ini diperparah oleh rendahnya asupan vitamin C yang menghambat absorpsi zat besi non-heme, serta defisiensi zink yang mengganggu fungsi enzim dalam proses eritropoiesis¹⁸.

Nilai median Indeks Massa Tubuh (IMT) responden tercatat sebesar 19,17 kg/m² (rentang: 11,10–34,20 kg/m²). Meskipun nilai tersebut merepresentasikan status gizi dalam kategori normal, rentang distribusi yang lebar mengindikasikan adanya disparitas nutrisi yang substansial. Variasi ini berpotensi meningkatkan risiko anemia, terutama pada kelompok dengan IMT rendah yang secara inheren lebih rentan terhadap defisiensi nutrisi. Lebih jauh lagi, kondisi ini menegaskan bahwa status gizi makro tidak selalu mencerminkan kecukupan zat gizi mikro. Oleh karena itu, remaja dengan status gizi yang tergolong normal sekalipun tetap memiliki kerentanan yang terhadap kejadian anemia akibat defisiensi mikronutrien.

Secara keseluruhan, tingginya insiden anemia pada populasi remaja di wilayah studi tidak hanya disebabkan oleh defisiensi asupan gizi, melainkan juga diperberat oleh paparan timbal kronis dari lingkungan industri logam. Interaksi sinergis antara defisiensi zat gizi mikro dan toksisitas logam berat ini secara signifikan memperparah gangguan hematopoiesis.

Berdasarkan karakteristik responden dan status gizi yang telah diuraikan, selanjutnya dilakukan analisis bivariat untuk mengevaluasi hubungan antara faktor gizi (asupan protein, zat besi, vitamin C, dan zinc) serta faktor lingkungan berupa kadar timbal (Pb) darah dan usia remaja dengan kejadian anemia pada remaja putri. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan faktor gizi dan lingkungan dengan kejadian anemia

Variabel	Kategori	Anemia n (%)	Tidak Anemia n (%)	p-value
Asupan Zat Besi	Kurang	28 (68,3)	13 (31,7)	0,0001*
	Normal	3 (7,7)	36 (92,3)	
	Lebih	0 (0,0)	3 (100)	
Asupan Vitamin C	Kurang	25 (34,7)	47 (65,3)	0,444
	Normal	5 (55,6)	4 (44,4)	
	Lebih	1 (50,0)	1 (50,0)	
Asupan Zinc	Kurang	29 (36,3)	51 (63,8)	0,395
	Normal	1 (100)	0 (0,0)	
	Lebih	1 (50,0)	1 (50,0)	
Asupan Protein	Kurang	22 (37,9)	36 (62,1)	0,808
	Normal	7 (33,3)	14 (66,7)	
	Lebih	2 (50,0)	2 (50,0)	
Kadar Timbal (Pb)	Rendah	2 (6,5)	7 (13,5)	0,001
	Menengah	6 (19,4)	29 (55,7)	
	Tinggi	23 (74,1)	16 (30,8)	
Usia Remaja	Awal	3 (18,8)	13 (81,3)	0,101
	Tengah	18 (48,6)	19 (51,4)	
	Akhir	10 (33,3)	20 (66,7)	

Keterangan: *(signifikan)

Berdasarkan Tabel 3, hasil analisis bivariat menggunakan uji *chi-square* mengindikasikan adanya hubungan yang signifikan antara asupan zat besi dan kadar timbal (Pb) dalam darah dengan kejadian anemia pada remaja putri. Secara spesifik, prevalensi anemia tertinggi ditemukan pada kelompok dengan asupan zat besi yang kurang (68,3%), berbanding terbalik dengan kelompok asupan normal (7,7%). Perbedaan proporsi ini terbukti bermakna secara statistik ($p < 0,001$), yang menegaskan bahwa defisit asupan zat besi berkorelasi kuat dengan tingginya kejadian anemia. Selain asupan zat besi, kadar Pb dalam darah juga menunjukkan korelasi yang signifikan dengan kejadian anemia ($p = 0,001$).

Proporsi anemia meningkat secara konsisten seiring dengan kenaikan kategori kadar Pb, dengan prevalensi tertinggi tercatat pada kelompok kadar Pb tinggi (74,1%), diikuti oleh kelompok menengah (19,4%) dan rendah

(6,5%). Temuan ini mengonfirmasi bahwa peningkatan kadar Pb dalam darah berbanding lurus dengan eskalasi kejadian anemia pada remaja. Sebaliknya, analisis terhadap sejumlah variabel independen lainnya tidak menunjukkan hubungan yang bermakna secara statistik dengan kejadian anemia ($p > 0,05$). Pada variabel asupan vitamin C ($p = 0,444$), proporsi anemia tercatat sebesar 34,7% pada kelompok asupan kurang, 55,6% pada asupan normal, dan 50% pada asupan lebih. Pola distribusi serupa juga ditemukan pada asupan zink ($p = 0,395$), di mana prevalensi anemia tersebar sebesar 36,3% pada kelompok asupan kurang, 100% pada asupan normal, dan 50% pada asupan lebih.

Demikian pula, asupan protein tidak memiliki korelasi yang bermakna ($p = 0,808$), dengan sebaran kasus anemia sebesar 37,9% pada kelompok asupan kurang, 33,3% pada asupan normal, dan 50% pada asupan lebih. Lebih lanjut, kategori usia juga tidak terbukti sebagai determinan yang signifikan terhadap kejadian anemia ($p = 0,101$), meskipun secara deskriptif prevalensi tertinggi diamati pada kelompok remaja tengah (48,6%), yang kemudian diikuti oleh remaja akhir (33,3%) dan remaja awal (18,8%).

Variabel yang menunjukkan hubungan pada analisis bivariat selanjutnya dianalisis menggunakan regresi logistik untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berhubungan secara independen dengan kejadian anemia pada remaja putri. Hasil analisis multivariat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis regresi logistik faktor yang berhubungan dengan kejadian anemia

No	Variabel	B	p-value	OR	95 % CI	
					Lower	Upper
1	Kadar Timbal (Pb) Tinggi Rendah (referensi)	-1,349	0,002	0,260	0,112	0,600
2	Asupan Zat Besi Cukup Kurang (referensi)	-4,213	0,0001	0,015	0,002	0,088
3	Usia Remaja Tengah vs awal	1,171	0,236	3,225	0,464	22,415
	Akhir vs awal	-1,151	0,157	0,316	0,064	1,555

Analisis regresi logistik multivariat menunjukkan bahwa kadar timbal (Pb) dalam darah memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian anemia ($OR = 0,260$; $p = 0,002$). Nilai rasio odds (OR) di bawah 1 tersebut mengindikasikan bahwa kadar Pb yang rendah bertindak sebagai faktor protektif; dengan kata lain, individu dengan kadar Pb darah yang tinggi memiliki risiko yang jauh lebih besar untuk mengalami anemia. Secara patofisiologis, Pb mengganggu sintesis hemoglobin melalui inhibisi enzim *aminolevulinate dehydratase* (ALAD) dan *ferrochelatase*. Inhibisi pada kedua enzim esensial ini memicu kegagalan pembentukan heme, yang secara langsung berdampak pada penurunan kadar hemoglobin dan bermanifestasi sebagai anemia.²⁴

Selain itu, toksisitas timbal secara sistemik merusak profil hematologi melalui supresi produksi hemoglobin dan pemendekan usia hidup eritrosit²⁵. Oleh karena itu, korelasi ini memperkuat hipotesis mengenai adanya hubungan kausal antara paparan timbal dan degradasi status hemoglobin pada remaja, khususnya bagi mereka yang bermukim di lingkungan dengan risiko tinggi paparan logam berat.²⁴

Meskipun demikian, patogenesis anemia pada populasi ini bersifat multifaktorial. Selain paparan timbal, asupan zat besi teridentifikasi sebagai determinan yang sangat signifikan terhadap kejadian anemia ($OR = 0,015$; $p = 0,0001$). Nilai tersebut merepresentasikan bahwa remaja dengan asupan zat besi yang memadai memiliki risiko anemia yang secara substansial lebih rendah dibandingkan dengan mereka yang asupannya inadeguat. Secara fisiologis, interaksi antara timbal dan zat besi terjadi melalui kompetisi dalam proses absorpsi intestinal yang dimediasi oleh reseptor *Divalent Metal Transporter 1* (DMT1).^{24,26,27}

Analisis lebih lanjut bahkan membuktikan bahwa asupan zat besi merupakan determinan paling dominan terhadap kejadian anemia dibandingkan dengan variabel independen lainnya. Hal ini sejalan dengan konsep patofisiologis dasar bahwa zat besi adalah komponen esensial dalam sintesis heme di sumsum tulang. Defisiensi zat besi secara langsung menghambat proses eritropoiesis, sehingga memicu penurunan kadar hemoglobin darah^{17,19,21}. Kondisi defisiensi ini sangat rentan dialami oleh remaja putri akibat adanya ketidakseimbangan antara asupan nutrisi dan peningkatan kebutuhan metabolisme yang dipicu oleh percepatan pertumbuhan fisiologis serta siklus menstruasi^{22,23}.

Temuan ini konsisten dengan studi Gupta (2022), yang membuktikan bahwa rendahnya asupan zat besi berkorelasi kuat dengan peningkatan prevalensi anemia pada remaja⁵. Dengan demikian, pemenuhan asupan zat besi yang adekuat merupakan strategi preventif yang krusial untuk menekan angka kejadian anemia, khususnya pada remaja putri. Sebaliknya, berbeda dengan kadar timbal dan asupan zat besi, variabel usia tidak menunjukkan hubungan yang bermakna secara statistik terhadap kejadian anemia ($p = 0,236$). Temuan ini mengindikasikan

bahwa variasi rentang usia dalam populasi studi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap fluktuasi risiko anemia. Secara teoretis, masa remaja memang merupakan periode yang sangat rentan terhadap anemia akibat lonjakan kebutuhan nutrisi yang dipicu oleh percepatan pertumbuhan dan perkembangan sistem reproduksi.^{17,28,29}

Hal ini sejalan dengan klasifikasi *World Health Organization* (WHO) yang menetapkan remaja putri sebagai kelompok berisiko tinggi.³⁰ Akan tetapi, sebagaimana dibuktikan dalam studi ini, faktor nutrisi khususnya asupan zat besi memiliki pengaruh yang jauh lebih kuat dan langsung dibandingkan dengan faktor demografis seperti usia. Temuan ini didukung oleh Kassebaum (2016), yang menegaskan bahwa defisiensi zat besi merupakan etiologi utama di balik tingginya prevalensi anemia pada perempuan usia reproduktif. Secara spesifik, asupan nutrisi memberikan kontribusi yang lebih fundamental terhadap patogenesis anemia dibandingkan dengan karakteristik usia itu sendiri.^{17,19}

Oleh karena itu, ketiadaan hubungan yang bermakna antara usia dan kejadian anemia dalam studi ini menegaskan bahwa faktor demografis bukanlah determinan utama; sebaliknya, faktor nutrisi memegang peranan yang paling dominan dalam menentukan risiko anemia pada remaja. Pengaruh timbal terhadap kadar hemoglobin dapat dimitigasi secara efektif oleh tingkat kecukupan zat besi. Hal ini menyoroti krusialnya interaksi antara faktor nutrisi dan lingkungan dalam menentukan status kesehatan remaja.³¹

Dengan demikian, tidak ditemukannya hubungan yang bermakna antara usia dan kejadian anemia dalam studi ini menegaskan bahwa faktor demografis tersebut bukanlah determinan utama. Sebaliknya, faktor nutrisi, khususnya asupan zat besi, memegang peranan yang jauh lebih dominan terhadap risiko anemia pada remaja.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa asupan zat besi dan kadar timbal (Pb) dalam darah berhubungan secara signifikan dengan kejadian anemia pada remaja putri di kawasan industri logam Kabupaten Tegal. Asupan zat besi merupakan faktor yang paling dominan berhubungan dengan kejadian anemia, sedangkan usia remaja tidak menunjukkan hubungan yang bermakna secara statistik. Temuan ini menegaskan bahwa faktor gizi dan paparan lingkungan merupakan determinan penting yang perlu dipertimbangkan dalam upaya pencegahan anemia pada remaja putri di kawasan industri logam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Samson KLI, Fischer JAJ. Associations with cognitive and academic performance in adolescents: a systematic review. *Nutrients*. 2022;14(1):224. <https://doi.org/10.3390/nu14010224>
2. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. *Survei Kesehatan Indonesia 2023*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2023.
3. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. *Laporan Nasional Riskesdas 2018*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan; 2019.
4. Ratna N, Manikam M. Iron deficiency in Indonesia: known facts. *World Nutr J*. 2021;5(S1):1-9. <https://doi.org/10.25220/WNJ.V05.S1.0001>
5. Gupta A, Sharma S, Kumar P, et al. Characterisation of anaemia amongst school going adolescent girls in rural Haryana, India. *Public Health Nutr*. 2022;25:3499-3508. <https://doi.org/10.1017/S1368980022000210>
6. Wahyuni S, Syamiyah N. Systematic review hubungan antara status gizi dan siklus menstruasi dengan kejadian anemia pada remaja putri. *J Baja Health Sci*. 2024;4:17-29. <https://doi.org/10.47080/joubahs.v4i01.2777>
7. Tadesse AW, et al. Anemia prevalence and etiology among women, men, and children in Ethiopia: a study protocol for a national population-based survey. *BMC Public Health*. 2019;19:1-8. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7647-7>
8. Vieux F, Maillot M, Rehm CD, Drewnowski A. Tea consumption patterns in relation to diet quality among children and adults in the United States: analyses of NHANES 2011-2016 data. *Nutrients*. 2019;11:1-17. <https://doi.org/10.3390/nu11112635>
9. Zijl IM, Korver O, Tjiburg LBM. Effect of tea and other dietary factors on iron absorption. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2000;40(5):371-398. <https://doi.org/10.1080/10408690091189194>
10. Wijayanti W, Purwanti I. Kajian remediasi tanah terkontaminasi. *J Tek ITS*. 2022;11:D28-D33. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.83122>
11. Pemerintah Kabupaten Tegal. *Rencana KLHK tata kawasan tercemar limbah B3 di Pesarean jadi destinasi wisata eko budaya* [Internet]. Slawi: Pemerintah Kabupaten Tegal; 2021 Sep 22 [cited 2026 Jun 30]. Available from: <https://setda.tegalkab.go.id/2021/09/22/rencana-klhk-tata-kawasan-tercemar-limbah-b3-di-pesarean-jadi-destinasi-wisata-eko-budaya>.
12. Surip S, Setiani O, Rahfiludin MZ. Hubungan antara kadar timbal dalam darah dengan kadar hemoglobin pada wanita usia subur di lingkungan industri peleburan logam Kecamatan Adiwerna Kabupaten Tegal. *J Kesehat Lingkung Indones*. 2013;12(2):167-170. [doi:10.14710/jkli.12.2.167-170](https://doi.org/10.14710/jkli.12.2.167-170).

13. Olufemi AC, Mji A, Mukhola MS. Potential health risks of lead exposure from early life through later life: implications for public health education. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(23):16006. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316006>
14. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Profil Kesehatan Indonesia 2022. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2023.
15. Endale F, et al. Menstrual abnormality, maternal illiteracy, and household factors as main predictors of anemia among adolescent girls in Ethiopia: systematic review and meta-analysis. *Women's Health*. 2022;18. <https://doi.org/10.1177/17455057221129398>
16. Anwar S, et al. Iron deficiency anemia in teenage girls: the impact of menarche and nutritional care. *Cureus*. 2025. <https://doi.org/10.7759/cureus.84997>
17. Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R. Review on iron and its importance for human health. *J Res Med Sci*. 2014;19:164-174.
18. Elstrott B, et al. The role of iron repletion in adult iron deficiency anemia and other diseases. *Eur J Haematol*. 2020;104:153-161. <https://doi.org/10.1111/ejh.13345>
19. Gardner WM, et al. Prevalence, years lived with disability, and trends in anaemia burden by severity and cause, 1990-2021: findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Haematol*. 2023;10:e713-e734. [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(23\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(23)00160-6)
20. Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: a review. *Interdiscip Toxicol*. 2015;8:55-64. <https://doi.org/10.1515/intox-2015-0009>
21. Hall JE. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. 14th ed. Philadelphia: Elsevier; 2021.
22. World Health Organization. Adolescent Health in the South-East Asia Region. New Delhi: WHO Regional Office for South-East Asia; 2022.
23. Centers for Disease Control and Prevention. CDC's recommended terminology when discussing children's blood lead levels. Atlanta (GA): CDC; 2022.
24. Flora G, Gupta D, Tiwari A. Toxicity of lead: a review with recent updates. *Interdiscip Toxicol*. 2012;5(2):47-58. <https://doi.org/10.2478/v10102-012-0009-2>
25. Lanphear BP, Rauch S, Auinger P, Allen RW, Hornung RW. Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study. *Lancet Public Health*. 2018;3:e177-e184. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(18\)30025-2](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(18)30025-2)
26. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Interaction Profile for Lead, Manganese, Zinc, and Copper. Atlanta (GA): U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service; 2004.
27. Mehta S, et al. A randomized trial of iron- and zinc-biofortified pearl millet-based complementary feeding in children aged 12 to 18 months living in urban slums. *Clin Nutr*. 2022;41:937-947. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.02.014>
28. Piskin E, Cianciosi D, Gulec S, Tomas M, Capanoglu E. Iron absorption: factors, limitations, and improvement methods. *ACS Omega*. 2022;7(24):20441-20456. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01833>
29. World Health Organization. Use and interpretation of haemoglobin concentrations for assessing anaemia status in individuals and populations. Geneva: WHO; 2019.
30. World Health Organization. Strategies to Prevent Anaemia: Recommendations from an Expert Group Consultation. Geneva: WHO; 2016.
31. Safiri S, et al. Burden of anemia and its underlying causes in 204 countries and territories, 1990-2019: results from the Global Burden of Disease Study 2019. *J Hematol Oncol*. 2021;14:1-16. <https://doi.org/10.1186/s13045-021-01202-2>