Jurnal Kesehatan Cendikia Jenius. Vol.4. No.1 bulan Desember 2026; e-ISSN : 3031-8793
JURNAL KESEHATAN CENDIKIA JENIUS
(The Health Journal of a Brilliant Researcher)
https://jurnal.kesehatan.cendikiajenius-ind.id/index.php/jenius/index

Pemanfaatan Artificial Intelligence dalam Pengambilan Keputusan Ekstraksi Gigi pada Perawatan Ortodonti: Tinjauan Literatur

The Use of Artificial Intelligence in Supporting Tooth Extraction Decision-Making in Orthodontic Treatment: A Literature Review

Daffa Athaala Naufal[1*], Adri Yenni[2]

[1] *Independent Researcher ; daffaathaalaa@gmail.com
[2] Universitas Andalas; adriyeni22@gmail.com
*(daffaathaalaa@gmail.com)

ABSTRACT

Introduction: *Tooth extraction decisions in orthodontic treatment are complex and may vary among orthodontists. Artificial intelligence (AI) has the potential to improve objectivity and consistency in clinical decision-making.* ***Objective:*** *To analyze the use of AI in supporting tooth extraction decision-making in orthodontic treatment.* ***Methods:*** *This study employed a narrative literature review design. Literature searches were conducted in PubMed, ScienceDirect, and Scopus using keywords related to AI, machine learning, deep learning, orthodontics, and tooth extraction. Of the 450 articles identified, 11 original research articles met the inclusion criteria and were analyzed using narrative synthesis.* ***Results:*** *AI demonstrated potential in predicting extraction and non-extraction decisions through structured data-based, image-based, and multimodal approaches. Random Forest, Support Vector Machine, and Decision Tree demonstrated competitive performance, while multimodal approaches tended to achieve better results. Crowding and arch length discrepancy were the most consistent predictors.* ***Conclusion:*** *AI has potential as a clinical decision-support system; however, further validation is required, and its application should remain under the supervision of orthodontists' clinical judgment.*

Keywords: *Artificial intelligence; tooth extraction; orthodontics; machine learning; clinical decision-making.*

ABSTRAK

Pendahuluan: Keputusan ekstraksi gigi dalam perawatan ortodonti bersifat kompleks dan berpotensi menimbulkan variasi antarortodontis. Artificial Intelligence (AI) berpotensi meningkatkan objektivitas dan konsistensi pengambilan keputusan klinis. **Tujuan:** Menganalisis pemanfaatan AI dalam mendukung pengambilan keputusan ekstraksi gigi pada perawatan ortodonti. **Metode:** Penelitian ini menggunakan desain *narrative literature review*. Penelusuran literatur dilakukan melalui database PubMed, ScienceDirect, dan Scopus menggunakan kata kunci terkait AI, machine learning, deep learning, ortodonti, dan ekstraksi gigi. Dari 450 artikel yang teridentifikasi, sebanyak 11 artikel penelitian asli memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis melalui sintesis naratif. **Hasil:** AI menunjukkan potensi dalam memprediksi keputusan ekstraksi dan non-ekstraksi melalui pendekatan berbasis data terstruktur, citra, dan multimodal. Random Forest, Support Vector Machine, dan Decision Tree menunjukkan kinerja kompetitif, sedangkan pendekatan multimodal cenderung memberikan performa lebih baik. Crowding dan *arch length discrepancy* merupakan prediktor paling konsisten. **Simpulan:** AI berpotensi menjadi sistem pendukung keputusan klinis, tetapi validasi lebih lanjut diperlukan dan penggunaannya harus tetap berada di bawah pertimbangan klinis ortodontis.

Kata kunci: Kecerdasan buatan; ekstraksi gigi; ortodonti; pembelajaran mesin; pengambilan keputusan klinis.

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) telah mendorong transformasi pelayanan kesehatan, termasuk kedokteran gigi, melalui pemanfaatan algoritma komputasi untuk meningkatkan ketepatan diagnosis dan perencanaan perawatan. Dalam bidang ortodonti, AI mulai diterapkan untuk analisis sefalometri, klasifikasi maloklusi, identifikasi struktur kraniofasial, serta prediksi kebutuhan ekstraksi gigi.[1,2] Keputusan ekstraksi merupakan salah satu aspek paling kompleks dalam perencanaan ortodonti karena melibatkan berbagai pertimbangan, seperti tingkat *crowding*, diskrepansi panjang lengkung gigi, hubungan skeletal, posisi insisivus, profil jaringan lunak, dan estetika wajah.[3,4] Penelitian Del Real et al. menunjukkan bahwa pendekatan *automated machine learning* mampu memprediksi kebutuhan ekstraksi dengan akurasi mencapai 93,9% ketika mengintegrasikan data model gigi dan sefalometri.[5] Sementara itu, tinjauan sistematis dan meta-analisis Evangelista et al. mengonfirmasi potensi AI dalam memprediksi keputusan ekstraksi, meskipun terdapat variasi performa antaralgoritma dan penelitian.[6] Temuan tersebut memperlihatkan bahwa AI memiliki peluang untuk meningkatkan objektivitas dan konsistensi keputusan klinis, terutama pada kasus *borderline* yang sering menimbulkan perbedaan pertimbangan antarortodontis.

Pada tingkat nasional, pemanfaatan AI dalam pelayanan kesehatan di Indonesia memiliki peluang untuk mendukung transformasi pelayanan kedokteran gigi berbasis teknologi digital. Pemanfaatan teknologi ini memungkinkan integrasi data klinis, radiografis, dan citra digital untuk membantu proses diagnosis serta perencanaan perawatan yang lebih sistematis.[7,8] Namun, penerapan AI dalam pengambilan keputusan ekstraksi gigi di Indonesia masih menghadapi tantangan, terutama terkait ketersediaan basis data ortodonti yang terstandarisasi, keterwakilan karakteristik populasi, dan validasi algoritma pada kondisi klinis lokal. Kajian mengenai AI dalam kedokteran gigi juga menunjukkan bahwa keberhasilan teknologi tidak hanya ditentukan oleh akurasi algoritma, tetapi juga kualitas data, kemampuan generalisasi, transparansi hasil prediksi, serta keterlibatan tenaga profesional dalam proses pengambilan keputusan.[9,10] Dengan demikian, terdapat kesenjangan antara perkembangan teknologi AI secara global dan bukti penerapannya dalam praktik ortodonti di Indonesia.

Pada tingkat lokal, khususnya dalam konteks pelayanan ortodonti di Sumatera Barat, kebutuhan terhadap sistem pendukung keputusan berbasis AI perlu diperhatikan dengan mempertimbangkan karakteristik pasien dan ketersediaan data klinis. Berdasarkan 11 artikel penelitian yang dianalisis dalam kajian ini, belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengevaluasi validitas model AI pada populasi pasien ortodonti Indonesia. Hasil sintesis menunjukkan bahwa *crowding* dan *arch length discrepancy* merupakan prediktor paling konsisten dalam menentukan keputusan ekstraksi, diikuti variabel skeletal, posisi insisivus, dan profil jaringan lunak. Selain itu, pendekatan multimodal yang menggabungkan *intraoral scan* dan radiografi sefalometri lateral menunjukkan potensi performa lebih baik dibandingkan penggunaan satu modalitas data.[11,12] Meskipun demikian, perbedaan karakteristik populasi, ketidakseimbangan dataset, *overfitting*, dan keterbatasan validasi eksternal masih menjadi hambatan dalam penerapan model AI secara luas.[13] Kondisi ini menunjukkan perlunya pengembangan bukti ilmiah yang mempertimbangkan kesesuaian model AI dengan karakteristik pasien lokal.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan antara potensi teoritis AI sebagai sistem pendukung keputusan klinis dan kesiapan implementasinya dalam praktik ortodonti. Penelitian terdahulu telah memperlihatkan kemampuan *machine learning* dan *deep learning* dalam memprediksi keputusan ekstraksi atau non-ekstraksi, tetapi perbedaan algoritma, karakteristik dataset, modalitas pemeriksaan, dan metode validasi menyebabkan hasil penelitian belum sepenuhnya konsisten.[6,11,12] Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pemanfaatan *Artificial Intelligence* dalam mendukung pengambilan keputusan ekstraksi gigi pada perawatan ortodonti berdasarkan pendekatan *literature review*, dengan mengidentifikasi metode algoritma, karakteristik data, faktor prediktor, performa model, serta potensi dan keterbatasan penerapannya sebagai sistem pendukung keputusan klinis.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan metode *literature review* menggunakan pendekatan naratif. Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi, mengumpulkan, menelaah, membandingkan, dan menyintesis hasil penelitian terdahulu mengenai implementasi *Artificial Intelligence* (AI) dalam membantu pengambilan keputusan ekstraksi gigi pada perawatan ortodonti. Objek penelitian adalah artikel ilmiah yang membahas penerapan teknologi AI, termasuk *machine learning* dan *deep learning*, untuk mendukung prediksi keputusan ekstraksi dan non-ekstraksi gigi dalam perawatan ortodonti.

Pencarian literatur dilakukan melalui tiga basis data elektronik, yaitu PubMed, ScienceDirect, dan Scopus. Kata kunci yang digunakan meliputi *Artificial Intelligence*, *Deep Learning*, *Machine Learning*, *Orthodontic Treatment*, dan *Tooth Extraction*, beserta padanannya dalam bahasa Indonesia. Kombinasi kata kunci dilakukan menggunakan operator Boolean OR dan AND untuk memperoleh artikel yang sesuai dengan fokus penelitian. Kriteria inklusi meliputi artikel jurnal internasional yang relevan dengan topik penelitian, merupakan penelitian asli (*original research*), dan diterbitkan dalam lima tahun terakhir. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak relevan dengan topik, artikel yang tidak berbasis bukti atau hanya berupa opini, serta artikel yang menggunakan metode tinjauan (*review*). Artikel yang memenuhi kriteria kemudian dikelola dan diorganisasikan menggunakan aplikasi Mendeley.

Berdasarkan hasil pencarian pada ketiga basis data, diperoleh 450 artikel, terdiri atas 154 artikel dari PubMed, 248 artikel dari ScienceDirect, dan 48 artikel dari Scopus. Setelah dilakukan penghapusan 48 artikel duplikat, tersisa 402 artikel. Selanjutnya, artikel diseleksi berdasarkan judul dan abstrak serta kesesuaiannya dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Berdasarkan alur seleksi yang dilaporkan dalam sumber penelitian, sebanyak 16 artikel masuk pada tahap penyaringan judul dan abstrak, kemudian 5 artikel dikeluarkan karena merupakan artikel tinjauan (*review*). Dengan demikian, sebanyak 11 artikel penelitian asli ditetapkan sebagai literatur yang dianalisis dalam penelitian ini.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik deskriptif-naratif melalui proses ekstraksi dan sintesis informasi dari setiap artikel terpilih. Informasi yang dianalisis mencakup nama penulis dan tahun publikasi, tujuan penelitian, karakteristik data atau sampel, jenis data masukan (*input data*), algoritma AI yang digunakan, serta hasil evaluasi kinerja model dalam memprediksi keputusan ekstraksi gigi. Selanjutnya, hasil penelitian dikelompokkan berdasarkan pendekatan AI yang digunakan, faktor klinis yang berpengaruh terhadap keputusan ekstraksi, performa model prediksi, serta potensi dan keterbatasan penerapan AI dalam perawatan ortodonti. Hasil analisis disajikan secara naratif dan didukung tabel sintesis untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai implementasi AI dalam membantu pengambilan keputusan ekstraksi gigi.



Gambar 1. Alur Pencarian dan Seleksi Literatur

HASIL

Hasil penelitian ini diperoleh melalui analisis terhadap 11 artikel penelitian asli yang membahas pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam mendukung pengambilan keputusan ekstraksi gigi pada perawatan ortodonti. Analisis difokuskan pada karakteristik penelitian, jenis data dan algoritma AI yang digunakan, tingkat akurasi model, faktor klinis yang memengaruhi keputusan ekstraksi, serta potensi dan keterbatasan penerapan AI dalam praktik ortodonti. Temuan dari seluruh artikel selanjutnya disintesis secara deskriptif dan disajikan dalam uraian berikut.

Tabel.1 Sintesis Karakteristik Artikel yang Dianalisis

No	Judul	Peneliti (Tahun)	Tujuan	Sampel dan *input* data	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
1.	*A Novel Multimodal Deep Image AnalysisModel for Predicting Extraction/No n-Extraction Decision*	Ahmad *et al* (2026)	Mengembangkan model *deep learning* yang mampu memprediksi keputusan ekstraksi atau non-ekstraksi menggunakan *Lateral Cephalometric Radiography* (LCR) dan *Intraoral Scanner* (IOS) sebagai alat bantu pengambilan keputusan Tambahan bagi ortodontis	617 pasien, terdiri atas 192 kasus ekstraksi dan 425 non-ekstraksi. *Input* berupa *intraoral scan* tiga dimensi dan radiograf sefalometri lateral. Data dibagi menjadi 493 data pelatihan dan 124 data uji	Studi retrospektif. Dua jenis fitur diekstraksi dari data IOS, yaitu pengukuran lengkung gigi dan posisi gigi. Fitur sefalometri diperoleh dari deteksi *Landmark* (Land) dan *Autoencoder* (AE). Model dievaluasi menggunakan beberapa parameter, yaitu akurasi, sensitivitas, spesifisitas	Model IOS+Land mencapai performa keseluruhan terbaik dengan akurasi Tertinggi sebesar 77%, disertai spesifisitas sebesar 83%	Model AI yang menggabungkan data LCR dan IOS lebih baik daripada hanya mengguna kan salah satunya saja. Model ini layak menjadi alat bantu klinis, bukan pengganti keputus an dokter
2.	*Use of automated artificial intelligence to predict the need for orthodontic extractions*	Del Real *Et al* (2022)	Mengembangkan dan mengeksplo rasi penggunaan AI dalam memprediksi kebutuhan ekstraksi gigi selama perawa tan ortodontik berdasarkan jenis kelamin, variabel model, dan data sefalometri	214 pasien dari Basis data 314 kasus, 38% menjalani ekstraksi. *Input* terdiri atas jenis kelamin, model gigi, serta pengukuran sefalo metris keletal, dental, vertikal, dan jaringan lunak	Studi retrospektif yang melibat kan dua ortodontis. Auto-WEKA secara otoma tis memilih fitur dan algoritma terbaik. Model diuji dengan 10 *fold nested cross-validation* untuk mengurangi *overfitting*	Akurasi tertinggi 93,9% dicapai saat data model gigi dan sefalometri digabungkan. Akurasi data model gigi saja 87,4%, sedangkan data Sefalometri saja 72,7%	Sistem *automated machine learning* dapat digunakan untuk menghasilkan model AI yang mampu memprediksi kebutuhan ekstraksi gigi dalam Perawatan ortodontik. Ketepatan prediksi model ini menjadi lebih tinggi ketika analisis dilakukan dengan mengombinasikan variabel model gigi dan data sefalometri
3.	*Effectiveness of Machine Learningin Predicting Orthodontic Tooth Extractions:A Multi-Institutional Study*	Etemad *et al*. (2024)	Mengevaluasi efektivitas *machine learning* untuk memprediksi keputusan ekstraksi atau non-ekstraksi	1.135 pasien dari dua universitas di Amerika Serikat, masing-masing 297 dan 838 pasien. *Input* terdiri dari 20 variabel klinis dan sefalometri	Studi retrospektif. Menggunakan salah satu model *Machine Learning yaitu Random Forest* untuk membuat model masing-masing universitas, menguji model pada universitas lain, dan membangun model gabungan dari kedua institusi	Model gabungan dari dua universitas menunjukkan performa terbaik dengan sensitivitas 50%, spesifisitas 97%,dan akurasi 85%. *crowding* rahang atas dan bawah menjadi fitur paling penting	Penggabungan data dari dua universitas dapat meningkatkan performa model AI. Sensitivitas masih terbatas karena Jumlah kasus ekstraksi lebih sedikit
4	*Machine learning from clinical data sets of a*	Etemad *et al*. (2021)	Mengevaluasi sejauh mana model *machine learning* yang telah dikembangkan	838 pasien, terdiri atas 208 kasus ekstraksi dan 630 non-	Studi retrospektif. Random Forest dan Multilayer Perceptron dilatih	Akurasi pada seluruh sampel 75% sampai 79%. Pasien	Data pasien yang heterogen menurunkan performa model AI. Penelitian ini menekan

	contemporary decision for orthodontic tooth extraction		mampu memprediksi keputusan perawatan ekstraksi atau non-ekstraksi pada populasi pasien Amerika Serikat yang lebih beragam dan dirawat oleh banyak klinisi ortodonti	ekstraksi. *Input* menggunakan 117 dan 22 variabel klinis serta sefalometri, seperti usia, *crowding* maksila dan mandibula, L1-NB, posisi bibir bawah terhadap *E-plane*, dan lain-lain	dan diuji dengan 10 *fold cross-validation*. Peneliti juga memisahkan data menjadi kelompok yang mudah diprediksi (G1) dan tidak konsisten (G2)	dibagi menjadi dua grup berdasarkan karakteristik data (G1 dan G2) untuk pelatihan terpisah. Setelah segmentasi data, performa meningkat pada G1 akurasi 96% dan G2 akurasi 88%	kan penting nya mempertimbangkan data heterogen untuk membuat ML lebih handal dalam mendukung keputusan klinis ortodontik
5.	*Evaluation of four machine learning methods in predicting orthodontic extraction decision from clinical examination data and Analysis of feature contribution*	Huang *et al*. (2024)	Memprediksi keputusan ekstraksi gigi menggunakan empat model *machine learning* dan menganalisis variabel yang berpengaruh	192 pasien, terdiri atas 144 kasus ekstraksi dan 48 non-ekstraksi. *Input* berupa sembilan temuan pemeriksaan klinis. *Angle classification*, *skeletal classification*, *crowding*, *overjet*, *overbite*, *upper* dan *lower incisor inclination*, *vertical growth pattern*, serta *lateral facial profile*	Studi retrospektif. Sebanyak 30% data digunakan sebagai data uji. *Decision Tree*, *Random Forest*, *Support Vector Machine*, dan *Mulitlayer Perceptron* dibandingkan menggunakan 5-*fold cross-validation*	Model *decision tree* menunjuk kan performa terbaik Dengan akurasi sekitar 86%. Variabel paling berkontribusi adalah *crowding*, profil wajah lateral, dan inklinasi insisivus bawah	*Decision tree* merupakan model *machine learning* dengan kinerja paling baik ketika prediksi ekstraksi gigi hanya didasarkan pada data klinis. Faktor klinis yang paling berperan dalam keputusan ekstraksi adalah tingkat *crowding*, profil wajah lateral, serta inklinasi insisivus bawah
6.	*Evaluation of different machine learning algorithm for extraction decision in orthodontic treatment*	Köktürk *Et al*. (2024)	Membandingkan tujuh model *machine learning* untuk menentukan model AI terbaik dalam Keputusan ekstraksi dan jenis ekstraksi ortodonti	1.000 pasien, terdiri Atas 500 kasus ekstraksi dan 500 non-ekstraksi. *Input* mencakup 36 Variabel demografis, model gigi, dan sefalometri. Keputusan klinis berasal dari empat ortodontis berpengalaman.	Studi retrospektif. Tujuh model ML dibandingkan. Analisis dilaku kan dalam dua tahap, yaitu menentukan ekstraksi atau non-ekstraksi, kemudian menentukan jenis ekstraksi. Digunakan 5-*fold cross-validation* yang diulang 10 kali	*Model Stacking Classifier* memiliki kemampuan prediksi terbaik dalam menentukan keputusan ekstraksi ortodontik, dengan nilai akurasi sebesar 91,2%	*Stacking Classifier* merupakan model dengan kinerja paling unggul untuk memprediksi apakah pasien membutuhkan ekstraksi atau tidak. Ketika digunakan untuk menentukan tipe atau pola ekstraksi, performa model *machine Learning* tidak Sebaik saat memprediksi keputusan ekstraksi secara umum.
7.	*Can we predict orthodontic extraction patterns by using machine learning?*	Leavitt *et al*. (2023)	Menilai kemam puan *machine learning* dalam memprediksi pola ekstraksi ortodonti pada populasi heterogen	366 pasien yang menjalaniekstrak si ortodonti. *Input* terdiri atas 55 variabel demografis, sefalometri, *crowding*, dan hubungan molar	Studi retrospek tif. Data dibagi menjadi 70% pelatihan dan 30% pengujian. *Random Forest, Logistic Regression*,dan *Support Vector Machine* digunakan untuk memprediksi pola gigi yang diekstraksi	Model *Random Forest* memiliki akurasi keseluru han tertinggi sebesar 54,55%	Machine learning masih terbatas untuk memprediksi pola ekstraksi yang kompleks. Relasi molar, *crowding mandibula*, dan *overjet* menjadi indikator prediktif Utama
8.	*Development of a deep learning classification model using a codeless platform*	Lee (2026)	Mengevaluasi pengaruh jenis gambar terhadap performa model *deep learning* dalam	Masing-masing 1.200 foto intraoral dan model gigi digital, terdiri atas 600 ekstraksi dan	Studi retrospektif. Peneliti mengguna kan foto intraoral	Jenis gambar yang digunakan sebagai *input* memengaruhi performa model	Studi ini membuktikan bahwa pengembangan model klasifikasi berbasis *deep*

	for orthodontic extraction decision-making: Impact of image type on model performance		menentukan rencana perawatan ekstraksi atau non-ekstraksi ortodonti	600 non-ekstraksi. Data dibagi menjadi 80% pelatihan, 10% validasi, dan 10% pengujian	dan gambar model gigi digital untuk melatih model deep learning melalui platform tanpa kode. Platform tersebut secara otomatis mengatur proses pelatihan model, sedangkan Grad-CAM digunakan untuk menunjukkan area gambar yang menjadi dasar prediksi AI	Klasifikasi *deep learning*. Model yang menggunakan pemindaian digital menunjukkan performa lebih unggul dibanding kan foto intraoral, baik dari aspek akurasi dan presisi. Secara klinis, hal ini menunjukkan bahwa pemindaian digital model gigi kemungkinan memberikan informasi visual yang lebih stabil dan terstruktur bagi model dalam membedakan kasus ekstraksi dan non-ekstraksi	*Learning* layak diterapkan sebagai alat bantu dalam menentukan Keputu san perawatan ortodontik, khususnya untuk membedakan kasus ekstraksi dan non-ekstraksi berdasarkan foto *intraoral* atau pemindaian model digital
9.	*TEANet: Automated tooth extraction and arrangement with tooth-level graph spatial transfor mation network*	Li *et al*. (2025)	Mengembangkan TEANet untuk otomatisasi klasifikasi ekstraksi gigi dan perencanaan susunan gigi, termasuk kasus yang membutuh kan ekstraksi	304 kasus maloklusi dari dua rumah sakit, terdiri atas 282 kasus non-ekstraksi dan 22 kasus ekstraksi. *Input* berupa model pemindaian intraoral tiga dimensi sebelum dan setelah perawatan yang diubah menjadi kumpulan titik atau *point cloud*. Data set mencakup 16.495 gigi serta label jenis gigi, gigi yang diekstraksi, dan posisi akhir setiap gigi	Studi pengembangan model deep learning TEANet. Model bekerja dalam dua tahap, yaitu memprediksi gigi yang perlu diekstraksi, kemudian menyusun posisi gigi yang tersisa. PointNet dan PointNet++ digunakan untuk membaca bentuk serta posisi gigi, sedangkan *adaptive graph* dan *spatial transformer* digunakan untuk memperkirakan pergerakan gigi. Model dievaluasi menggunakan 4-*fold cross-validation*	Model mencapai akurasi keseluruhan hingga 98,41%. Pada klasifikasi ekstraksi, model berbasis PointNet++ TEANet mencapai rata-rata F1-score 100% pada validasi	TEANet merupakan Model AI yang efektif untuk membantu perencanaan perawatan ortodontik, terutama pada kasus yang membutuhkan ekstraksi. Model ini mampu melakukan klasifikasi gigi, klasifikasi ekstraksi, dan simulasi pengaturan posisi gigi secara otomatis
10.	*A machine learning model for orthodontic extraction/non-extraction decision in a racially and ethnically diverse patient*	Mason *et al*. (2023)	Membuat *model Machine learning* Yang mampu memprediksi Keputusan ekstraksi atau non-ekstraksi pada populasi pasien yang beragam	393 pasien dari populasi ras dan etnis yang beragam, terdiri atas 193 kasus ekstraksi dan 200 non-ekstraksi. *Input*	Studi retrospektif. Data dibagi menjadi 70% untuk pelatihan dan 30% untuk pengujian dengan proporsi kelompok yang seimbang. Empat	Akurasi keputusan keseluruhan, 83% untuk *Support Vector Machine*, 82% untuk *Logistic Regression,* 81% untuk *Neural*	Model *machine Learning* mampu memprediksi keputusan ekstraksi atau non-ekstraksi pada populasi pasien yang beragam secara ras dan etnis dengan

	population		secara ras dan etnis	mencakup 56 variabel, yaitu usia, jenis kelamin, *crowding* atau *Spacing* kedua rahang, hubungan molar, serta 50 pengukuran sefalometri skeletal, dental, vertikal, dan jaringan lunak	algoritma, yaitu *Logistic Regression*, *Random Forest*, *Support Vector Machine*, dan *Neural Network*, dibandingkan. Peneliti juga melakukan 4-*fold cross-validation* dan menguji konsistensi pengukuran sefalometri	*Network*, 76% untuk *Random Forest*. Fitur paling berpengaruh meliputi *maxillary crowding/spacing*, L1-NB, U1-NA, PFH:AFH, dan SN-MP	akurasi dan presisi yang cukup tinggi. Faktor yang paling berperan dalam pengambilan keputusan model meliputi tingkat *crowding*, posisi insisivus, serta karakteristik sagital dan vertikal pasien
11.	*Artificial intelligence-based automated model for prediction of extraction using neural network machine learning: A scope and performance analysis*	Trehan *et al*. (2023)	Membandingkan model berbasis AI dengan teknik konvensional (*Arch Perimeter* dan *Carey's Analysis)* untuk memprediksi kebutuhan ekstraksi pada rencana perawatan ortodonti	700 pasien, dibagi menjadi 630 data pelatihan dan 70 data pengujian. *Input* AI berupa foto profil kanan. Label ekstraksi ditentukan melalui *Arch Perimeter Analysis* dan *Carey's Analysis* pada model studi	Studi komparatif. Foto dilatih menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) ResNet-50 selama 20 *epoch* yaitu 20 putaran proses pembelajaran terhadap seluruh data *training*, sebelum hasil prediksi AI dibandingkan dengan keputusan konvensional	Pada *test set*, 38 pasien dinyatakan membutuhkan ekstraksi dan 32 pasien tidak membutuhkan ekstraksi menurut metode konvensional. AI memprediksi 43 kasus ekstraksi dan 27 kasus non-ekstraksi. Kesesuaian AI dengan metode konvensional adalah 65,12% untuk kasus ekstraksi dan 62,96% untuk kasus non-ekstraksi	Model ANN mampu memprediksi kebutuhan ekstraksi hanya dari satu parameter (foto profil), namun akurasi masih terbatas. Diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan peningkatan ukuran sampel dan variasi data

PEMBAHASAN

Keputusan ekstraksi dalam perawatan ortodonti merupakan proses klinis yang kompleks karena tidak hanya ditentukan oleh kebutuhan ruang pada lengkung gigi, tetapi juga berkaitan dengan hubungan dentoskeletal, posisi gigi anterior, profil jaringan lunak, serta tujuan estetika dan fungsional pasien. Hasil kajian ini memperlihatkan bahwa AI berpotensi membantu mengurangi variasi keputusan antarortodontis melalui pengenalan pola dari data klinis pasien. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Del Real et al. yang menunjukkan bahwa pemanfaatan *automated machine learning* dapat memprediksi kebutuhan ekstraksi dengan akurasi mencapai 93,9% ketika data model gigi dan sefalometri digunakan secara bersamaan.[5] Namun, kemampuan AI dalam memprediksi keputusan klinis perlu dipahami sebagai kemampuan mempelajari pola keputusan yang telah dibuat oleh klinisi, bukan sebagai bukti bahwa model dapat menentukan rencana perawatan paling tepat secara mandiri. Dengan demikian, manfaat utama AI terletak pada penyediaan informasi tambahan yang dapat membantu ortodontis mempertimbangkan alternatif perawatan secara lebih objektif.[5,14]

Dominannya faktor *crowding* dan diskrepansi panjang lengkung dalam berbagai model AI menunjukkan kesesuaian antara hasil kajian dengan prinsip dasar biomekanika ortodonti. Ketidakseimbangan antara ukuran gigi dan ruang yang tersedia dapat memengaruhi kebutuhan ruang selama perawatan sehingga menjadi salah satu pertimbangan penting dalam menentukan ekstraksi. Penelitian Mason et al. juga menempatkan *maxillary crowding* sebagai prediktor penting, sedangkan Köktürk et al. menemukan bahwa diskrepansi panjang lengkung rahang atas dan bawah, *Wits appraisal*, serta panjang ANS-Me berkontribusi terhadap prediksi keputusan ekstraksi.[14,15] Hal ini memperkuat argumentasi bahwa keputusan ekstraksi tidak dapat didasarkan pada satu indikator saja. Posisi insisivus, hubungan skeletal, dan profil jaringan lunak perlu dianalisis secara bersamaan agar ruang yang diperoleh melalui ekstraksi tidak mengganggu keseimbangan wajah maupun hasil oklusi. Oleh karena itu, model AI yang mengintegrasikan berbagai parameter klinis lebih

sesuai untuk merepresentasikan kompleksitas pertimbangan ortodontis dibandingkan model yang hanya menggunakan satu jenis informasi.

Perbedaan performa antaralgoritma dan jenis data dalam kajian ini menunjukkan bahwa akurasi AI tidak semata-mata ditentukan oleh kecanggihan algoritma, tetapi juga oleh kelengkapan, kualitas, dan karakteristik data yang digunakan. Del Real et al. melaporkan bahwa kombinasi data model gigi dan sefalometri menghasilkan prediksi lebih baik dibandingkan penggunaan masing-masing data secara terpisah.[5] Temuan tersebut konsisten dengan penelitian Köktürk et al. yang menunjukkan kinerja baik pada model *Stacking Classifier* untuk membedakan keputusan ekstraksi dan non-ekstraksi. [15] Meskipun demikian, hasil penelitian Etemad et al. pada dataset dua institusi memperlihatkan bahwa performa model dapat berbeda ketika diterapkan pada populasi dan lingkungan klinis yang lebih beragam.[4] Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh variasi karakteristik pasien, distribusi kasus, serta perbedaan pertimbangan klinis antarortodontis yang menjadi dasar pelabelan data. Selain itu, penelitian Leavitt et al. menunjukkan bahwa memprediksi jenis atau pola gigi yang akan diekstraksi lebih sulit dibandingkan memprediksi kebutuhan ekstraksi secara umum.[17] Artinya, keberhasilan AI dalam klasifikasi ekstraksi atau non-ekstraksi belum dapat langsung diartikan bahwa AI mampu menentukan secara tepat gigi mana yang harus diekstraksi.

Secara keseluruhan, temuan kajian ini mendukung pemanfaatan AI sebagai *clinical decision support system* dalam perencanaan perawatan ortodonti, tetapi belum mendukung penggunaannya sebagai pengganti keputusan profesional ortodontis. Akurasi yang tinggi pada dataset tertentu tidak selalu menjamin hasil yang sama ketika model diterapkan pada populasi lain, terutama jika terdapat perbedaan karakteristik pasien, protokol pemeriksaan, dan filosofi perawatan. Penelitian Leavitt et al. memperlihatkan keterbatasan prediksi pada pola ekstraksi yang kompleks, sedangkan Etemad et al. menegaskan pentingnya pengujian model pada data dari institusi yang berbeda.[16,17] Dengan demikian, pengembangan AI selanjutnya perlu diarahkan pada penggunaan dataset yang lebih besar dan beragam, standardisasi pencatatan data klinis, serta validasi eksternal dan prospektif sebelum diterapkan secara luas. Dalam konteks pelayanan ortodonti, rekomendasi AI sebaiknya dipertimbangkan bersama hasil pemeriksaan klinis, kondisi periodontal, tujuan perawatan, dan preferensi pasien sehingga keputusan akhir tetap mempertimbangkan kebutuhan individual setiap pasien.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan kajian terhadap 11 artikel, *Artificial Intelligence* (AI), khususnya *machine learning* dan *deep learning*, berpotensi membantu pengambilan keputusan ekstraksi atau non-ekstraksi gigi pada perawatan ortodonti melalui analisis berbagai parameter klinis, seperti *crowding*, hubungan skeletal, posisi insisivus, dan profil jaringan lunak. Namun, keterbatasan kualitas dan keberagaman data serta kemampuan generalisasi model menunjukkan bahwa AI masih berperan sebagai sistem pendukung keputusan, bukan pengganti penilaian klinis ortodontis. Praktisi ortodonti disarankan menggunakan AI sebagai alat bantu dengan tetap mengutamakan pemeriksaan klinis dan kebutuhan individual pasien. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan model AI dengan dataset yang lebih besar, terstandarisasi, dan beragam, termasuk data populasi Indonesia, serta melakukan validasi eksternal dan prospektif untuk memastikan ketepatan model dalam praktik klinis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bichu, Y. M. et al. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog. Orthod.* **22**, 18 (2021). https://doi.org/10.1186/s40510-021-00361-9
2. Akdeniz, B. S. & Tosun, M. E. A review of the use of artificial intelligence in orthodontics. *J. Exp. Clin. Med.* **38**, 157–162 (2021).
3. Kazimierczak, N. et al. AI in Orthodontics: Revolutionizing Diagnostics and Treatment Planning—A Comprehensive Review. *J. Clin. Med.* **13**, 2–11 (2024).
4. Nordblom, N. F., Büttner, M. & Schwendicke, F. Artificial Intelligence in Orthodontics: Critical Review. *J. Dent. Res.* **103**, 577–584 (2024).

5. Del Real, A., Del Real, O., Sardina, S. & Oyonarte, R. Use of automated artificial intelligence to predict the need for orthodontic extractions. *Korean J. Orthod.* **52**, 102–111 (2022).
6. Evangelista, K. et al. Accuracy of artificial intelligence for tooth extraction decision-making in orthodontics: a systematic review and meta-analysis. *Clin. Oral Investig.* **26**, 6893–6905 (2022). https://doi.org/10.1007/s00784-022-04742-0
7. Dhopte, A. & Bagde, H. Smart Smile: Revolutionizing Dentistry With Artificial Intelligence. *Cureus* **15** (2023).
8. Alharbi, S. S. & Alhasson, H. F. Exploring the Applications of Artificial Intelligence in Dental Image Detection: A Systematic Review. *Diagnostics* **14** (2024).
9. Babu, A., Onesimu, J. A. & Sagayam, K. M. Artificial Intelligence in Dentistry: Concepts, Applications and Research Challenges. *E3S Web Conf.* **297**, 1–9 (2021).
10. Fawaz, P., El Sayegh, P. & Van de Vannet, B. Artificial intelligence in revolutionizing orthodontic practice. *World J. Methodol.* **15**, 1–7 (2025).
11. Gracea, R. S. et al. Artificial intelligence for orthodontic diagnosis and treatment planning: a scoping review. *J. Dent.* **152**, 105442 (2025). https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105442
12. Ziaei, S. M. et al. Accuracy of artificial intelligence in orthodontic extraction treatment planning: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* **25**, 1576 (2025).
13. Ahmad, S. I. et al. A Novel Multimodal Deep Image Analysis Model for Predicting Extraction/Non-Extraction Decision. *Orthod. Craniofac. Res.* **29**, 101–111 (2026).
14. Mason T, Kelly KM, Eckert G, Dean JA, Dundar MM, Turkkahraman H. A machine learning model for orthodontic extraction/non-extraction decision in a racially and ethnically diverse patient population. *Int Orthod*. 2023;21(3):100759. doi: 10.1016/j.ortho.2023.100759.
15. Köktürk B, Pamukçu H, Gözüaçık Ö. Evaluation of different machine learning algorithms for extraction decision in orthodontic treatment. *Orthod Craniofac Res*. 2024;27(Suppl 2):13–24. doi: 10.1111/ocr.12811.
16. Etemad LE, Heiner JP, Amin AA, et al. Effectiveness of machine learning in predicting orthodontic tooth extractions: a multi-institutional study. *Bioengineering*. 2024;11(9):888. doi: 10.3390/bioengineering11090888.
17. Leavitt L, Volovic J, Steinhauer L, et al. Can we predict orthodontic extraction patterns by using machine learning? *Orthod Craniofac Res*. 2023;26(4):552–559. doi: 10.1111/ocr.12641.