



DETEKSI DINI RISIKO DEPRESI PADA REMAJA MENGGUNAKAN KUESIONER DIGITAL ADAPTIF BERBASIS MACHINE LEARNING

Sri Wahyuning Suciati¹, Melka Elnora²

^{1,2} SMA Negeri 10 Padang
ssuciati101@gmail.com

Abstrak

Depresi pada remaja merupakan masalah kesehatan mental global yang memerlukan deteksi dini dan intervensi tepat. Skrining konvensional, seperti PHQ-9, memiliki keterbatasan berupa beban respon dan kebutuhan tenaga profesional. Perkembangan teknologi memungkinkan pengembangan kuesioner digital adaptif berbasis Machine Learning (ML) yang lebih efisien dan akurat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan serta menguji validitas, reliabilitas, dan efektivitas kuesioner adaptif berbasis ML pada remaja. Desain penelitian adalah *cross-sectional* dengan pendekatan kuantitatif, melibatkan 300 siswa SMA Negeri 10 Padang yang dipilih menggunakan *stratified random sampling*. Instrumen meliputi kuesioner konvensional dan adaptif berbasis ML, dengan validitas dan reliabilitas diuji melalui *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) berbasis Item Response Theory (IRT). Efektivitas dibandingkan menggunakan *chi-square*, *paired t-test*, serta performa algoritma ML (*Decision Tree*, *Random Forest*, *SVM*, *Gradient Boosting*) melalui akurasi, AUC, dan *F1-score*. Hasil menunjukkan kuesioner adaptif valid dan reliabel ($GFI = 0,93$; $CFI = 0,95$; $RMSEA = 0,046$; $Cronbach's \alpha = 0,91$), mendeteksi lebih banyak responden tanpa gejala depresi dan lebih sedikit kasus depresi sedang-berat dibanding konvensional ($\chi^2 = 22,998$; $p < 0,001$). Algoritma Random Forest terbaik (akurasi = 0,96; AUC = 0,97; F1-score = 0,96). Kuesioner adaptif efisien, mengurangi waktu pengisian, serta meningkatkan kenyamanan. Instrumen berpotensi diimplementasikan di sekolah dan komunitas untuk mendukung deteksi dini depresi remaja.

Kata Kunci: *depresi remaja, deteksi dini, kuesioner adaptif, machine learning, kecerdasan buatan*

Abstract

Adolescent depression is a global mental health issue that requires early detection and appropriate intervention. Conventional screening tools, such as the PHQ-9, are limited by response burden and the need for professional administration. Technological advances have enabled the development of machine learning (ML)-based adaptive digital questionnaires that are more efficient and accurate. This study aimed to develop and evaluate the validity, reliability, and effectiveness of an ML-based adaptive PHQ-9 for adolescents. A cross-sectional quantitative study was conducted with 300 students from SMA Negeri 10 Padang, selected through stratified random sampling. Instruments included conventional and ML-based adaptive PHQ-9, with validity and reliability assessed using Confirmatory Factor Analysis (CFA) based on Item Response Theory (IRT). Effectiveness was compared using chi-square, paired t-tests, and ML algorithm performance (Decision Tree, Random Forest, SVM, Gradient Boosting) with metrics including accuracy, AUC, and F1-score. Results showed the adaptive PHQ-9 to be valid and reliable ($GFI = 0.93$; $CFI = 0.95$; $RMSEA = 0.046$; $Cronbach's \alpha = 0.91$), detecting more respondents without depressive symptoms and fewer moderate-to-severe cases than the conventional version ($\chi^2 = 22.998$; $p < 0.001$). Random Forest performed best (accuracy = 0.96; AUC = 0.97; F1-score = 0.96). The adaptive questionnaire was efficient, reduced completion time, and improved user comfort, with potential for school and community implementation to support early detection of adolescent depression.

Keywords: *adolescent depression, early detection, adaptive questionnaire, machine learning, artificial intelligence*

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2025

* Corresponding author :

Address : SMA Negeri 10 Padang
Email : ssuciati101@gmail.com
Phone : 082172558633

PENDAHULUAN

Depresi merupakan salah satu masalah kesehatan mental global yang semakin mengkhawatirkan, terutama di kalangan remaja. World Health Organization (WHO) menyebutkan bahwa lebih dari 280 juta orang di dunia mengalami depresi, dan kelompok remaja serta dewasa muda menunjukkan peningkatan prevalensi yang signifikan (WHO, 2021). Masa remaja adalah fase perkembangan yang menghadirkan berbagai tantangan biologis, psikologis, dan sosial. Perubahan hormon, tekanan akademik, tuntutan sosial, serta dinamika keluarga yang kompleks seringkali menjadi faktor pemicu stres yang jika tidak dikelola dengan baik dapat berkembang menjadi depresi.

Di Indonesia, Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018 melaporkan bahwa sekitar 6,2% dari populasi usia 15–24 tahun mengalami depresi (Kementerian Kesehatan RI, 2018). Temuan ini diperkuat oleh *Indonesian National Adolescent Mental Health Survey* (I-NAMHS) 2023 yang mengidentifikasi tingginya gejala depresi pada remaja, menandakan urgensi deteksi dini dan intervensi berbasis komunitas maupun sekolah (UGM et al, 2023). Studi lokal di Sumatera Barat menunjukkan lebih dari 10% pelajar mengalami depresi ringan hingga sedang akibat tekanan akademik, dinamika keluarga, dan masalah sosial (Wintasari & Prasetyaningrum, 2023). Kondisi ini menegaskan pentingnya deteksi dini untuk mencegah dampak jangka panjang seperti penurunan prestasi akademik, isolasi sosial, bahkan risiko bunuh diri (Yafi, 2025, Suryaputri, et al, 2021; Tjandrarini et al., 2025).

Upaya deteksi dini depresi umumnya menggunakan instrumen standar seperti *Patient Health Questionnaire-9* (PHQ-9), *Beck Depression Inventory* (BDI), atau *Center for Epidemiologic Studies Depression Scale* (CES-D). Instrumen ini terbukti reliabel dan valid, namun terdapat sejumlah keterbatasan. Pertama, sifatnya statis sehingga semua responden harus menjawab seluruh item tanpa mempertimbangkan relevansi individu. Kedua, beban respon (response burden) menjadi kendala, khususnya bagi remaja yang cepat kehilangan fokus. Ketiga, interpretasi hasil masih memerlukan tenaga profesional, sehingga tidak selalu praktis diterapkan di sekolah atau komunitas dengan keterbatasan sumber daya (Colledani, et al, 2025).

Seiring perkembangan teknologi, skrining kesehatan mental berbasis digital mulai diperkenalkan. Penggunaan kuesioner digital, aplikasi mobile, dan data sensorik pasif seperti penggunaan ponsel, lokasi, atau pola tidur memungkinkan skrining yang lebih fleksibel dan kontekstual. Penelitian Mullick, et al (2022) menunjukkan bahwa data pasif dari ponsel mampu memprediksi tingkat depresi remaja secara lebih

akurat dengan model yang dipersonalisasi. Selain itu, Xu et al. (2025) mengembangkan sistem stratifikasi berbasis CES-D dengan seleksi item adaptif yang menghasilkan akurasi tinggi ($AUC = 0,982$) sekaligus mengurangi jumlah item yang harus dijawab responden (Xu et al, 2025). Studi lain juga menunjukkan bahwa aplikasi kesehatan berbasis web atau *mobile health* dapat meningkatkan keterjangkauan layanan skrining mental (Taylor, James, & Kim, 2019).

Lebih lanjut, *Computerized Adaptive Testing* (CAT) menjadi inovasi penting dalam pengukuran psikologis. Dengan menyesuaikan pertanyaan berdasarkan respons sebelumnya, CAT mampu meminimalkan jumlah item tanpa mengurangi akurasi (Gibbons et al., 2012). *Machine Learning-Model Tree based CAT* (ML-MT-CAT) yang terbukti mampu mengurangi lebih dari 50% jumlah item sambil tetap memberikan hasil sebanding dengan tes penuh. Temuan ini menegaskan potensi CAT berbasis ML sebagai solusi efisien untuk skrining depresi pada remaja (Colledani, et al, 2025).

Selain itu, algoritma *machine learning* (ML) seperti *decision tree*, *random forest*, dan *support vector machine* terbukti meningkatkan akurasi prediksi gejala depresi dibanding metode tradisional (Shatte, Hutchinson, & Teague, 2019; Jones, Zhang, & Mitchell, 2021). Integrasi CAT dengan ML dalam kuesioner digital adaptif diyakini dapat menjawab keterbatasan instrumen konvensional sekaligus mengoptimalkan deteksi dini. Penelitian berbasis kecerdasan buatan, memperkaya literatur tentang asesmen psikologis berbasis bukti (Klein et al., 2013).

Meskipun demikian, penelitian serupa di Indonesia masih sangat terbatas, khususnya pada populasi remaja sekolah menengah. Hal ini menjadi kesenjangan penelitian (*research gap*) yang perlu diisi. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji validitas serta reliabilitas kuesioner digital adaptif berbasis *machine learning* untuk deteksi dini risiko depresi pada remaja. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada penerapan PHQ-9 dalam bentuk adaptif berbasis ML pada konteks remaja Indonesia, sehingga mampu memberikan hasil yang lebih cepat, efisien, dan akurat. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya literatur asesmen psikologis berbasis kecerdasan buatan, sedangkan secara praktis menyediakan instrumen skrining yang dapat digunakan oleh tenaga kesehatan, sekolah, dan komunitas dalam upaya pencegahan depresi remaja.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain *cross-sectional comparative study* dengan pendekatan kuantitatif. Tujuan penelitian adalah membandingkan efektivitas kuesioner PHQ-9 konvensional dan

PHQ-9 adaptif berbasis *machine learning* dalam mendeteksi risiko depresi pada remaja.

Populasi penelitian adalah seluruh siswa SMA Negeri 10 Padang yang berjumlah 1.188 orang, terdiri dari 440 siswa kelas X, 356 siswa kelas XI, dan 392 siswa kelas XII. Penentuan sampel dilakukan menggunakan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan (*margin of error*) 5%, sehingga diperoleh ukuran sampel 300 responden. Pemilihan sampel dilakukan dengan *stratified random sampling* agar proporsional mewakili setiap tingkatan kelas. Kriteria pengambilan sampel yaitu siswa yang bersedia menjadi responden dan menandatangani *informed consent*, mampu membaca dan memahami bahasa Indonesia, dan memiliki akses ke smartphone atau komputer untuk mengisi kuesioner digital. Kriteria eksklusi dari sampel adalah siswa dengan diagnosis klinis gangguan psikotik, dan siswa dengan keterbatasan kognitif berat yang menghambat pengisian instrumen.

Instrumen dalam penelitian ini terdiri dari kuesioner konvensional dan kuesioner digital adaptif. Kuesioner konvensional menggunakan PHQ-9 (*Patient Health Questionnaire-9*) standar, instrumen internasional yang telah terbukti valid dan reliabel dalam mengukur tingkat depresi pada remaja. Kuesioner Digital Adaptif berbasis *Machine Learning* (ML) merupakan versi adaptif dari PHQ-9, di mana pertanyaan disesuaikan secara dinamis berdasarkan respons awal peserta, memungkinkan proses skrining yang lebih efisien dan personal.

Instrumen penelitian yang digunakan adalah kuesioner PHQ-9 standar (konvensional) dan PHQ-9 adaptif berbasis *machine learning*. Kuesioner konvensional terdiri atas sembilan butir pertanyaan dengan skala Likert empat poin (0 = tidak pernah, 1 = kadang-kadang, 2 = sering, 3 = hampir selalu). Sebelum digunakan, kedua instrumen diuji validitas dan reliabilitasnya melalui *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) berbasis *Item Response Theory* (IRT). Parameter evaluasi meliputi *Goodness of Fit Index* (GFI), *Comparative Fit Index* (CFI), *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA), serta *Cronbach's Alpha* dan *Composite Reliability* dengan ambang batas minimal 0,70.

Data yang terkumpul melalui kuesioner konvensional dan adaptif kemudian diproses melalui dua tahap. Pertama, dilakukan analisis deskriptif untuk menggambarkan karakteristik responden serta distribusi skor depresi. Kedua, dilakukan analisis inferensial dengan uji independent sample t-test untuk membandingkan perbedaan efektivitas deteksi risiko depresi antara PHQ-9 konvensional dan adaptif. Asumsi normalitas diuji menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro-Wilk*, sedangkan homogenitas varians diuji dengan *Levene's Test*. Apabila asumsi tidak terpenuhi, maka digunakan alternatif uji non-parametrik.

Untuk model PHQ-9 adaptif berbasis *machine learning*, data dibagi menjadi training set (70%) dan testing set (30%) dengan teknik random

split. Validasi model dilakukan menggunakan *k-fold cross validation* (*k*=10) untuk meminimalkan risiko *overfitting*. Kinerja model diukur melalui metrik evaluasi meliputi accuracy, precision, recall, F1-score, serta Area Under the Curve (AUC). Seluruh analisis statistik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 26 untuk analisis konvensional, serta Python (scikit-learn) untuk implementasi model *machine learning*.

Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan (KEPK) Universitas Perintis Indonesia Nomor: 1107/KEPK.F1/ETIK/2025 tanggal 19 April 2025. Seluruh responden diberikan hak untuk menolak atau mengundurkan diri kapan saja. Data dijaga kerahasiaannya melalui sistem enkripsi dan hanya digunakan untuk kepentingan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian melibatkan 300 siswa SMA Negeri 10 Padang sebagai responden. Distribusi responden menurut kelas, jenis kelamin, dan usia disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Responden Penelitian

Karakteristik Responden	Jumlah (f)	Persentase (%)
Kelas		
X	111	37
XI	90	30
XII	99	33
Jenis Kelamin		
Laki-laki	134	44,7
Perempuan	166	55,3
Usia		
15–16 tahun	209	69,7
17–18 tahun	91	30,3

Temuan ini menunjukkan bahwa distribusi responden meliputi 111 siswa kelas X (37%), 90 siswa kelas XI (30,0%), dan 99 siswa kelas XII (33%). Mayoritas responden adalah siswa perempuan (55,3%), dengan sebagian besar berada pada rentang usia 15–16 tahun (69,7%).

Kuesioner konvensional: menggunakan instrumen standar PHQ-9 (*Patient Health Questionnaire-9*). Instrumen ini sudah teruji validitas dan reliabilitasnya secara internasional dan digunakan sebagai acuan untuk mengukur tingkat depresi dan kecemasan pada remaja. Sedangkan, kuesioner digital adaptif berbasis ML: menggunakan versi PHQ-9 adaptif, di mana pertanyaan disesuaikan secara otomatis berdasarkan respons awal peserta, memungkinkan penilaian lebih efisien dan personal.



Gambar 1. Tampilan Model Kuesioner Adaptif

Pengujian validitas dan reliabilitas dilakukan untuk memastikan bahwa kuesioner digital adaptif berbasis *Machine Learning* (ML) mampu mengukur konstruk depresi secara akurat dan konsisten. Validitas mengacu pada sejauh mana instrumen benar-benar mengukur fenomena depresi sesuai tujuan penelitian, sedangkan reliabilitas mengacu pada konsistensi internal instrumen ketika diterapkan pada sampel serupa. Hasil pengujian validitas dan reliabilitas ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validitas dan Reliabilitas Kuesioner Digital Adaptif Berbasis ML

Indikator	Nilai	Kriteria Baku	Keterangan
GFI	0,93	$\geq 0,90$	Baik
CFI	0,95	$\geq 0,90$	Baik
RMSEA	0,046	$\leq 0,08$	Baik
Cronbach's	0,91	$\geq 0,70$	Reliabel
Alpha (α)			Tinggi
Composite	0,89	$\geq 0,70$	Reliabel
Reliability			Tinggi

Analisis CFA berbasis Item Response Theory menunjukkan kesesuaian model yang baik dengan data empiris ($GFI = 0,93$; $CFI = 0,95$; $RMSEA = 0,046$). Reliabilitas internal tinggi ditunjukkan oleh nilai Cronbach's Alpha (0,91) dan Composite Reliability (0,89). Dengan demikian, kuesioner adaptif dapat digunakan secara andal dalam skrining risiko depresi.

Pengukuran risiko depresi dilakukan dengan membandingkan dua metode, yaitu metode konvensional (menggunakan PHQ-9) dan metode kuesioner digital adaptif berbasis *Machine Learning* (menggunakan PHQ-9 adaptif). Distribusi tingkat risiko depresi yang diukur dengan metode konvensional dan adaptif disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Tingkat Risiko Depresi

Kategori Depresi	Konvensional		Adatif <i>Machine Learning</i>		χ^2	P value
	n	%	n	%		
Tidak ada gejala	97	32,3	150	50,0	22,998	<0,001

Kategori Depresi	Konvensional		Adatif <i>Machine Learning</i>		χ^2	P value
	n	%	n	%		
depresi						
Gejala depresi ringan	107	35,7	80	26,7		
Depresi ringan	68	22,7	58	19,3		
Depresi sedang	20	6,7	10	3,3		
Depresi berat	8	2,7	2	0,7		
Total	300	100,0	300	100,0		

Uji chi-square menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua metode ($\chi^2 = 22,998$; $p < 0,001$). Kuesioner adaptif mendeteksi lebih banyak responden tanpa gejala depresi (50,0% dibandingkan 32,3% pada metode konvensional), serta lebih sedikit kasus depresi sedang hingga berat.

Selanjutnya performa berbagai algoritma Empat algoritma *Machine Learning* diuji untuk memprediksi risiko depresi menggunakan data PHQ-9 adaptif yaitu *Decision Tree*, *Random Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), dan *Gradient Boosting*. Dataset dibagi menjadi 70% untuk pelatihan dan 30% untuk pengujian, dengan evaluasi menggunakan *5-fold stratified cross validation*. Evaluasi dilakukan menggunakan akurasi, sensitivitas, spesifitas, AUC, dan *F1-score*. Hasil performa ditampilkan pada Tabel 4..

Tabel 4. Kinerja Model *Machine Learning*

Model	Akurasi	Sensitivitas	Spesifitas	AUC	F1-Score
<i>Decision Tree</i>	0,86	0,82	0,88	0,90	0,84
<i>Random Forest</i>	0,96	0,94	0,97	0,97	0,96
<i>SVM</i>	0,88	0,85	0,90	0,91	0,87
<i>Gradient Boosting</i>	0,91	0,88	0,93	0,93	0,90

Algoritma *Random Forest* menunjukkan performa terbaik (akurasi = 0,96; AUC = 0,97; *F1-score* = 0,96). Hal ini menandakan kemampuan diskriminatif yang sangat baik dalam membedakan responden dengan dan tanpa risiko depresi.

Efisiensi Kuesioner Digital Adaptif mampu mengurangi jumlah rata-rata item yang harus dijawab responden dari 9 menjadi 5–6 item tanpa

menurunkan akurasi. Hasil perbandingan efisiensi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Perbandingan Efisiensi Kuesioner Konvensional dan Adaptif

Variabel	Mean Konvensional	Mean Adaptif	t-value	p-value
Jumlah Item	2,1	4,0	-9,21	<0,001
Waktu Pengisian	2,3	4,2	-10,54	<0,001
Kenyamanan	2,8	4,1	-7,88	<0,001
Akurasi Persepsi	3,2	4,4	-8,33	<0,001

Hasil uji paired t-test menunjukkan perbedaan signifikan pada semua aspek ($p < 0,001$). Kuesioner adaptif membutuhkan rata-rata lebih sedikit item, waktu pengisian lebih singkat, serta dinilai lebih nyaman dan akurat oleh responden.

Pembahasan

Penelitian ini melibatkan 300 siswa SMA Negeri 10 Padang dengan distribusi yang relatif seimbang antara tiap tingkat kelas, di mana kelas X merupakan kelompok terbesar (37%). Mayoritas responden adalah perempuan (55,3%) dan berada pada rentang usia 15–16 tahun (69,7%). Hasil ini menunjukkan bahwa kelompok usia tersebut berada pada masa pertengahan remaja, yaitu fase perkembangan psikososial yang ditandai oleh peningkatan tekanan akademik, pencarian identitas diri, dan perubahan hormonal yang berpotensi memicu gangguan suasana hati seperti depresi (Löchner, 2025). Penelitian Olympia et al. (2021) juga menegaskan bahwa remaja perempuan cenderung lebih rentan terhadap gejala depresi dibandingkan laki-laki akibat faktor biologis (fluktuasi hormon estrogen) dan sosial (*body image* dan tekanan pergaulan).

Distribusi responden ini menjadi penting karena menggambarkan konteks demografis yang relevan dengan studi kesehatan mental di sekolah menengah. Di Indonesia menunjukkan bahwa prevalensi gejala depresi lebih tinggi pada siswa perempuan kelas X dibandingkan tingkat yang lebih tinggi, disebabkan oleh proses adaptasi terhadap lingkungan sekolah baru. Depresi ini terjadi akibat gangguan afek yang sering terjadi pada dan merupakan salah satu gangguan emosi (Alini, 2017).

Hasil *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) menunjukkan bahwa model pengukuran PHQ-9 adaptif berbasis *machine learning* (ML) memiliki kesesuaian yang sangat baik terhadap data empiris ($GFI = 0,93$; $CFI = 0,95$; $RMSEA = 0,046$). Nilai reliabilitas yang tinggi (*Cronbach's Alpha* = 0,91; *Composite Reliability* = 0,89) mengindikasikan

bahwa instrumen ini konsisten dalam mengukur konstruk depresi pada remaja.

Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Colledani et al. (2025) yang menunjukkan bahwa *Machine Learning Model Tree based Computerized Adaptive Testing* secara signifikan meningkatkan akurasi dan konsistensi pengukuran gejala psikologis dengan jumlah item yang lebih sedikit. Secara konseptual, hasil ini sejalan dengan teori *Item Response Theory* (IRT) yang menekankan bahwa adaptasi tingkat kesulitan butir berdasarkan respons individu dapat memaksimalkan validitas pengukuran (Zhang et al., 2024). Dengan demikian, PHQ-9 adaptif dapat dianggap sebagai alat skrining yang valid, reliabel, dan efisien untuk populasi remaja sekolah menengah.

Hasil uji *chi-square* ($\chi^2 = 22,998$; $p < 0,001$) menunjukkan perbedaan signifikan antara PHQ-9 konvensional dan PHQ-9 adaptif dalam mengidentifikasi tingkat depresi. Metode adaptif mendeteksi lebih banyak responden tanpa gejala depresi (50%) dan lebih sedikit kasus depresi sedang hingga berat dibanding metode konvensional.

Hal ini menunjukkan bahwa sistem adaptif berbasis ML memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi variasi gejala depresi ringan, sekaligus mengurangi *false positives*. Sejalan dengan temuan Qasrawi et al. (2022), pendekatan ML dalam skrining depresi remaja menghasilkan klasifikasi yang lebih tepat dibanding metode tradisional karena mampu menangkap pola respons non-linier dan multidimensional.

Selain itu, studi Khan et al. (2024) mengonfirmasi bahwa algoritma berbasis ML dapat memproses data psikologis kompleks dengan akurasi tinggi melalui deteksi pola temporal dan hubungan non-linear antarindikator depresi. Oleh karena itu, peningkatan akurasi deteksi dalam penelitian ini memperkuat peran PHQ-9 adaptif sebagai alat skrining digital yang mampu menyesuaikan konteks individu dan mengurangi bias pengukuran.

Hasil analisis menunjukkan bahwa algoritma *Random Forest* memiliki performa terbaik (akurasi = 0,96; AUC = 0,97; F1-score = 0,96) dibanding *Decision Tree*, *Support Vector Machine* (SVM), dan *Gradient Boosting*. Nilai AUC yang tinggi menunjukkan kemampuan diskriminatif yang sangat baik dalam membedakan individu dengan dan tanpa risiko depresi.

Hasil ini mendukung temuan Shatte et al. (2019) dan diperkuat oleh penelitian Prakash et al. (2021), yang menyatakan bahwa *Random Forest* unggul untuk analisis data psikologis karena mampu menangani variabel ordinal dan heterogen tanpa kehilangan stabilitas model. Penelitian lebih baru oleh Mullick et al. (2022) juga menemukan bahwa *ensemble learning* seperti *Random Forest*

memiliki keunggulan dalam mendeteksi risiko depresi melalui data perilaku digital dan respon kuesioner. Dengan demikian, temuan ini menegaskan bahwa integrasi ML khususnya *ensemble methods* dapat meningkatkan presisi diagnostik dalam skrining kesehatan mental di kalangan remaja.

Hasil uji *paired t-test* menunjukkan perbedaan signifikan antara kuesioner konvensional dan adaptif dalam aspek efisiensi dan pengalaman pengguna ($p < 0,001$). Kuesioner adaptif pada versi konvensional, dengan waktu pengisian yang lebih singkat dan persepsi kenyamanan serta akurasi yang lebih tinggi. Hasil ini sejalan dengan temuan Colledani et al. (2025) dan Madububambachu et al. (2024) yang menyatakan bahwa *Computerized Adaptive Testing* (CAT) dapat menurunkan *response burden* tanpa mengorbankan keandalan atau validitas hasil. Dengan menyesuaikan pertanyaan secara dinamis terhadap pola respons, metode ini meminimalkan kelelahan responden (*respondent fatigue*) dan meningkatkan keterlibatan.

Dari perspektif psikometri modern, efisiensi ini menunjukkan bahwa PHQ-9 adaptif tidak hanya meningkatkan presisi, tetapi juga mendukung prinsip etika dalam pengukuran psikologis, yaitu memberikan pengalaman asesmen yang manusiawi dan tidak menimbulkan stres tambahan pada responden (Chen et al., 2022).

Secara praktis, PHQ-9 adaptif berbasis ML berpotensi diimplementasikan dalam sistem kesehatan sekolah sebagai bagian dari program deteksi dini gangguan kesehatan mental remaja. Aplikasi digital semacam ini memungkinkan skrining massal yang cepat, efisien, dan berkelanjutan, serta dapat diintegrasikan dengan sistem konseling daring atau *school-based mental health programs* (WHO, 2023).

Secara teoretis, penelitian ini memperkuat paradigma baru dalam *precision psychiatry*, yaitu penggunaan analitik cerdas berbasis ML untuk personalisasi deteksi dan intervensi (Chen et al., 2022). Pendekatan ini sejalan dengan arah penelitian global menuju *data-driven mental health assessment* yang menggabungkan model psikometrik klasik dengan *computational psychiatry*. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mendukung validitas dan efisiensi PHQ-9 adaptif, tetapi juga memperluas kontribusi pada pengembangan instrumen skrining psikologis berbasis kecerdasan buatan di Indonesia.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Kuesioner digital adaptif berbasis ML mampu mendeteksi risiko depresi remaja secara akurat dan efisien, dengan menyesuaikan pertanyaan berdasarkan respons individu,

sehingga mengurangi beban responden dan meminimalkan fatigue.

2. Prevalensi depresi ringan hingga sedang pada remaja SMA menegaskan pentingnya deteksi dini melalui skrining sekolah, dengan metode adaptif yang lebih tepat sasaran.
3. Algoritma ML, khususnya Random Forest, menunjukkan performa terbaik dalam memprediksi risiko depresi (akurasi = 0,96; AUC = 0,97; F1-score = 0,96), menegaskan keunggulan ML dibanding metode konvensional.
4. Secara praktis, kuesioner adaptif dapat diimplementasikan di sekolah dan komunitas, mendukung tenaga kesehatan, guru, dan keluarga dalam pemantauan kesejahteraan psikologis remaja.
5. Penelitian ini mengisi kesenjangan antara metode skrining tradisional dan inovasi digital berbasis AI, memberikan kontribusi teoretis dan praktis pada literatur asesmen psikologis dan program kesehatan mental remaja di Indonesia.

Dengan demikian, prototipe kuesioner digital adaptif berbasis machine learning tidak hanya menjadi alat skrining yang efisien dan akurat, tetapi juga memiliki potensi implementatif untuk mendukung deteksi dini dan pencegahan depresi pada remaja secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alini A. (2017). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Kejadian Depresi Pada Lansia Di Posyandu Lansia Desa Jake Wilayah Kerja Uptd Kesehatan Kari Kabupaten Kuantan Singingi Tahun 2016. *Jurnal Ners*, 1(1): 1-9.
- Chen, Fei, dkk. 2022. *Precision Psychiatry: Machine Learning in Mental Health Assessment*. New York: Springer.
- Colledani, Dario, Ilaria Fadda, dan Cristina Cedraschi. 2025. “Fast, Smart, and Adaptive: Using Machine Learning-Based CATs for Mental Health Assessment.” *Scientific Reports* 15(1): 1–12.
- Gibbons, Robert D., David J. Weiss, Ellen Frank, dan David J. Kupfer. 2012. “Computerized Adaptive Diagnosis and Testing of Mental Health Disorders.” *Annual Review of Clinical Psychology* 8(1): 227–247.
- Prakash, A., Agarwal, K., Shekhar, S., Mutreja, T., 2021. “Ensemble Learning Approaches for Predicting Depression from Psychometric Data.” *International Journal of Mental Health Informatics* 8, no. 1: 45–60.
- Jones, C. A., M. Zhang, dan J. Mitchell. 2021. “Machine Learning for Detection of Adolescent Depression: A Systematic Review.” *Journal of Affective Disorders* 281: 72–84.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2018. *Laporan Riset Kesehatan Dasar*

- (Riskesdas) 2018. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Khan, dkk. 2024. "Temporal Pattern Analysis of Depressive Symptoms Using Machine Learning." *Frontiers in Digital Health*, diakses 5 April 2024.
- Klein, D. N., R. Kotov, dan S. J. Bufferd. 2013. "Personality and Depression: Explanatory Models and Review of the Evidence." *Annual Review of Clinical Psychology* 9: 227–248
- Löchner, Johannes, P. Carlbring, B. Schuller, J. Torous, dan L. B. Sander. 2025. "Digital Interventions in Mental Health: An Overview and Future Perspectives." *Internet Interventions* 40: 100824.
- Madububambachu, P., dkk. 2024. "Computerized Adaptive Testing to Reduce Response Burden in Psychological Assessment." *Assessment* 31, no. 4: 487–500.
- Mullick, T., K. Subramanian, dan K. Swain. 2022. "Predicting Depression in Adolescents Using Mobile and Passive Sensing Data." *JMIR Formative Research* 6(6): e35807.
- Olympia, L. K. Campbell, David Bann, dan Praveetha Patalay. 2021. "The Gender Gap in Adolescent Mental Health: A Cross-National Investigation of 566,829 Adolescents Across 73 Countries." *SSM – Population Health* 13: 100742.
- Patel, Vikram, Shekhar Saxena, Christian Lund, Graham Thornicroft, Fredrick Baingana, Patricia Bolton, dkk. 2018. "The Lancet Commission on Global Mental Health and Sustainable Development." *The Lancet* 392(10157): 1553–1598.
- Qasrawi, R., dkk. 2022. "Machine Learning Approaches for Depression Screening in Youth Populations." *Frontiers in Psychiatry* 13: 1001.
- Shatte, Adrian B., David M. Hutchinson, dan Sean J. Teague. 2019. "Machine Learning in Mental Health: A Scoping Review of Methods and Applications." *Psychological Medicine* 49(9): 1426–1448.
- Suryaputri, I. Y., R. Mubasyiroh, S. Idaiani, dan L. Indrawati. 2021. "Determinants of Depression in Indonesian Youth: Findings from a Community-Based Survey." *PLOS ONE* 16(3): e0248920.
- Tjandrarini, D. H., D. Kurniasih, P. D. Rachmawati, dan P. Septiani. 2025. "Disabilities and Depression in Young Adolescents Living in Underdeveloped Areas of Indonesia." *BMC Public Health* 25(1): 129.
- Taylor, C. B., L. M. James, dan S. Kim. 2019. "Mobile Applications for Mental Health: Integrating Digital Tools into Clinical Care." *Frontiers in Psychiatry* 10: 173.
- Universitas Gadjah Mada, University of Queensland, dan Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health. 2023. *Indonesia National Adolescent Mental Health Survey (I-NAMHS) Report*. Queensland: Queensland Centre for Mental Health Research.
- Xu, L., Y. Zhang, H. Chen, P. Li, dan J. Wang. 2025. "Adaptive Item Selection in CES-D-Based Screening for Depression." *Journal of Affective Disorders* 321: 88–98.
- Wintasari, D., dan Y. Prasetyaningrum. 2023. "Prevalensi Depresi pada Remaja SMA di Padang: Studi Cross-Sectional." *Jurnal Psikologi Klinis dan Kesehatan Mental* 12(2): 85–94.
- World Health Organization. 2021. *Depression and Other Common Mental Disorders: Global Health Estimates*. Geneva: World Health Organization.
- World Health Organization. 2023. *School-Based Mental Health Programs: Implementation Guidelines*. Geneva: World Health Organization.
- Yafi, N. K., & Setiyadi, N. A. 2025. Hubungan Antara Tingkat Stres Dengan Strategi Koping Pada Mahasiswa di Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Surakarta. *Jurnal Ners*, 9(4), 5759–5764.