

Pengembangan Aplikasi Mobile Berbasis Artificial Intelligence untuk Deteksi Dini Risiko Pernikahan Dini pada Remaja Perempuan

Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau - Juli 2025

Siti Romlah,*, Suci Mutiara Sari

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

*E-mail korespondensi: [sitiromlah06072018@gmail.com, sucimutiara@gmail.com]

ARTICLE INFO

Article history:

Received:

Revised:

Accepted:



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2025 by Author. Published by Universitas Riau Indonesia

ABSTRAK

Perkawinan pada usia di bawah 19 tahun merupakan persoalan kesehatan reproduksi, pendidikan, dan perlindungan anak yang memerlukan deteksi kebutuhan dukungan secara dini. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe aplikasi mobile berbasis artificial intelligence (AI), SIAGA Remaja AI, serta menyusun kerangka validasi lapangan yang metodologis untuk remaja perempuan di Kabupaten Indragiri Hulu. Desain penelitian menggunakan development study berbasis ADDIE yang dibatasi pada tahap Analysis, Design, dan Development, disertai simulasi komputasional sebagai proof-of-concept. Konteks lokal menggunakan data resmi Kabupaten Indragiri Hulu tahun 2024 yang tersedia pada publikasi 2025. Model konseptual memuat tujuh prediktor: usia, literasi kesehatan reproduksi, literasi kesehatan digital, dukungan keluarga, status sekolah, kerentanan ekonomi, dan tekanan norma/keluarga. Outcome prototipe didefinisikan sebagai kebutuhan skrining lanjutan, bukan kejadian perkawinan dini. Instrumen dirancang melalui kisi-kisi multidomain, validasi isi pakar, uji keterbacaan remaja, serta rencana uji konstruk dan reliabilitas pada studi lapangan. Karena data responden nyata

belum tersedia, simulasi 600 profil hanya digunakan untuk menguji alur komputasi dan antarmuka; metrik diskriminasi tidak diperlakukan sebagai bukti empiris populasi. Rancangan validasi lapangan menggunakan multistage cluster sampling pada remaja perempuan usia 15–18 tahun, analisis regresi logistik terpenalti dan machine learning, evaluasi kalibrasi, diskriminasi, decision-curve analysis, serta fairness. Prototipe dinilai layak sebagai kerangka pengembangan, tetapi efektivitas dan validitas prediktifnya harus dibuktikan menggunakan data prospektif sebelum implementasi layanan.

Kata kunci:

artificial intelligence; artificial intelligence; aplikasi mobile; perkawinan usia dini; remaja perempuan; skrining; validasi prediksi

1. PENDAHULUAN

Perkawinan pada usia remaja merupakan isu multidimensi yang berkaitan dengan kesehatan reproduksi, keberlanjutan pendidikan, kerentanan sosial-ekonomi, otonomi pengambilan keputusan, serta perlindungan hak anak. Di Indonesia, Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2019 menetapkan batas usia minimum perkawinan bagi laki-laki dan perempuan adalah 19 tahun. Konsekuensi kesehatan dari perkawinan terlalu dini tidak berdiri sendiri, tetapi berinteraksi dengan kesiapan biologis dan psikososial, risiko kehamilan pada usia muda, kesinambungan sekolah, dan peluang ekonomi.

Bukti Indonesia menunjukkan bahwa perkawinan usia muda berasosiasi dengan capaian pendidikan yang lebih rendah dan kondisi kehidupan yang kurang menguntungkan pada masa dewasa. Determinannya mencakup pendidikan, kondisi ekonomi rumah tangga, norma sosial, dukungan

keluarga, paparan informasi, dan pengetahuan kesehatan reproduksi. Karena faktor-faktor tersebut saling berinteraksi, pencegahan memerlukan pendekatan multidomain dan tidak cukup hanya menilai satu faktor seperti usia atau niat menikah.

Kabupaten Indragiri Hulu merupakan konteks penting untuk pengembangan skrining berbasis lokal. Data resmi tahun 2024 menunjukkan jumlah penduduk 487.039 jiwa, terdiri atas 249.632 laki-laki dan 237.407 perempuan; kelompok usia 15–19 tahun berjumlah 41.036 jiwa, termasuk 19.971 perempuan. Pengadilan Agama Rengat memutus 14 perkara dispensasi kawin pada 2024. Angka tersebut adalah data administratif dan tidak boleh ditafsirkan sebagai prevalensi perkawinan anak, tetapi menunjukkan bahwa kebutuhan pencegahan masih relevan. Jejaring 398 Posyandu aktif dari 404 unit juga menunjukkan adanya titik layanan yang potensial untuk edukasi dan rujukan.

Pemanfaatan teknologi mobile menawarkan peluang untuk menjangkau remaja secara cepat, privat, dan adaptif. Artificial intelligence dapat menggabungkan banyak indikator sekaligus dan menghasilkan estimasi kebutuhan tindak lanjut. Namun, penggunaan AI pada remaja memiliki risiko khusus: bias, stigma, pelanggaran privasi, salah klasifikasi, dan penggunaan skor di luar tujuan pelayanan. Oleh karena itu, model prediktif harus dikembangkan secara transparan, menggunakan outcome yang terdefinisi, instrumen yang tervalidasi, evaluasi diskriminasi dan kalibrasi, serta tata kelola yang menempatkan manusia sebagai pengambil keputusan akhir.

Naskah awal pengembangan aplikasi menggunakan profil sintetik sebagai proof-of-concept. Secara metodologis, hal tersebut hanya memadai untuk menguji alur komputasi dan desain, bukan untuk menyatakan akurasi pada populasi Kabupaten Indragiri Hulu. Revisi ini memposisikan penelitian secara lebih tepat sebagai development study dengan simulasi komputasional dan protokol validasi lapangan. Tujuan penelitian adalah: (1) menyusun model konseptual dan definisi operasional skrining; (2) mengembangkan prototipe SIAGA Remaja AI; (3) menyusun instrumen dan prosedur validasi psikometrik; (4) merancang metode sampling dan analisis prediksi lapangan; dan (5) mengevaluasi proof-of-concept aplikasi tanpa menggeneralisasi hasil sintetik sebagai bukti empiris

2. METODE

Desain penelitian dan lokasi

Penelitian ini merupakan development study dengan kerangka ADDIE. Untuk menjaga kesesuaian antara klaim dan bukti, pelaksanaan yang dilaporkan dibatasi pada tahap Analysis, Design, dan Development. Tahap Implementation dan Evaluation pada populasi sasaran diposisikan sebagai studi validasi lapangan prospektif yang dirancang secara rinci, tetapi belum diklaim telah selesai. Simulasi komputasional digunakan semata-mata sebagai proof-of-concept untuk menguji proses input, transformasi fitur, inferensi, kategorisasi, explainability, dan rujukan. Konteks pengembangan adalah Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau. Populasi sasaran studi validasi adalah remaja perempuan usia 15–18 tahun yang berdomisili di Kabupaten Indragiri Hulu, baik yang masih bersekolah maupun tidak bersekolah. Batas 15–18 tahun dipilih karena berada sebelum usia minimum perkawinan 19 tahun. Statistik BPS usia 15–19 tahun digunakan hanya sebagai konteks demografis karena tersedia dalam kelompok umur lima tahunan dan tidak disamakan dengan populasi analitik studi.

Sumber data dan status dataset pengembangan

Sumber data terdiri atas dua lapisan. Pertama, data kontekstual resmi diperoleh dari Kabupaten Indragiri Hulu Dalam Angka 2025, Statistik Kesejahteraan Rakyat Kabupaten Indragiri Hulu 2024, Profil Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu Tahun 2024, dan data administrasi Pengadilan Agama Rengat yang dikompilasi dalam publikasi BPS. Data tersebut digunakan untuk menggambarkan besarnya populasi sasaran, konteks layanan kesehatan, dan keberadaan kasus dispensasi kawin. Kedua, literatur ilmiah 2020-2025 digunakan untuk

menyeleksi determinan dan prinsip pengembangan aplikasi. Karena tidak tersedia dataset survei individual remaja Kabupaten Indragiri Hulu pada Juli 2025, dibuat 600 profil sintetis berusia 15-18 tahun semata-mata untuk menguji alur komputasi, perbandingan algoritma, serta format pelaporan hasil. Distribusi data sintetis diatur agar mencakup variasi status sekolah, literasi, dukungan keluarga, dan kerentanan ekonomi, tetapi tidak dimaksudkan mereplikasi prevalensi nyata.

Analisis kebutuhan dan pemilihan prediktor

Analisis lapangan dirancang mengikuti prinsip pengembangan model prediksi. Data hilang akan dievaluasi pola dan mekanismenya; multiple imputation dipertimbangkan bila asumsi memadai. Prediktor kontinu dipertahankan kontinu dan hubungan nonlinier dapat dimodelkan dengan restricted cubic splines. Regresi logistik terpenalti digunakan sebagai model referensi yang interpretable, kemudian dibandingkan dengan random forest dan gradient boosting. Hyperparameter tuning dilakukan hanya di dalam resampling untuk mencegah optimisme. Internal validation menggunakan bootstrap atau repeated nested cross-validation. Kinerja dilaporkan sebagai AUC dengan interval kepercayaan 95%, sensitivitas, spesifisitas, predictive values pada ambang yang telah ditetapkan, Brier score, calibration-in-the-large, calibration slope, dan calibration plot. Clinical/programmatic utility dinilai menggunakan decision-curve analysis. Fairness dinilai menurut kecamatan, status sekolah, usia, dan indikator sosial ekonomi. Model final dipilih berdasarkan kombinasi kalibrasi, diskriminasi, keselamatan false negative, interpretabilitas, dan kemudahan implementasi; bukan akurasi semata.

Rancangan aplikasi mobile

Prototipe diberi nama kerja SIAGA Remaja AI. Aplikasi dirancang untuk perangkat Android dengan antarmuka sederhana dan bahasa Indonesia yang mudah dipahami remaja. Alur penggunaan terdiri atas persetujuan dan informasi privasi, pengisian skrining, pemeriksaan kelengkapan, inferensi model AI, penampilan kategori risiko, penjelasan faktor yang berkontribusi, materi edukasi sesuai kebutuhan, serta pilihan menghubungi tenaga kesehatan atau konselor. Untuk mencegah salah tafsir, aplikasi tidak menampilkan kalimat deterministik seperti “akan menikah dini”, tetapi menggunakan frasa “memerlukan dukungan lebih lanjut” dan menjelaskan bahwa risiko dapat berubah. Kategori rendah tetap memperoleh edukasi universal, kategori sedang memperoleh modul tambahan dan anjuran konsultasi, sedangkan kategori tinggi diarahkan pada asesmen manusia oleh layanan remaja/Puskesmas atau konselor yang kompeten. Desain tidak memasukkan fitur publikasi skor, pemeringkatan sekolah, atau akses orang tua tanpa mekanisme persetujuan yang sesuai.

Pengembangan model artificial intelligence

Model dikembangkan sebagai klasifikasi biner untuk mendeteksi profil yang memerlukan skrining lanjutan terhadap risiko perkawinan sebelum usia 19 tahun dalam 12 bulan berikutnya. Tiga algoritma dibandingkan pada dataset sintetis: regresi logistik sebagai baseline yang mudah diinterpretasikan, random forest sebagai model ensemble berbasis pohon, dan gradient boosting sebagai pembanding machine learning. Validasi internal menggunakan stratified 10-fold cross-validation. Kinerja dinilai melalui area under the receiver operating characteristic curve (AUC), sensitivitas, spesifisitas, akurasi, dan positive predictive value. Random forest dipilih sebagai model prototipe aplikasi karena memberikan kombinasi diskriminasi, spesifisitas, stabilitas, dan kemudahan menjelaskan kontribusi variabel melalui feature importance. Dalam implementasi nyata, pemilihan akhir algoritma harus dilakukan kembali menggunakan data lapangan, termasuk pengujian kalibrasi, fairness antarkecamatan dan kelompok sosial, serta validasi temporal atau eksternal.

Keamanan, privasi, dan prinsip penggunaan

Rancangan menerapkan prinsip data minimization: hanya informasi yang diperlukan untuk skrining dikumpulkan, identitas langsung tidak digunakan untuk proses inferensi, dan hasil individual tidak boleh diakses oleh pihak lain tanpa dasar persetujuan dan kewenangan yang jelas. Data sensitif mengenai kesehatan reproduksi, tekanan keluarga, dan rencana perkawinan membutuhkan perlindungan khusus karena pengguna merupakan remaja. Model harus bersifat decision support dan tidak boleh menjadi dasar penolakan layanan, hukuman, pembatasan hak, atau pelabelan keluarga. Apabila aplikasi terhubung dengan server, data harus dienkripsi saat transit dan saat tersimpan, akses menggunakan autentikasi berbasis peran, aktivitas akses dicatat, dan periode retensi ditetapkan. Desain juga perlu menyediakan jalur bantuan apabila jawaban mengindikasikan kekerasan, paksaan, atau masalah kesehatan reproduksi yang membutuhkan pertolongan segera.

Analisis data dan uji proof-of-concept

Analisis deskriptif digunakan untuk merangkum statistik lokal dan karakteristik profil sintetik. Model machine learning dilatih pada tujuh prediktor. Untuk random forest digunakan 500 pohon keputusan dengan pengaturan kedalaman dan ukuran daun minimum untuk mengurangi overfitting serta class weighting untuk menangani ketidakseimbangan kelas. Probabilitas hasil model digunakan untuk membentuk kategori rendah, sedang, dan tinggi sebagai contoh tampilan aplikasi. Uji fungsional dilakukan melalui walkthrough skenario: validasi jawaban, penanganan data kosong, kalkulasi risiko, penampilan faktor dominan, penyajian edukasi, rujukan, dan pesan keselamatan. Nilai kinerja pada bagian hasil berasal dari data sintetik dan dimaksudkan untuk menguji konsistensi algoritma, bukan untuk menyatakan akurasi aplikasi pada populasi Kabupaten Indragiri Hulu.

Pertimbangan etik dan pelaporan

Tidak ada data manusia nyata yang dianalisis dalam naskah proof-of-concept ini sehingga tidak dicantumkan nomor persetujuan etik. Sebelum studi lapangan, penelitian wajib memperoleh persetujuan dari komite etik penelitian kesehatan yang berwenang dan menyusun prosedur assent remaja serta persetujuan orang tua/wali sesuai ketentuan dan karakteristik risiko penelitian. Rekrutmen harus menjamin bahwa keputusan mengikuti penelitian tidak memengaruhi layanan sekolah atau kesehatan. Informasi sensitif harus dikumpulkan secara privat dan tersedia mekanisme rujukan bila teridentifikasi paksaan, kekerasan, kehamilan, masalah psikososial, atau kebutuhan kesehatan reproduksi. Pelaporan pengembangan model lapangan disarankan mengikuti TRIPOD+AI dan prinsip WHO mengenai etika serta tata kelola AI kesehatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Konteks statistik lokal menunjukkan jumlah populasi remaja perempuan yang cukup besar untuk menjadi sasaran pencegahan. Pada 2024 Indragiri Hulu memiliki 487.039 penduduk dan 237.407 di antaranya perempuan. Penduduk berusia 15-19 tahun berjumlah 41.036 orang, termasuk 19.971 perempuan. Pengadilan Agama Rengat memutus 14 perkara dispensasi kawin sepanjang 2024 dan dua di antaranya pada Juli. Data layanan kesehatan menunjukkan keberadaan 398 Posyandu aktif dari total 404 serta pelayanan kesehatan calon pengantin kepada 4.266 orang, terdiri atas 2.131 laki-laki dan 2.135 perempuan. Dari calon pengantin perempuan, 221 orang atau 10,4% tercatat mengalami anemia. Data tersebut tidak

menggambarkan langsung prevalensi perkawinan remaja, tetapi memperlihatkan keterhubungan isu perkawinan, kesiapan kesehatan reproduksi, serta ketersediaan titik layanan yang dapat dimanfaatkan untuk pencegahan dan rujukan.

Tabel 1. Konteks statistik lokal yang relevan dengan pencegahan pernikahan dini di Kabupaten Indragiri Hulu

Indikator	Nilai	Sumber
Jumlah penduduk, 2024	487.039 jiwa	BPS Indragiri Hulu (2025)
Penduduk perempuan, 2024	237.407 jiwa	BPS Indragiri Hulu (2025)
Penduduk usia 15-19 tahun	41.036 jiwa	BPS/Dinkes Inhu (2025)
Perempuan usia 15-19 tahun	19.971 jiwa	BPS/Dinkes Inhu (2025)
Dispensasi kawin diputus, 2024	14 perkara; Juli 2	PA Rengat via BPS (2025)
Posyandu aktif, 2024	398 dari 404 (98,5%)	Dinkes Inhu (2025)
Calon pengantin terdaftar, 2024	4.266; perempuan 2.135	Dinkes Inhu (2025)
Catin perempuan dengan anemia	221 (10,4%)	Dinkes Inhu (2025)

Konteks digital juga mendukung rasional penggunaan aplikasi mobile. Statistik Kesejahteraan Rakyat Kabupaten Indragiri Hulu 2024 merupakan hasil Susenas Maret 2024 dan memuat indikator kesejahteraan serta penggunaan teknologi informasi. Meskipun akses perangkat dan internet dapat memperluas jangkauan edukasi, kepemilikan telepon pintar tidak identik dengan kemampuan menilai kebenaran informasi kesehatan. Karena itu, aplikasi tidak hanya menggunakan kanal digital sebagai media, tetapi memasukkan literasi digital kesehatan sebagai prediktor dan sebagai sasaran intervensi. Materi aplikasi dirancang mengajarkan remaja untuk memeriksa sumber, membedakan informasi berbasis bukti dari konten manipulatif, menjaga privasi, dan mencari konfirmasi dari tenaga kesehatan. Pendekatan ini sesuai dengan bukti bahwa intervensi mobile dapat meningkatkan pengetahuan kesehatan reproduksi remaja, tetapi efektivitasnya sangat dipengaruhi kualitas konten, interaktivitas, dan kesesuaian dengan kebutuhan pengguna.

Komponen prototipe aplikasi

Hasil tahap design menghasilkan enam komponen utama aplikasi: skrining risiko, mesin AI, penjelasan faktor, edukasi terpersonalisasi, rujukan suportif, dan pengamanan data. Form skrining dirancang singkat agar dapat diselesaikan dalam beberapa menit dengan pilihan jawaban yang tidak menghakimi. Setelah pengguna menekan tombol proses, sistem melakukan pemeriksaan kelengkapan dan mengubah respons menjadi fitur model. Model menghasilkan probabilitas, kemudian aplikasi menerjemahkannya menjadi kategori risiko disertai pesan bahwa hasil bukan diagnosis dan dapat berubah. Penjelasan faktor ditampilkan dalam bahasa sederhana, misalnya “dukungan keluarga perlu diperkuat” atau “perlu bantuan untuk melanjutkan pendidikan”, bukan menyalahkan pengguna. Modul edukasi memuat usia legal perkawinan, dampak kehamilan remaja, hak kesehatan reproduksi, komunikasi keluarga, perencanaan pendidikan, dan cara memperoleh bantuan. Rancangan komponen disajikan pada Tabel 2.

Pada sisi implementasi, model sengaja diposisikan setelah proses persetujuan dan sebelum modul edukasi terpersonalisasi. Pemisahan ini penting agar pengguna memahami terlebih dahulu tujuan skrining dan penggunaan datanya. Aplikasi juga dirancang memiliki mode edukasi tanpa skrining sehingga remaja yang tidak ingin menjawab pertanyaan sensitif tetap dapat memperoleh manfaat. Hasil individual idealnya diproses secara lokal pada perangkat selama memungkinkan. Jika pengembangan selanjutnya membutuhkan penyimpanan server untuk pemantauan program, data harus dipseudonimkan, agregasi menjadi pilihan utama untuk pelaporan, dan akses individual dibatasi pada petugas yang berwenang. Prinsip tersebut mengurangi risiko bahwa teknologi pencegahan justru menjadi alat pengawasan atau stigma terhadap remaja.

Tabel 2. Komponen dan fungsi utama prototipe SIAGA Remaja AI

Komponen	Fungsi	Keluaran
Persetujuan & privasi	Menjelaskan tujuan, keterbatasan, penggunaan data	Persetujuan/lanjut mode edukasi
Skrining singkat	Mengumpulkan 7 prediktor utama	Fitur terstruktur untuk model
Validasi isian	Memeriksa jawaban kosong/tidak konsisten	Pesan koreksi yang ramah
Mesin AI	Mengestimasi probabilitas kebutuhan skrining lanjut	Probabilitas 0-1
Kategori risiko	Menerjemahkan probabilitas	Rendah/sedang/tinggi
Penjelasan faktor	Menampilkan faktor yang paling berkontribusi	Pesan explainable AI
Edukasi adaptif	Memberi materi sesuai kebutuhan	Microlearning kespro & digital
Rujukan suportif	Menghubungkan ke layanan/konselor	Pilihan bantuan sukarela
Keamanan data	Minimisasi, pseudonimisasi, kontrol akses	Perlindungan data sensitif
Mode edukasi saja	Akses konten tanpa menjawab skrining	Edukasi universal
Peringatan keselamatan	Mengarahkan bila ada paksaan/kekerasan	Jalur pertolongan profesional

Karakteristik dataset sintetik dan kinerja model

Dataset sintetik terdiri atas 600 profil remaja perempuan berusia 15-18 tahun. Sebanyak 141 profil berusia 15 tahun, 145 berusia 16 tahun, 171 berusia 17 tahun, dan 143 berusia 18 tahun. Status tidak sekolah terdapat pada 85 profil (14,2%) dan kerentanan ekonomi pada 172 profil (28,7%). Skor literasi kesehatan reproduksi di bawah 60 terdapat pada 202 profil (33,7%), literasi digital kesehatan rendah pada 220 (36,7%), dukungan keluarga rendah pada 135 (22,5%), dan tekanan norma/keluarga untuk menikah pada 96 (16,0%). Outcome sintetik “memerlukan skrining lanjutan” terdapat pada 111 profil (18,5%). Proporsi ini merupakan hasil

skenario simulasi dan sama sekali tidak boleh ditafsirkan sebagai angka kejadian pernikahan dini di Indragiri Hulu.

Tabel 3. Kinerja internal algoritma pada dataset sintetik (n = 600)

Algoritma	AUC	Sensitivitas	Spesifisitas	Akurasi
Regresi logistik	0,845	77,5%	83,0%	82,0%
Random forest	0,849	77,5%	95,1%	91,8%
Gradient boosting	0,860	79,3%	99,8%	96,0%

Pada validasi silang 10-fold, random forest menghasilkan AUC 0,849 dengan sensitivitas 77,5%, spesifisitas 95,1%, akurasi 91,8%, dan positive predictive value 78,2% pada ambang simulasi yang dipilih. Regresi logistik menghasilkan AUC 0,845, sedangkan gradient boosting menghasilkan AUC 0,860. Walaupun gradient boosting sedikit lebih tinggi pada AUC simulasi, random forest dipilih sebagai model prototipe karena performanya tetap baik, struktur ensemble relatif mudah distabilkan, dan kontribusi fitur dapat dijelaskan secara langsung. Pilihan ini bukan keputusan final. Pada data lapangan nyata, model terbaik harus ditentukan berdasarkan diskriminasi, kalibrasi, sensitivitas pada kelompok rentan, fairness, kemudahan implementasi pada perangkat, dan konsekuensi klinis/programatik dari false negative maupun false positive.

Kontribusi prediktor dan stratifikasi risiko

Analisis feature importance pada random forest sintetik menunjukkan kontribusi terbesar berasal dari dukungan keluarga (0,297), diikuti literasi kesehatan reproduksi (0,189), kerentanan ekonomi (0,155), tekanan norma/keluarga (0,135), literasi digital kesehatan (0,114), status tidak sekolah (0,076), dan usia (0,033). Urutan ini bersifat ilustratif, tetapi secara substantif konsisten dengan literatur yang menempatkan keluarga, pendidikan, ekonomi, dan pengetahuan sebagai determinan penting. Dalam aplikasi, nilai feature importance global tidak ditampilkan sebagai kebenaran kausal. Sebaliknya, pengguna menerima penjelasan singkat mengenai faktor pada jawabannya yang meningkatkan kebutuhan dukungan. Model tidak boleh menyimpulkan bahwa kemiskinan, status tidak sekolah, atau dukungan keluarga rendah merupakan kesalahan individu.

Tabel 4. Kontribusi relatif enam prediktor utama pada random forest sintetik

Prediktor	Feature importance
Dukungan keluarga	0,297
Literasi kesehatan reproduksi	0,189
Kerentanan ekonomi	0,155
Tekanan norma/keluarga	0,135
Literasi digital kesehatan	0,114
Status tidak sekolah	0,076

Tabel 5. Contoh stratifikasi probabilitas risiko pada dataset sintetik

Kategori	Probabilitas	n	Outcome sintetik positif
Rendah	<0,40	460	23/460 (5,0%)
Sedang	0,40-<0,60	52	8/52 (15,4%)

Kategori	Probabilitas	n	Outcome sintetik positif
Tinggi	$\geq 0,60$	88	80/88 (90,9%)
Ambang skrining AI	$\geq 0,48$	-	Sens. 77,5%; Spes. 95,1%

Pembahasan

Pengembangan prototipe menunjukkan bahwa skrining pernikahan dini dapat diterjemahkan ke dalam arsitektur mobile yang menggabungkan determinan kesehatan reproduksi dan sosial secara terstruktur. Nilai utama aplikasi bukan sekadar menghasilkan skor, melainkan menghubungkan skrining dengan edukasi dan layanan. Hal ini penting karena faktor risiko pernikahan dini bersifat dinamis. Remaja yang saat ini berada pada kategori rendah dapat mengalami perubahan kondisi keluarga, ekonomi, sekolah, atau relasi interpersonal. Sebaliknya, remaja pada kategori tinggi dapat mengalami penurunan risiko setelah mendapat dukungan pendidikan, konseling keluarga, perlindungan sosial, dan layanan kesehatan reproduksi. Dengan demikian, hasil AI seharusnya dilihat sebagai alat triase untuk menawarkan dukungan, bukan prediksi nasib individual.

Dukungan keluarga muncul sebagai faktor penting pada model sintetik dan memiliki landasan teoritis yang kuat. Keputusan perkawinan remaja sering berada dalam konteks komunikasi dan ekspektasi keluarga. Keluarga dapat menjadi faktor protektif melalui dukungan emosional, aspirasi pendidikan, keterbukaan membahas kesehatan reproduksi, bantuan pemecahan masalah, dan kesediaan mengakses layanan. Sebaliknya, tekanan untuk menikah, konflik, ketidakstabilan ekonomi, atau komunikasi yang lemah dapat membatasi otonomi remaja. Karena itu, tindak lanjut aplikasi untuk skor tinggi tidak cukup berupa edukasi individu. Program perlu menyiapkan pendekatan keluarga yang sensitif, termasuk konseling, perencanaan keberlanjutan sekolah, rujukan perlindungan sosial, dan mekanisme perlindungan apabila terdapat paksaan atau kekerasan.

Literasi kesehatan reproduksi dan literasi digital kesehatan juga relevan untuk intervensi. Pengetahuan remaja Indonesia tentang kesehatan reproduksi bervariasi menurut pendidikan, kondisi sosial ekonomi, dan akses informasi (Kistiana et al., 2023). Pada saat yang sama, remaja semakin banyak menerima informasi melalui media digital yang kualitasnya tidak seragam. Aplikasi yang hanya menyediakan artikel panjang berisiko tidak dibaca atau tidak menjawab persoalan utama pengguna. Oleh sebab itu, SIAGA Remaja AI dirancang menggunakan microlearning, pertanyaan singkat, penjelasan visual, dan rekomendasi yang terkait langsung dengan hasil skrining. Bukti dari aplikasi Jalinan Kasih dan intervensi digital lain mendukung bahwa media berbasis telepon seluler dapat meningkatkan pengetahuan serta sikap pencegahan pernikahan dini dan kesehatan reproduksi (Andriani et al., 2024; Kosasih et al., 2024).

Status sekolah dan kerentanan ekonomi perlu diperlakukan sebagai indikator struktural, bukan karakter negatif individu. Studi di Indonesia menunjukkan hubungan kuat antara pendidikan dan risiko perkawinan dini, termasuk di wilayah perdesaan (Fitria et al., 2024; Suci & Sulistyaningrum, 2024). Karena itu, apabila aplikasi mendeteksi remaja tidak sekolah, respons yang tepat bukan sekadar memberikan pesan “jangan menikah”, tetapi menanyakan kebutuhan untuk kembali bersekolah, pendidikan nonformal, dukungan biaya, akses dokumen, keselamatan perjalanan, atau faktor lain yang menyebabkan putus sekolah. Demikian pula, kerentanan ekonomi harus mengarahkan program pada pemetaan bantuan sosial dan dukungan keluarga. Integrasi lintas sektor antara sekolah, Puskesmas, pemerintah desa, layanan sosial,

perlindungan perempuan dan anak, serta KUA/Pengadilan Agama menjadi penting agar skor digital memiliki tindak lanjut nyata.

Data administrasi lokal perlu ditafsirkan secara hati-hati. Empat belas perkara dispensasi kawin yang diputus Pengadilan Agama Rengat pada 2024 adalah indikator adanya permohonan perkawinan di bawah usia legal yang melalui pengadilan, tetapi bukan pembilang yang dapat langsung dibagi dengan populasi remaja untuk menghitung prevalensi. Sebagian perkawinan dapat tidak muncul dalam mekanisme tersebut, sementara perubahan jumlah perkara dapat dipengaruhi kesadaran hukum, praktik administrasi, atau akses ke pengadilan. Demikian pula, data 4.266 calon pengantin yang mendapat layanan kesehatan dan 221 calon pengantin perempuan dengan anemia lebih tepat digunakan untuk menunjukkan pentingnya kesiapan kesehatan reproduksi dan titik kontak layanan, bukan sebagai bukti usia perkawinan. Keterbatasan ini memperkuat kebutuhan survei langsung pada remaja untuk mengembangkan model lokal yang sah.

Aspek etika menjadi sangat penting karena aplikasi memproses data remaja yang sensitif. Prediksi AI dapat menimbulkan dampak merugikan bila skor diketahui oleh pihak yang tidak berwenang, digunakan untuk mengawasi perilaku, atau dianggap sebagai label moral. Prinsip WHO menempatkan otonomi manusia, keselamatan, transparansi, akuntabilitas, inklusivitas, dan keberlanjutan sebagai fondasi AI kesehatan. Dalam prototipe ini, petugas kesehatan atau konselor tetap menjadi pengambil keputusan dalam tindak lanjut; aplikasi hanya memberikan estimasi dan alasan. Pengguna harus mengetahui keterbatasan model dan memiliki pilihan untuk tidak menyimpan data. Pengembangan versi lapangan juga perlu melakukan threat modeling, uji keamanan, pengelolaan insiden, serta penilaian kepatuhan terhadap Undang-Undang Pelindungan Data Pribadi.

Dari perspektif program, data agregat dan terdeidentifikasi dapat membantu pemangku kepentingan melihat kebutuhan intervensi tanpa membuka identitas remaja. Dashboard program dapat menampilkan proporsi faktor yang sering muncul, cakupan edukasi, jumlah konsultasi sukarela, rujukan yang selesai, dan perubahan literasi setelah intervensi. Namun dashboard tidak boleh menampilkan daftar individu berisiko atau peringkat sekolah/desa berdasarkan skor remaja. Untuk menjaga keadilan, performa model perlu diuji terpisah menurut kecamatan, status sekolah, kelompok usia, dan indikator sosial ekonomi. Model yang memiliki AUC tinggi secara keseluruhan tetap dapat merugikan kelompok tertentu apabila sensitivitas atau kalibrasinya buruk pada kelompok tersebut. Oleh karena itu, evaluasi fairness harus menjadi bagian dari kriteria kelayakan implementasi, bukan tambahan setelah aplikasi diluncurkan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan fundamental. Pertama, dataset individual yang digunakan untuk uji model adalah sintetik sehingga AUC, sensitivitas, spesifisitas, akurasi, feature importance, dan distribusi kategori risiko tidak dapat dikutip sebagai hasil empiris Kabupaten Indragiri Hulu. Kedua, instrumen untuk literasi kesehatan reproduksi, literasi digital kesehatan, dukungan keluarga, dan tekanan norma belum menjalani validasi psikometrik pada populasi sasaran. Ketiga, outcome “memerlukan skrining lanjutan” pada simulasi belum menggantikan outcome prospektif perkawinan sebelum usia 19 tahun. Keempat, rancangan belum menjalani uji usability dengan remaja, tenaga kesehatan, guru, maupun orang tua. Kelima, konteks sosial budaya dapat berbeda antarwilayah di Indragiri Hulu sehingga model yang dibangun dari satu sampel tidak boleh diasumsikan berlaku merata. Keenam, prediksi tidak membuktikan hubungan kausal dan tidak dapat menggantikan asesmen profesional.

Tahap penelitian berikutnya perlu menggunakan sampel lapangan yang representatif dari 14 kecamatan, termasuk remaja yang masih sekolah dan yang tidak sekolah. Instrumen harus melalui validasi isi bersama pakar kebidanan, kesehatan masyarakat, psikologi remaja, pendidikan, perlindungan anak, serta perwakilan remaja; dilanjutkan uji konstruk dan reliabilitas. Pengumpulan data sebaiknya diikuti secara prospektif agar outcome perkawinan sebelum 19 tahun atau indikator risiko yang telah disepakati dapat diukur dengan jelas. Pengembangan model harus melaporkan penanganan missing data, pemilihan prediktor, kalibrasi, decision-curve analysis, dan validasi eksternal sesuai TRIPOD+AI. Secara paralel, uji usability dapat menggunakan System Usability Scale, wawancara pengalaman pengguna, dan evaluasi keamanan. Hanya setelah model menunjukkan performa, kalibrasi, fairness, serta penerimaan yang memadai, aplikasi dapat dipertimbangkan untuk pilot terbatas di sekolah dan Puskesmas.

4. KESIMPULAN

Pengembangan prototipe aplikasi mobile berbasis artificial intelligence untuk deteksi dini risiko pernikahan dini pada remaja perempuan di Kabupaten Indragiri Hulu menghasilkan rancangan SIAGA Remaja AI yang mengintegrasikan tujuh prediktor, klasifikasi risiko, penjelasan faktor, edukasi kesehatan reproduksi, dan rekomendasi rujukan suportif. Data resmi menunjukkan Indragiri Hulu memiliki 19.971 perempuan usia 15-19 tahun pada 2024 dan Pengadilan Agama Rengat memutus 14 perkara dispensasi kawin pada tahun yang sama, sehingga pencegahan pada masa remaja tetap relevan. Pada proof-of-concept menggunakan 600 profil sintetik, random forest menunjukkan kemampuan klasifikasi yang memadai untuk mendemonstrasikan mekanisme aplikasi. Namun seluruh ukuran performa AI dalam artikel ini bersifat simulasi dan belum dapat digunakan untuk keputusan individu, pelayanan, atau kebijakan. Tahap prioritas berikutnya adalah penelitian lapangan dengan sampel representatif, validasi psikometrik instrumen, validasi model dan fairness, uji usability, serta penguatan tata kelola privasi. Aplikasi harus digunakan sebagai alat bantu untuk memperluas edukasi, mempertahankan remaja dalam pendidikan, memperkuat dukungan keluarga, dan memfasilitasi akses layanan kesehatan reproduksi tanpa stigmatisasi atau pembatasan hak.

5. TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hulu, Dinas Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu, Pengadilan Agama Rengat, serta institusi terkait yang menyediakan data publik sebagai dasar konteks penelitian. Naskah ini disusun pada Juli 2025 sebagai pengembangan prototipe dan belum menggunakan data responden individual. Sumber pendanaan: [diisi sesuai sumber pendanaan]. Nomor persetujuan etik untuk penelitian lapangan: [diisi setelah memperoleh persetujuan komite etik].

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, L., Simbolon, D., Riastuti, F., Villia, A. S., & Muslim, Z. (2024). Jalinan Kasih android mobile phone application improves knowledge, attitude, and practice regarding early marriage among high school students: Evidence from quasi-experimental study. *African Journal of Reproductive Health*, 28(5). <https://doi.org/10.29063/ajrh2024/v28i5.6>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hulu. (2024). *Statistik Kesejahteraan Rakyat Kabupaten Indragiri Hulu 2024*. BPS Kabupaten Indragiri Hulu.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hulu. (2025). *Kabupaten Indragiri Hulu Dalam Angka 2025*. BPS Kabupaten Indragiri Hulu. <https://inhukab.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/29be6513db49e9483cae1680/kabupaten-indragiri-hulu-dalam-angka-2025.html>

- Badan Pusat Statistik, Bappenas, UNICEF, & PUSKAPA. (2020). Pencegahan perkawinan anak: Percepatan yang tidak bisa ditunda. Badan Pusat Statistik.
- Cameron, L., Contreras Suarez, D., & Wieczkiewicz, S. (2023). Child marriage: Using the Indonesian Family Life Survey to examine the lives of women and men who married at an early age. *Review of Economics of the Household*, 21, 725-756. <https://doi.org/10.1007/s11150-022-09616-8>
- 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>
- Dinas Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu. (2025). Profil Kesehatan Kabupaten Indragiri Hulu Tahun 2024. Pemerintah Kabupaten Indragiri Hulu.
- Fitria, M., Laksono, A. D., Syahri, I. M., Wulandari, R. D., Matahari, R., & Astuti, Y. (2024). Education role in early marriage prevention: Evidence from Indonesia's rural areas. *BMC Public Health*, 24, 3323. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20775-4>
- Kistiana, S., Fajarningtiyas, D. N., & Lukman, S. (2023). Differentials in reproductive health knowledge among adolescents in Indonesia. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 19(1), 19-29. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v19i1.23641>
- Kosasih, C. E., Solehati, T., & Maryati, I. (2024). Comparing the effect of LINE-based and WhatsApp-based educational interventions on reproductive health knowledge, attitudes, and behaviors among Triad adolescents: A quasi-experimental study. *Belitung Nursing Journal*, 10(1), 87-95. <https://doi.org/10.33546/bnj.3033>
- Kuswanto, H., Oktaviana, P. P., Efendi, F., Nelwati, N., & Malini, H. (2024). Prevalence of and factors associated with female child marriage in Indonesia. *PLOS ONE*, 19(7), e0305821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305821>
- 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>
- Republik Indonesia. (2019). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1974 tentang Perkawinan.
- Republik Indonesia. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi.
- 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>
- World Health Organization. (2021). Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>