

Model Early Warning System Berbasis Sekolah untuk Identifikasi Remaja yang Berisiko Mengalami Pernikahan Dini

Ekry Binti Farizal*, Cindy Rosanti

1,2 Program Studi Sarjana Kebidanan dan Pendidikan Profesi Bidan, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Riau Indonesia, Rengat, Riau, Indonesia

*E-mail Korespondensi: (ekrybintifarizal988@gmail.com, cindy18@gmail.com)

ABSTRAK

Pernikahan sebelum usia 19 tahun merupakan masalah kesehatan, pendidikan, perlindungan anak, dan sosial yang memerlukan deteksi risiko sebelum keputusan perkawinan terbentuk. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan melakukan validasi internal Model Early Warning System (EWS) berbasis sekolah untuk mengidentifikasi remaja dengan kerentanan tinggi terhadap pernikahan dini di Kecamatan Rengat, Kabupaten Indragiri Hulu. Studi pengembangan model prediksi dilakukan pada September 2025. Dataset demonstrasi sintetis terkalibrasi terdiri atas 800 siswa usia 15–18 tahun dari 10 klaster sekolah. Outcome referensi adalah kerentanan tinggi terhadap pernikahan sebelum usia 19 tahun dalam 12 bulan, ditetapkan melalui modul outcome terpisah berdasarkan intensi menikah <19 tahun, tekanan keluarga/pasangan, dan adanya rencana perkawinan konkret. Sembilan prediktor ditetapkan a priori dan dianalisis dengan regresi logistik multivariabel tanpa seleksi berbasis p-value; validasi internal menggunakan bootstrap 500 replikasi. Data resmi menunjukkan Kabupaten Indragiri Hulu memiliki 487.039 penduduk pada 2024, Kecamatan Rengat 52.999 jiwa, dan jejaring pelayanan kesehatan remaja tersedia pada seluruh 20 Puskesmas. Pada dataset simulasi, 169/800 remaja (21,1%) memenuhi outcome kerentanan tinggi. Faktor terkuat adalah penerimaan orang tua terhadap perkawinan <19 tahun (aOR 3,45; IK95% 2,15–5,52), norma teman sebaya yang menerima perkawinan dini (aOR 2,70; IK95% 1,89–3,85), komunikasi/dukungan keluarga lemah (aOR 2,29; IK95% 1,34–3,90), dan ketidakhadiran sekolah $\geq 10\%$ (aOR 2,10; IK95% 1,45–3,05). AUC apparent 0,792 (IK95% 0,753–0,830) dan AUC terkoreksi optimism 0,779; Brier score terkoreksi 0,135 dan calibration slope 0,935. Skor sederhana 0–15 mengelompokkan risiko rendah 0–3 (5,2%), sedang 4–6 (19,2%), dan tinggi ≥ 7 (49,2%). Model berpotensi digunakan sebagai alat skrining suportif di sekolah, tetapi belum boleh digunakan untuk keputusan individual sebelum validasi prospektif dan eksternal pada data lapangan.

Kata kunci:

early warning system; pernikahan dini; remaja; sekolah; model prediksi; Indragiri Hulu

1. PENDAHULUAN

Pernikahan dini memiliki konsekuensi multidimensional terhadap kesehatan reproduksi, keberlanjutan pendidikan, kesiapan psikososial, peluang ekonomi, dan perlindungan remaja. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2019 menetapkan usia minimum perkawinan 19 tahun bagi perempuan dan laki-laki. Meskipun demikian, dispensasi kawin dan praktik perkawinan pada usia muda masih memerlukan perhatian karena keputusan perkawinan dibentuk oleh interaksi faktor individu, keluarga, sekolah, ekonomi, norma sosial, serta lingkungan.

Tinjauan sistematis di Indonesia menunjukkan determinan pernikahan anak mencakup keterbatasan pendidikan, kemiskinan atau ketidakstabilan ekonomi, keyakinan dan norma sosial, budaya, serta lemahnya implementasi perlindungan hukum. Faktor-faktor tersebut tidak bekerja secara terpisah. Ketidakhadiran sekolah, aspirasi pendidikan yang rendah, komunikasi keluarga yang lemah, penerimaan orang tua terhadap perkawinan dini, dan norma teman sebaya dapat membentuk jalur kumulatif yang meningkatkan kerentanan seorang remaja.

Pendekatan pencegahan di sekolah umumnya masih berfokus pada edukasi universal. Strategi ini penting, tetapi kurang mampu membedakan siswa yang membutuhkan dukungan tambahan. Early Warning System (EWS) dapat memanfaatkan indikator sederhana yang tersedia melalui asesmen sekolah untuk memperkirakan tingkat kerentanan dan mengarahkan dukungan secara proporsional. EWS yang etis tidak dimaksudkan memberi label, menghukum, mengeluarkan siswa, atau melaporkan kehidupan pribadi secara terbuka, melainkan memicu konseling rahasia, komunikasi keluarga yang aman, dukungan pendidikan, dan rujukan layanan ketika diperlukan.

Konteks Rengat mendukung pengembangan EWS berbasis sekolah. BPS Kabupaten Indragiri Hulu melaporkan 487.039 penduduk pada 2024; Kecamatan Rengat memiliki 52.999 penduduk. Kelompok usia 15–19 tahun di kabupaten berjumlah 41.036 jiwa, termasuk 19.971 perempuan. Pada tahun ajaran 2024/2025 terdapat 11 SMP di bawah Kemendikbudristek di Kecamatan Rengat; jumlah murid SMA tercatat 1.798 dan murid SMK 1.164. BPS juga menghimpun 14 putusan dispensasi kawin di Pengadilan Agama Rengat pada 2024. Dispensasi merupakan indikator administratif dan tidak boleh ditafsirkan sebagai prevalensi perkawinan anak.

Dinas Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu tahun 2024 mencatat seluruh 20 Puskesmas melaksanakan kegiatan kesehatan remaja dan penjangkaran kesehatan sekolah. Sebanyak 398 dari 404 Posyandu (98,5%) aktif. Terdapat 4.266 calon pengantin yang memperoleh layanan kesehatan; 2.135 di antaranya perempuan dan 221 perempuan (10,4%) mengalami anemia. Dinas Kesehatan juga mencatat 41 kasus HIV pada 2024, dengan enam kasus usia 20–24 tahun dan

belum ditemukan kasus pada kelompok 15–19 tahun; 8.975 dari estimasi 10.305 orang berisiko HIV (87,1%) memperoleh pelayanan deteksi dini sesuai standar. Data ini menunjukkan tersedianya jejaring layanan yang dapat mendukung rujukan EWS.

Penelitian ini bertujuan: (1) merumuskan EWS sekolah dengan prediktor yang mudah diukur dan tidak menghakimi; (2) mengembangkan model multivariabel untuk mengestimasi kerentanan pernikahan dini; (3) mengevaluasi diskriminasi, kalibrasi, dan manfaat keputusan model melalui validasi internal; serta (4) menyusun skor sederhana dan alur tindak lanjut rendah-sedang-tinggi yang dapat diuji lebih lanjut pada sekolah di Rengat.

2. METODE

Desain, lokasi, dan periode penelitian

Penelitian dirancang sebagai studi pengembangan model prediksi dengan validasi internal berbasis sekolah dan dilaksanakan di Kecamatan Rengat, Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau, pada September 2025. Model ditujukan sebagai alat skrining kerentanan, bukan diagnosis dan bukan prediksi pasti terjadinya perkawinan. Pelaporan mengikuti prinsip TRIPOD+AI untuk model prediksi berbasis regresi, sedangkan potensi risiko bias ditelaah menggunakan domain PROBAST.

Populasi, kriteria, dan besar sampel

Populasi target adalah siswa usia 15–18 tahun yang terdaftar pada SMP/MTs kelas akhir dan SMA/SMK/MA di Kecamatan Rengat. Kriteria inklusi adalah berusia 15–18 tahun, belum menikah, mampu mengisi instrumen secara mandiri, dan bersedia mengikuti penelitian; peserta <18 tahun memerlukan assent serta persetujuan orang tua/wali sesuai persetujuan etik. Kriteria eksklusi adalah kondisi akut yang menghambat partisipasi atau pengisian instrumen tidak memadai. Target demonstrasi ditetapkan 800 siswa untuk sembilan parameter prediktor utama dengan prevalensi outcome yang diantisipasi sekitar 20%, sehingga tersedia sekitar 160 kejadian dan rasio kejadian terhadap parameter yang memadai untuk pengembangan awal. Perhitungan studi lapangan final perlu dikonfirmasi kembali dengan pendekatan Riley berdasarkan prevalensi dan Cox-Snell R^2 dari data pilot.

Teknik sampling dan struktur kluster

Sepuluh sekolah dipilih dengan stratified cluster sampling untuk mewakili jenjang SMP/MTs dan SMA/SMK/MA serta variasi wilayah kelurahan/desa. Dari setiap sekolah dipilih 80 siswa menggunakan systematic random sampling dari daftar siswa yang memenuhi kriteria, sehingga total target 800. Struktur kluster sekolah dipertahankan pada analisis inferensial melalui cluster-robust standard errors. Data identitas personal tidak dimasukkan ke dataset analitik EWS.

Outcome referensi, prediktor, dan rancangan EWS

Outcome referensi adalah kerentanan tinggi mengalami perkawinan sebelum usia 19 tahun dalam 12 bulan berikutnya. Outcome diukur melalui modul terpisah dan dinyatakan positif apabila terdapat sekurang-kurangnya dua dari tiga indikator: (1) intensi kuat untuk menikah sebelum usia 19 tahun; (2) tekanan nyata dari keluarga atau pasangan untuk menikah sebelum 19 tahun; dan (3) adanya pembicaraan/rencana perkawinan konkret atau pertunangan. Outcome ini merupakan proksi kerentanan dan bukan kejadian perkawinan aktual; validasi prospektif terhadap kejadian nyata tetap diperlukan.

Definisi prediktor dan instrumen

Sembilan prediktor ditetapkan sebelum analisis: usia 17–18 tahun; ketidakhadiran sekolah $\geq 10\%$ pada semester terakhir; aspirasi pendidikan rendah; literasi kesehatan reproduksi dan hukum perkawinan rendah; kerentanan ekonomi keluarga; komunikasi/dukungan keluarga lemah; penerimaan orang tua terhadap perkawinan sebelum 19 tahun; norma teman sebaya yang menerima perkawinan dini; dan keterikatan/engagement sekolah rendah. Instrumen komposit dirancang menggunakan skala Likert dan pertanyaan faktual. Dalam dataset simulasi, reliabilitas internal masing-masing domain berada pada rentang Cronbach's α 0,79–0,87 dan uji kesepakatan outcome dengan penilaian konselor menghasilkan kappa 0,81.

Komponen Early Warning System

Tabel 1. Komponen, definisi operasional, dan tindak lanjut EWS berbasis sekolah

Komponen	Definisi/indikator	Skor	Tindak lanjut
Usia	17–18 tahun	1	Bukan faktor tunggal; interpretasi bersama indikator lain
Kehadiran	Tidak hadir $\geq 10\%$ semester terakhir	2	Tinjau penyebab absensi; dukungan akademik dan sosial
Aspirasi & literasi	Aspirasi pendidikan rendah (1); literasi kespro/hukum perkawinan rendah (2)	1–3	Konseling karier, edukasi hak/kespro, rencana pendidikan
Ekonomi keluarga	Kerentanan ekonomi yang mengganggu keberlanjutan sekolah	1	Hubungkan bantuan sosial/beasiswa; hindari stigma kemiskinan

Komponen	Definisi/indikator	Skor	Tindak lanjut
Keluarga	Komunikasi/dukungan lemah (2); orang tua menerima perkawinan <19 tahun (3)	2–5	Konseling keluarga aman; asesmen tekanan/paksaan
Teman sebaya & sekolah	Norma teman sebaya menerima nikah dini (2); engagement sekolah rendah (1)	1–3	Peer education, mentoring, aktivitas keterikatan sekolah
Prinsip keselamatan	Skor total 0–15; tidak memuat identitas sensitif; hasil rahasia	—	Rendah: edukasi universal; sedang: asesmen ulang; tinggi: konseling + rujukan Puskesmas/perlindungan bila perlu

Pengembangan model dan penyederhanaan skor

Seluruh prediktor yang ditetapkan a priori dimasukkan bersama-sama ke regresi logistik multivariabel; tidak dilakukan seleksi stepwise atau seleksi berbasis p-value. Bentuk prediktor dibatasi pada indikator biner agar dapat diterapkan pada formulir sekolah sederhana. Koefisien model digunakan untuk menghitung probabilitas individual. Skor EWS sederhana 0–15 diturunkan dari koefisien yang diskalakan dan dibulatkan: usia 17–18 tahun 1 poin; ketidakhadiran $\geq 10\%$ 2; aspirasi pendidikan rendah 1; literasi rendah 2; kerentanan ekonomi 1; komunikasi keluarga lemah 2; penerimaan orang tua 3; norma teman sebaya 2; engagement sekolah rendah 1 poin.

Analisis statistik, validasi internal, dan etik

Kinerja model dilaporkan dengan area under the ROC curve (AUC), Brier score, calibration-in-the-large, calibration slope, sensitivitas, spesifisitas, predictive values, dan decision-curve analysis. Optimism dinilai dengan bootstrap 500 replikasi tanpa memecah data secara acak menjadi training-test set. Interval kepercayaan AUC diperoleh melalui bootstrap 1.000 replikasi. Standard error koefisien dibuat robust terhadap kluster sekolah. Pada studi lapangan, missing data direncanakan ditangani dengan multiple imputation apabila asumsi missing at random dapat dipertanggungjawabkan. Prinsip etik meliputi privasi, minimisasi data, larangan penggunaan skor untuk sanksi, akses terbatas kepada konselor terlatih, dan jalur rujukan bila terdapat paksaan, kekerasan, atau kebutuhan perlindungan anak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Statistik lokal yang relevan ditampilkan pada Tabel 2. Besarnya populasi remaja, keberadaan jejaring sekolah, serta pelaksanaan kegiatan kesehatan remaja pada seluruh Puskesmas memberikan dasar operasional untuk menguji EWS sekolah yang terhubung dengan layanan kesehatan. Data dispensasi kawin digunakan hanya sebagai indikator administratif kebutuhan pencegahan.

Tabel 2. Statistik resmi Rengat dan Kabupaten Indragiri Hulu yang relevan dengan EWS pernikahan dini

Indikator	Nilai
Penduduk Kabupaten Indragiri Hulu, 2024	487.039 jiwa
Penduduk usia 15–19 tahun, 2024	41.036 jiwa
Perempuan usia 15–19 tahun, 2024	19.971 jiwa
Penduduk Kecamatan Rengat, 2024	52.999 jiwa
SMP Kemendikbudristek di Rengat, 2024/2025	11 sekolah
Murid SMA di Rengat, 2024/2025	1.798 siswa
Murid SMK di Rengat, 2024/2025	1.164 siswa
Putusan dispensasi kawin PA Rengat, 2024	14 perkara
Puskesmas melaksanakan kegiatan kesehatan remaja	20/20 (100%)
Posyandu aktif, 2024	398/404 (98,5%)
Calon pengantin mendapat layanan kesehatan	4.266; perempuan 2.135
Catin perempuan dengan anemia	221 (10,4%)
Kasus HIV / deteksi dini risiko HIV, 2024	41 kasus; 8.975/10.305 (87,1%)

EWS dirancang dengan prinsip bahwa risiko bukan identitas. Prediktor dibatasi pada faktor yang dapat ditindaklanjuti melalui dukungan sekolah, keluarga, dan layanan kesehatan. Informasi seksual pribadi yang tidak diperlukan, status kesehatan sensitif, serta data yang dapat memicu stigma tidak dijadikan komponen skor. Hasil skrining ditampilkan dalam tiga tingkat tindak lanjut dan tidak boleh diumumkan kepada teman sebaya atau digunakan sebagai dasar hukuman akademik.

Karakteristik dataset simulasi dan outcome

Faktor dengan proporsi risiko tertinggi secara bivariat adalah penerimaan orang tua terhadap perkawinan <19 tahun, ketidakhadiran sekolah $\geq 10\%$, aspirasi pendidikan rendah, komunikasi keluarga lemah, kerentanan ekonomi, dan norma teman sebaya. Sebagai contoh, 77 dari 186 siswa (41,4%) dengan penerimaan orang tua terhadap perkawinan dini memenuhi outcome, dibanding 92 dari 614 siswa (15,0%) tanpa faktor tersebut.

Tabel 3. Distribusi prediktor dan kerentanan pernikahan dini pada dataset simulasi (n=800)

Karakteristik/prediktor	Total / outcome positif	Uji bivariat
Total peserta; outcome kerentanan tinggi	800; 169 (21,1%)	—
Perempuan	429; 87 (20,3%)	p=0,587
Usia 17–18 tahun	397; 96 (24,2%)	OR 1,44 (1,02–2,03); p=0,036
Ketidakhadiran $\geq 10\%$	231; 82 (35,5%)	OR 3,05 (2,14–4,34); p<0,001
Aspirasi pendidikan rendah	240; 80 (33,3%)	OR 2,65 (1,86–3,76); p<0,001
Literasi kespro/hukum rendah	256; 78 (30,5%)	OR 2,18 (1,54–3,09); p<0,001
Kerentanan ekonomi keluarga	278; 85 (30,6%)	OR 2,30 (1,63–3,25); p<0,001
Komunikasi/dukungan keluarga lemah	283; 89 (31,4%)	OR 2,51 (1,77–3,54); p<0,001
Orang tua menerima perkawinan <19 tahun	186; 77 (41,4%)	OR 4,01 (2,78–5,78); p<0,001
Norma teman sebaya menerima nikah dini	251; 77 (30,7%)	OR 2,20 (1,55–3,12); p<0,001
Engagement sekolah rendah	215; 58 (27,0%)	OR 1,58 (1,09–2,27); p=0,014
SMP/MTs	320; 62 (19,4%)	p=0,367
Tinggal dengan kedua orang tua	636; 133 (20,9%)	p=0,854

Model multivariabel dan kinerja prediksi

Dalam model multivariabel, penerimaan orang tua terhadap perkawinan sebelum 19 tahun menunjukkan asosiasi paling kuat (aOR 3,45; IK95% 2,15–5,52; p<0,001), diikuti norma teman sebaya yang menerima pernikahan dini (aOR 2,70; IK95% 1,89–3,85; p<0,001), komunikasi/dukungan keluarga lemah (aOR 2,29; IK95% 1,34–3,90; p=0,002), ketidakhadiran $\geq 10\%$ (aOR 2,10; IK95% 1,45–3,05; p<0,001), literasi rendah (aOR 2,00; IK95% 1,16–3,44; p=0,013), aspirasi pendidikan rendah (aOR 1,74; IK95% 1,19–2,53; p=0,004), dan kerentanan ekonomi (aOR 1,62; IK95% 1,13–2,33; p=0,009). Usia 17–18 tahun dan engagement sekolah rendah tetap dipertahankan karena telah ditetapkan a priori.

Tabel 4. Kinerja model EWS pada dataset simulasi dan validasi internal

Ukuran kinerja	Apparent	Internal validation	Interpretasi
AUC/c-statistic	0,792 (IK95% 0,753–0,830)	0,779 terkoreksi optimism	Diskriminasi moderat-baik
Brier score	0,131	0,135 terkoreksi	Galat probabilitas relatif rendah
Calibration slope	1,000	0,935	Overfitting kecil pada simulasi
Ambang probabilitas 20%	Sens 71,6%; spes 71,9%	PPV 40,6%; NPV 90,4%	Cocok untuk skrining suportif
Decision curve, pt=20%	Net benefit 0,096	Treat-all 0,014; treat-none 0	Model memberi net benefit lebih tinggi
Skor sederhana 0–15	AUC 0,790	Cut-off ≥ 7 : sens 56,8%; spes 84,3%	Presisi praktis mendekati model penuh

AUC apparent sebesar 0,792 (IK95% 0,753–0,830) menunjukkan kemampuan diskriminasi moderat-baik. Setelah koreksi optimism bootstrap, AUC menjadi 0,779. Brier score apparent 0,131 dan terkoreksi 0,135; calibration slope terkoreksi 0,935 menunjukkan overfitting yang relatif kecil pada simulasi. Pada ambang probabilitas 20%, sensitivitas 71,6%, spesifisitas 71,9%, positive predictive value 40,6%, dan negative predictive value 90,4%. Nilai prediksi negatif yang tinggi berguna untuk menjaga agar kelompok berisiko rendah tidak memperoleh intervensi intensif yang tidak diperlukan.

Skor EWS sederhana dan kategori tindak lanjut

Skor sederhana 0–15 memiliki AUC 0,790, sangat dekat dengan model probabilitas penuh. Sebanyak 308 siswa masuk kategori rendah 0–3 poin dengan outcome 16/308 (5,2%); 297 kategori sedang 4–6 dengan outcome 57/297 (19,2%); dan 195 kategori tinggi ≥ 7 dengan outcome 96/195 (49,2%). Pada cut-off ≥ 7 , sensitivitas 56,8%, spesifisitas 84,3%, PPV 49,2%, dan NPV 87,9%. Karena tujuan EWS adalah pencegahan, kategori sedang tetap memerlukan asesmen ulang dan dukungan, bukan dianggap negatif mutlak.

Tabel 5. Koefisien model, skor EWS, kategori risiko, dan tindakan yang disarankan

Prediktor / kategori	aOR (IK95%); p / poin	
Usia 17–18 tahun	1,45 (0,91–2,31); p=0,122 / 1	
Ketidakhadiran $\geq 10\%$	2,10 (1,45–3,05); p<0,001 / 2	
Aspirasi pendidikan rendah	1,74 (1,19–2,53); p=0,004 / 1	
Literasi kespro/hukum rendah	2,00 (1,16–3,44); p=0,013 / 2	
Kerentanan ekonomi	1,62 (1,13–2,33); p=0,009 / 1	
Komunikasi keluarga lemah	2,29 (1,34–3,90); p=0,002 / 2	
Orang tua menerima nikah <19	3,45 (2,15–5,52); p<0,001 / 3	
Norma teman sebaya menerima nikah dini	2,70 (1,89–3,85); p<0,001 / 2	
Engagement sekolah rendah	1,40 (0,95–2,05); p=0,087 / 1	
Kategori skor	0–3: 5,2%; 4–6: 19,2%; ≥ 7 : 49,2% outcome	
Tindak lanjut	Rendah: edukasi; sedang: asesmen 1–3 bln; tinggi: konseling rahasia + rujukan	Dilarang untuk sanksi atau pelabelan

Decision-curve analysis pada model simulasi menunjukkan net benefit model lebih tinggi dibanding strategi treat-all pada ambang 10–30%; pada ambang 20% net benefit model 0,096 dibanding 0,014 untuk treat-all dan 0 untuk treat-none. Analisis stratifikasi menunjukkan AUC 0,804 pada perempuan dan 0,781 pada laki-laki; perbedaan ini perlu diuji lebih formal pada data nyata. Setiap implementasi harus diaudit untuk fairness menurut jenis kelamin, status sosial ekonomi, sekolah, dan wilayah.

Pembahasan

Proof-of-concept ini menunjukkan bahwa EWS berbasis sekolah dapat dirancang dari indikator yang relatif sederhana, dapat ditindaklanjuti, dan relevan dengan determinan pernikahan dini di Indonesia. Faktor keluarga dan norma sosial muncul lebih dominan daripada usia semata. Temuan tersebut konsisten dengan tinjauan sistematis Indonesia yang menempatkan pendidikan, ekonomi, budaya, lingkungan, dan keyakinan keluarga sebagai determinan penting pernikahan anak.

Penerimaan orang tua menjadi faktor terkuat dalam model. Secara programatik, hasil ini berarti skrining siswa tanpa strategi komunikasi keluarga kemungkinan tidak cukup. Namun EWS tidak boleh secara otomatis menyimpulkan orang tua sebagai penyebab. Skor hanya memicu asesmen lebih lanjut oleh konselor yang dapat membedakan antara sikap normatif, tekanan nyata, kondisi ekonomi, dan situasi perlindungan anak.

Ketidakhadiran sekolah dan aspirasi pendidikan rendah juga memberi sinyal penting. Hubungan pendidikan dengan pernikahan usia muda dapat bersifat dua arah: disengagement dari sekolah dapat meningkatkan peluang pernikahan, sementara rencana pernikahan dapat mengurangi investasi pada pendidikan. Karena desain simulasi ini tidak membuktikan kausalitas, indikator tersebut sebaiknya dipakai untuk dukungan akademik, konseling karier, dan pencegahan putus sekolah, bukan untuk pelabelan.

Ketersediaan 20 Puskesmas yang seluruhnya melaksanakan kegiatan kesehatan remaja dan penjangkaran kesehatan kelas 1, 7, dan 10 menciptakan jalur rujukan yang realistis. Sekolah dapat melakukan skrining awal melalui guru BK/konselor, sedangkan kebutuhan kesehatan reproduksi, anemia, kesehatan mental, atau perlindungan dapat dirujuk secara terarah ke Puskesmas. Posyandu aktif yang mencapai 98,5% juga menyediakan simpul komunitas untuk edukasi dan dukungan keluarga.

Data HIV dan layanan calon pengantin digunakan sebagai konteks sistem kesehatan, bukan sebagai prediktor individual EWS. Dinas Kesehatan melaporkan 41 kasus HIV pada 2024, enam pada usia 20–24 tahun, dan belum ditemukan kasus usia 15–19 tahun. Ketiadaan kasus tercatat pada remaja tidak membuktikan ketiadaan perilaku berisiko. Demikian pula, 221 calon pengantin perempuan dengan anemia menggambarkan pentingnya kesiapan kesehatan pranikah, tetapi tidak dapat digunakan untuk memperkirakan prevalensi pernikahan dini.

Dari sisi metodologi, model tidak menggunakan pemisahan acak training-test karena pendekatan tersebut tidak efisien pada satu dataset pengembangan. Bootstrap 500 replikasi digunakan untuk menilai optimism, sejalan dengan praktik pengembangan model prediksi modern. Pelaporan AUC saja juga tidak cukup; kalibrasi dan Brier score diperlukan untuk mengetahui apakah probabilitas risiko yang diberikan model sesuai dengan risiko yang diamati.

Penyederhanaan koefisien menjadi skor 0–15 meningkatkan keterpakaian di sekolah tetapi mengorbankan sebagian presisi. Dalam simulasi, diskriminasi skor hampir sama dengan model penuh. Namun cut-off tidak boleh dipilih hanya untuk memaksimalkan statistik. Ambang operasional harus mempertimbangkan kapasitas konselor, konsekuensi false-positive, keselamatan siswa, kebutuhan kerahasiaan, dan manfaat intervensi yang tersedia.

Keterbatasan utama adalah seluruh hasil siswa merupakan data sintesis, sehingga model belum memiliki validitas empiris. Outcome juga merupakan proksi kerentanan 12 bulan, bukan kejadian perkawinan aktual. Desain lapangan berikutnya perlu melakukan kohort prospektif, memverifikasi outcome melalui follow-up, menguji model pada sekolah

yang tidak digunakan dalam pengembangan, menilai calibration-in-the-large dan calibration slope secara eksternal, serta mengevaluasi fairness dan dampak implementasi.

Kekuatan rancangan ini adalah pemisahan outcome dari prediktor untuk mengurangi data leakage, penetapan prediktor sebelum analisis, penggunaan seluruh data untuk pengembangan, validasi bootstrap, pelaporan kalibrasi dan decision-curve analysis, serta adanya protokol tindak lanjut yang bersifat suportif. EWS harus selalu diposisikan sebagai alat bantu keputusan profesional dan tidak menggantikan asesmen konselor, tenaga kesehatan, atau mekanisme perlindungan anak.

4. KESIMPULAN

Model Early Warning System berbasis sekolah yang dikembangkan sebagai proof-of-concept mengintegrasikan sembilan indikator usia, kehadiran, aspirasi pendidikan, literasi, kerentanan ekonomi, komunikasi keluarga, sikap orang tua, norma teman sebaya, dan engagement sekolah. Pada dataset simulasi 800 siswa, prevalensi outcome kerentanan tinggi 21,1%; model menunjukkan AUC apparent 0,792 dan AUC terkoreksi optimism 0,779 dengan calibration slope 0,935. Skor 0–15 membedakan kelompok risiko rendah 5,2%, sedang 19,2%, dan tinggi 49,2%. Model berpotensi mendukung skrining suportif sekolah-Puskesmas, tetapi belum boleh digunakan untuk keputusan individual, program, maupun kebijakan sebelum dilakukan penelitian lapangan, validasi prospektif-eksternal, evaluasi fairness, dan persetujuan etik yang memadai.

5. TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hulu dan Dinas Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu atas ketersediaan statistik publik yang digunakan sebagai konteks penyusunan model. Naskah ini merupakan draf metodologis dengan dataset simulasi dan tidak menyatakan telah dilaksanakannya pengumpulan data siswa secara aktual.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hulu. (2025). Kabupaten Indragiri Hulu Dalam Angka 2025. BPS Kabupaten Indragiri Hulu.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hulu. (2025). Kecamatan Rengat Dalam Angka 2025. BPS Kabupaten Indragiri Hulu.
- Dinas Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu. (2025). Profil Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu Tahun 2024. Pemerintah Kabupaten Indragiri Hulu.
- Republik Indonesia. (2019). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1974 tentang Perkawinan.
- UNICEF. (2023). Is an End to Child Marriage Within Reach? Latest Trends and Future Prospects. United Nations Children's Fund.
- Nur, A. A., Amanda, S., Hanifa, F. F., & Ayudiputri, Z. Z. (2024). Determinants of child marriage in Indonesia: A systematic review. *Journal of Community Medicine and Public Health Research*, 5(2), 216–227. <https://doi.org/10.20473/jcmphr.v5i2.45777>
- Suci, U. L. E., & Sulistyningrum, E. (2024). Pengaruh pendidikan terhadap pernikahan anak perempuan: Evaluasi dampak Program Bantuan Siswa Miskin di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Indonesia*, 13(2), 115–136. <https://doi.org/10.52813/jei.v13i2.243>
- Collins, G. S., Moons, K. G. M., Dhiman, P., Riley, R. D., Beam, A. L., Van Calster, B., et al. (2024). TRIPOD+AI statement: Updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ*, 385, e078378. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-078378>
- Riley, R. D., Snell, K. I. E., Ensor, J., Burke, D. L., Harrell, F. E., Moons, K. G. M., & Collins, G. S. (2019). Minimum sample size for developing a multivariable prediction model: Part II—binary and time-to-event outcomes. *Statistics in Medicine*, 38(7), 1276–1296. <https://doi.org/10.1002/sim.7992>
- Riley, R. D., Ensor, J., Snell, K. I. E., Harrell, F. E., Martin, G. P., Reitsma, J. B., Moons, K. G. M., Collins, G. S., & van Smeden, M. (2020). Calculating the sample size required for developing a clinical prediction model. *BMJ*, 368, m441. <https://doi.org/10.1136/bmj.m441>
- Wolff, R. F., Moons, K. G. M., Riley, R. D., Whiting, P. F., Westwood, M., Collins, G. S., Reitsma, J. B., Kleijnen, J., & Mallett, S. (2019). PROBAST: A tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies. *Annals of Internal Medicine*, 170(1), 51–58. <https://doi.org/10.7326/M18-1376>
- Moons, K. G. M., Wolff, R. F., Riley, R. D., Whiting, P. F., Westwood, M., Collins, G. S., Reitsma, J. B., Kleijnen, J., & Mallett, S. (2019). PROBAST: A tool to assess risk of bias and applicability of prediction model studies: Explanation and elaboration. *Annals of Internal Medicine*, 170(1), W1–W33. <https://doi.org/10.7326/M18-1377>
- Steyerberg, E. W. (2019). *Clinical Prediction Models: A Practical Approach to Development, Validation, and Updating* (2nd ed.). Springer.
- Van Calster, B., McLemon, D. J., van Smeden, M., Wynants, L., & Steyerberg, E. W. (2019). Calibration: The Achilles heel of predictive analytics. *BMC Medicine*, 17, 230. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1466-7>
- Vickers, A. J., & Elkin, E. B. (2006). Decision curve analysis: A novel method for evaluating prediction models. *Medical Decision Making*, 26(6), 565–574. <https://doi.org/10.1177/0272989X06295361>
- Harrell, F. E. (2015). *Regression Modeling Strategies* (2nd ed.). Springer.
- World Health Organization. (2018). *WHO Recommendations on Adolescent Sexual and Reproductive Health and Rights*. World Health Organization.
- United Nations Population Fund. (2022). *State of World Population 2022: Seeing the Unseen*. UNFPA.
- van Buuren, S. (2018). *Flexible Imputation of Missing Data* (2nd ed.). CRC Press.