

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Total Hip Arthroplasty (THA) adalah operasi penggantian seluruh sendi panggul dengan sendi buatan yang disebut implan. Rata-rata angka prevalensi operasi THA terhadap populasi penduduk adalah sekitar 1,2% dengan osteoarthritis tingkat lanjut sebagai indikasi penyebabnya untuk 80% kasus (Australian Orthopaedic Association, 2022; Bleß Miriam Kip Eds, 2018; Brittain et al., 2021). Dalam beberapa dekade terakhir, THA telah terbukti menjadi solusi untuk mengurangi sakit dan meningkatkan fungsi sendi panggul pada pasien penderita osteoarthritis bergejala dengan tingkat kesuksesan yang tinggi di atas 85% dengan hasil klinis yang memuaskan hingga 15 sampai 25 tahun ke depan (Evans et al., 2019; Learmonth et al., 2007; Mei et al., 2019; Sitorus dan Dilogu, 2022; Spalević et al., 2018). Namun di sisi lain, THA juga merupakan prosedur operasi yang mahal (Lam et al., 2018). Sebagai ilustrasi, besaran tarif *Indonesian Case Based Groups* (INA-CBG) di Indonesia yang dapat dibiayai dengan BPJS Kesehatan untuk prosedur pada paha dan sendi panggul berkisar antara Rp. 18 juta hingga Rp. 108 juta (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

Meskipun tingkat kesuksesan operasi THA sudah cukup tinggi, masih terdapat 3-15% pasien yang merasa tidak puas dengan hasil operasi (Anakwe et al., 2011; Halawi et al., 2019; Palazzo et al., 2014) dengan beberapa pasien, khususnya dari negara Timur (misalnya Jepang), melaporkan kesulitan melakukan posisi duduk di lantai (Fujita et al., 2023). Dengan adanya proyeksi peningkatan permintaan akan operasi THA di tahun 2030 pada pasien berusia < 65 tahun sebanyak hampir 6 kali lipat dari tahun 2006 (Kurtz et al., 2014) dan proyeksi kenaikan 49% pada jumlah penderita osteoarthritis pada tahun 2040 dibandingkan dengan tahun 2012 (Hootman et al., 2016), maka pemenuhan kepuasan pasien akan hasil operasi menjadi hal yang sangat penting. Kesuksesan operasi THA

tradisionalnya diukur dengan parameter klinis yang ditentukan oleh dokter, seperti ketiadaan komplikasi dan operasi revisi dini. Akhir-akhir ini parameter kesuksesan operasi bergeser pada analisis yang berpusat pada pasien yang mengukur rasa nyeri, fungsionalitas, dan kualitas hidup yang terkait dengan kesehatan pasca-operasi menggunakan pengukuran hasil, baik yang dinilai oleh klinisi maupun yang dinilai oleh pasien (*Patient Reported Outcome Measure* - PROM) (Berliner et al., 2016; Sniderman et al., 2021). Sejumlah faktor pasien yang mempengaruhi kesuksesan operasi THA antara lain adalah faktor demografi, komorbiditas, penyebab operasi, variabel bedah, dan pandangan terhadap makna kualitas hidup (Nham et al., 2023; Păunescu et al., 2013; Sniderman et al., 2021). Di sisi lain, terdapat faktor lain yang juga dianggap berkontribusi terhadap kesuksesan hasil operasi THA yakni kepatuhan terhadap program rehabilitasi pasca-operasi (Moore, 2018; Theaker et al., 2022; Wu et al., 2019).

Prediksi hasil fungsional pasca-operasi dapat membantu mengidentifikasi risiko ketidakpuasan pasien terhadap hasil operasi sebelum proses operasi dilakukan (pra-operatif), sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan seperti konseling dan edukasi yang bersifat individual saat proses pengambilan keputusan bersama antara dokter dan pasien (Fontana et al., 2019; Huber et al., 2019; Sniderman et al., 2021). Identifikasi risiko ini juga perlu dilakukan oleh penyedia layanan kesehatan, yakni pihak rumah sakit, untuk efisiensi sumber daya yang dimiliki, khususnya yang menerapkan pembiayaan kesehatan dengan model paket (Digumarthi et al., 2024; Nham et al., 2023). Struktur pembayaran ini membuat beberapa penyedia layanan kesehatan yang berbeda, yang merawat pasien untuk satu kondisi yang sama atau terkait, dibayar dengan jumlah total biaya perawatan pasien, bukan untuk setiap perawatan, tes, atau prosedur yang dilakukan. Dengan melakukan hal ini, penyedia layanan kesehatan diberi insentif karena berhasil mengoordinasikan perawatan, mencegah komplikasi dan kesalahan, serta mengurangi tes dan perawatan yang tidak perlu atau duplikatif (HealthCare.gov, 2023; NEJM Catalyst, 2023). Di Indonesia, metode pembayaran seperti ini disebut dengan metode pembayaran prospektif dan dikenal dengan istilah *case-based payment* atau *Indonesian Case Based Group* (INA-CBG) dan sudah diterapkan

sejak tahun 2008 sebagai metode pembayaran pada program Jaminan Kesehatan Masyarakat (Jamkesmas) (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2016).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk memprediksi hasil dari operasi THA menggunakan pendekatan *machine learning* seperti *Naïve Bayes* (Kuo et al., 2022), *Gradient Boosting* dan variannya (Klemt et al., 2022; Kunze et al., 2020; Kuo et al., 2022; Lazic et al., 2022; Nham et al., 2023), Regresi Linier dan variannya (Kuo et al., 2022; Sniderman et al., 2021), *Logistic Regression* dan variannya (Klemt et al., 2023; Kunze et al., 2020; Nham et al., 2023; Pakarinen et al., 2022; Turcotte et al., 2020), *Random Forest* (Klemt et al., 2023; Kunze et al., 2020; Kuo et al., 2022; Nham et al., 2023), Jaringan Saraf Tiruan (Hernigou et al., 2023; Klemt et al., 2023; Nham et al., 2023), *Support Vector Machine* (Klemt et al., 2023; Kunze et al., 2020; Kuo et al., 2022; Nham et al., 2023) dan ansambel algoritma *machine learning* dalam *framework Automated Machine Learning* (Shah et al., 2021). Prediksi yang dilakukan mencakup prediksi risiko operasi revisi (dikarenakan infeksi, dislokasi, komplikasi, atau penyebab lain), lama rawat inap (*length of stay*), ataupun prediksi hasil operasi terhadap peningkatan kualitas hidup pasien. Pada studi-studi tersebut selain digunakan data gambar radiologi, juga digunakan data rekam medis elektronik untuk mempertimbangkan faktor demografi, komorbiditas, penyebab operasi, dan variabel bedah. Pada beberapa penelitian juga ditambahkan faktor skor penilaian terkait fungsional, sosial, dan perilaku secara mandiri oleh pasien dalam PROM baik pada fase praoperatif sebagai variabel input (Klemt et al., 2023; Sniderman et al., 2021) atau pada fase pascaoperatif sebagai variabel output (Klemt et al., 2023; Kumar et al., 2022; Kunze et al., 2020; Sniderman et al., 2021).

Meskipun teknologi kecerdasan buatan dan *machine learning* (AI/ML) telah banyak digunakan untuk mendukung keputusan dalam dunia medis, namun yang menjadi salah satu tantangan utama dalam penggunaan sistem pendukung keputusan berbasis AI/ML dalam dunia medis adalah kemampuan untuk dapat memberikan penjelasan terhadap model yang dihasilkan. Sifat model yang dihasilkan oleh *machine learning* secara mendasar bersifat *black box*, di mana output keputusan (berupa klasifikasi atau regresi) tidak dapat dipahami bagaimana

keputusan tersebut dapat dihasilkan dan dipercaya atau divalidasi oleh manusia. Solusi berbasis AI/ML yang dibutuhkan pun sekarang telah meningkat ke solusi (model) yang *explainable* dan *interpretable*. Hal ini khususnya berlaku dalam bidang kesehatan di mana diagnosis dan prognosis yang dihasilkan dari AI/ML harus dapat memenuhi persyaratan medis, etik, serta legalitas dalam menghasilkan keputusan yang masuk akal layaknya justifikasi ahli seorang dokter (Amann et al., 2020; Belle & Papantonis, 2021; Chaddad et al., 2023). Keputusan yang dihasilkan dari AI/ML yang merupakan metode berbasis data harus dapat dipahami oleh manusia agar model dapat dikatakan reliabel, dapat dipercaya, dan tangguh. Dengan memahami cara kerja model serta faktor yang menentukan hasil keputusan, para pemangku kepentingan (*data scientist*, pemilik bisnis, analis risiko, regulator, dan konsumen) dapat percaya terhadap kualitas model *machine learning* yang dihasilkan (Belle & Papantonis, 2021). Ketiadaan aspek *explainability* dalam sistem pendukung keputusan klinis menimbulkan ancaman terhadap prinsip dasar etika dalam kedokteran dan memiliki konsekuensi yang merugikan bagi kesehatan individu serta masyarakat (Amann et al., 2020). Di samping itu, aspek *explainability* dari sebuah model prediksi dapat membantu proses pengambilan keputusan bersama yang melibatkan dokter sebagai pemberi informasi terkait manfaat dan potensi risiko dari sebuah perawatan yang bersifat elektif dan pasien untuk memutuskan perawatan terbaik dan paling tepat sesuai kondisi pasien (Barry & Edgman-Levitan, 2012; Kunneman et al., 2016; Noseworthy et al., 2019; O'Neill et al., 2017). *Explainability* dari AI/ML dapat membantu menjembatani proses ini dengan menyediakan sarana komunikasi yang personal terhadap karakteristik dan faktor risiko pasien. Dengan mensimulasikan dampak dari berbagai perawatan yang berbeda atau intervensi gaya hidup, sistem pendukung keputusan yang dapat dijelaskan dapat membantu dokter dalam menggali nilai dan preferensi pasien (Amann et al., 2020; Politi et al., 2013). Munculnya area riset baru yang disebut *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) saat ini bertujuan untuk menghasilkan inovasi dalam perangkat dan kerangka kerja untuk membantu manusia dalam memahami dan menginterpretasikan model kecerdasan buatan, khususnya dalam domain medis dan kesehatan di mana nyawa manusia menjadi taruhannya (Ali et

al, 2023; Yang, 2022).

Dalam bidang kesehatan yang lebih luas, penggunaan teknik XAI untuk menjelaskan hasil prediksi *machine learning* didominasi oleh SHAP atau penggunaan model yang *interpretable*. Dalam sebuah sistem rekomendasi obat bagi pasien digunakan SHAP dan LIME untuk menjelaskan hasil rekomendasi yang dihasilkan oleh sebuah *graph neural network* yang berbasis *collaborative filtering* (Huang et al., 2024). Pada sejumlah penelitian lain dibangun model yang *interpretable*, seperti Grad-CAM untuk mengklasifikasi detak jantung *arrythmia* (Raza et al., 2022), *Explicable Knowledge Graph* untuk menterjemahkan *Natural Language Query* ke bahasa SPARQL pada basisdata COVID-19 (Shaikh et al., 2024), serta *Explainable Boosting Machine* untuk memprediksi dan mengidentifikasi faktor risiko pada komplikasi kehamilan (Bosschieter et al., 2023).

Model yang transparan dan dapat dijelaskan (*interpretable and transparent model*) menjadi pilihan pertama dari banyak praktisi di bidang kesehatan untuk mengadopsi *machine learning* dalam melakukan deteksi dan prediksi berbagai permasalahan kesehatan, namun keterbatasan jumlah, kehandalan, dan fleksibilitas *interpretable model* menyebabkan pemanfaatan teknologi *machine learning* yang *state-of-the-art* ini menjadi kurang maksimal. Adanya teknik XAI alternatif yang dapat diterapkan pada model apapun (disebut *model-agnostic*) dan penjelasan diberikan setelah model dihasilkan (disebut *post-hoc explanation*) memungkinkan para praktisi kesehatan dapat menggunakan variasi teknik *machine learning* yang lebih luas dan kompleks, misalnya yang berbasis *deep learning* atau berupa ansambel algoritma yang bersifat *black box*. Teknik yang populer digunakan dalam bidang kesehatan adalah yang berbasis kepentingan fitur yang meranking derajat kepentingan fitur terhadap hasil prediksi secara global, namun teknik ini tidak dapat menunjukkan hubungan sebab-akibat antara hasil prediksi dengan data input dan kurang dapat menjelaskan mengapa hasil prediksi sebuah data individu pasien dapat dihasilkan. Pada studi kasus prediksi bidang kesehatan dengan karakteristik data rekam medis (*Electronic Health Records – EHR*) yang bersifat tabular maka teknik penjelasan yang bersifat lokal (yakni spesifik pada prediksi satu pasien) dan

berbasis aturan *if-then* agar lebih mudah dipahami adalah pilihan yang tepat. Teknik XAI yang populer pada kategori ini adalah *Anchors* (Ribeiro et al., 2018) yang mengevaluasi *instance* tetangga dari *instance* hasil prediksi berdasarkan permasalahan klasik *multi-armed bandit* dengan mengidentifikasi kandidat terbaik berdasarkan seleksi subset bandit (Kaufmann & Kalyanakrishnan, 2013) untuk menghasilkan sejumlah aturan yang “menjangkar” *instance* yang paling sesuai dengan aturan. Kekurangan dari algoritma *Anchors* adalah ia masih sangat bergantung pada pengaturan beberapa *hyperparameter*-nya, seperti *beam width* pada algoritma Beam Search yang digunakan dan *threshold* presisi, serta membutuhkan pemilihan teknik *discretization* fitur yang tepat (Molnar, 2025).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, penelitian ini mengusulkan untuk mengembangkan teknik XAI *Anchor* dengan memodifikasinya menggunakan fitur optimasi *hyperparameter*. Sebagai studi kasusnya akan diterapkan pada model prediksi hasil fungsional setelah operasi THA yang menggunakan data rekam medis, termasuk data rehabilitasi pascaoperasi, dalam prediksinya.

1.2 Identifikasi Masalah Penelitian

Dari uraian latar belakang yang telah dilakukan, maka permasalahan di dalam penelitian ini adalah belum banyaknya teknik XAI yang menggunakan pendekatan berbasis *scoped rules*, yakni *Anchors*, yang dapat menjelaskan hubungan sebab-akibat antara hasil prediksi *machine learning* dengan data input dan menjelaskan mengapa sebuah prediksi dapat dihasilkan untuk satu atau beberapa data input, bukan menjelaskan keseluruhan model. Model penjelasan seperti ini dinilai lebih tepat untuk menggambarkan sebuah kondisi spesifik yang dimiliki oleh sebuah *instance* (dalam hal ini adalah hasil prediksi dari sebuah individu pasien). *Anchors* sebagai metode *scoped rules* yang ada saat ini masih memiliki sejumlah kekurangan dan masih dapat disempurnakan lagi, khususnya pada optimisasi *hyperparameter*-nya.

Dari sisi studi kasus yang menjadi fokus dalam penelitian ini, meskipun operasi THA memiliki tingkat kesuksesan yang tinggi, sejumlah pasien masih

memiliki hasil fungsional pasca-operasi yang kurang dalam peningkatan kualitas hidup dan aktivitas sehari-hari. Dengan adanya proyeksi peningkatan permintaan akan operasi THA dalam 5 hingga 15 tahun mendatang, maka sangat penting bagi dokter untuk dapat lebih memahami dan memenuhi ekspektasi pasien untuk mendapatkan hasil fungsional yang baik pascaoperasi THA. Faktor-faktor pra-operasi pasien, seperti demografi dan diagnosis pra-operasi, juga pasca-operasi awal, seperti lama rawat inap dan kepatuhan mengikuti rehabilitasi medik, akan dipertimbangkan dalam pembuatan sistem prediksi hasil fungsional.

1.3 Perumusan Masalah

Perumusan masalah secara definitif berdasarkan uraian pada latar belakang dan identifikasi masalah penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana membangun sebuah *framework* untuk menjalankan sistem pendukung keputusan berbasis *machine learning* yang dapat dijelaskan dengan teknik XAI untuk prediksi hasil fungsional setelah operasi THA
- b. Bagaimana membangun teknik XAI *AnchorOpt* yang mengembangkan teknik *Anchors* yang sudah ada untuk diterapkan pada penjelasan sistem prediksi hasil fungsional setelah operasi THA
- c. Bagaimana mengukur kinerja sistem prediksi hasil fungsional setelah operasi THA yang mempertimbangkan faktor pra-operasi dan pasca-operasi awal dari pasien
- d. Bagaimana mengukur kinerja dari sistem penjelasan prediksi hasil fungsional setelah operasi THA
- e. Bagaimana mengidentifikasi faktor-faktor dari data rekam medis pasien yang berkontribusi terhadap prediksi hasil fungsional operasi THA

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian disertasi ini terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus.

1. Tujuan Umum

Penelitian disertasi ini bertujuan untuk membangun sebuah sistem pendukung

keputusan berbasis *machine learning* yang dapat dijelaskan untuk prediksi hasil fungsional setelah operasi THA

2. Tujuan Khusus

- a. Menerapkan teknik optimasi *Bayesian Optimization* pada algoritma XAI *Anchor*s untuk membangun *AnchorOpt* yang menjelaskan sistem prediksi hasil fungsional setelah operasi THA bagi pengguna yang awam dengan cara kerja algoritma *machine learning*.
- b. Mengukur kinerja hasil prediksi fungsional dari operasi THA dengan penambahan faktor rehabilitasi pasca-operasi selain faktor demografi dan diagnosis pra-operasi.
- c. Mengukur ketepatan penjelasan dan cakupan yang dihasilkan dari *AnchorOpt* terhadap prediksi hasil fungsional operasi THA.
- d. Mengidentifikasi faktor-faktor dari rekam medis elektronik yang berkontribusi terhadap prediksi hasil fungsional operasi THA.

1.5 Orisinalitas Penelitian

Beberapa algoritma *machine learning* yang cukup banyak digunakan dalam penelitian terkait prediksi hasil operasi *arthroplasty* (pada panggul, lutut, atau bahu) sebelumnya adalah *Logistic Regression*, *Gradient Boosting*, Jaringan Saraf Tiruan, dan *Random Forest*. Teknik XAI berupa *Shapley Additive Explanation* (SHAP) banyak digunakan (Alsinglawi et al., 2022; Hernigou et al., 2023; Mohanty et al., 2022; Wani et al., 2024) untuk memberikan interpretabilitas terhadap model *machine learning* yang dihasilkan dengan mengasosiasikan kontribusi sebuah fitur terhadap hasil prediksi. Baru sedikit (Alaa & van der Schaar, 2018; Kuo et al., 2022) yang menggunakan model aturan *if-then* yang relatif lebih mudah dipahami oleh pengguna awam, namun keduanya tidak menggunakan *Anchor*s. Penelitian oleh Kuo (Kuo et al., 2022) mengekstraksi alur keputusan berdasarkan konsistensi prediksi dan fidelitas hasil penjelasan terhadap prediksi, sedangkan penelitian Alaa dan van der Schaar dengan *tool AutoPrognosis* (Alaa & van der Schaar, 2018) menggunakan aturan asosiasi yang didapat melalui *Bayesian associative classifier* yang diimplementasikan pada studi kasus prediksi risiko klinis penyakit

kardiovaskular. Peneliti yang sama, yakni van der Schaar, juga termasuk di dalam tim peneliti yang menggunakan *AutoPrognosis* untuk prediksi komplikasi pasca-operasi THA (Shah et al., 2021) namun menggunakan *relative feature importance* dalam penjelasan modelnya.

Dalam bidang kesehatan yang lebih luas, penggunaan teknik XAI untuk menjelaskan hasil prediksi *machine learning* juga didominasi oleh SHAP atau penggunaan model yang *interpretable*. Dalam sebuah sistem rekomendasi obat bagi pasien digunakan SHAP dan LIME untuk menjelaskan hasil rekomendasi yang dihasilkan oleh sebuah *graph neural network* yang berbasis *collaborative filtering* (Huang et al., 2024). Pada sejumlah penelitian lain dibangun model yang *interpretable*, seperti Grad-CAM untuk mengklasifikasi detak jantung *arrythmia* (Raza et al., 2022), *Explicable Knowledge Graph* untuk menterjemahkan *Natural Language Query* ke bahasa SPARQL pada basisdata COVID-19 (Shaikh et al., 2024), serta *Explainable Boosting Machine* untuk memprediksi dan mengidentifikasi faktor risiko pada komplikasi kehamilan (Bosschieter et al., 2023).

Faktor yang umumnya digunakan untuk prediksi hasil operasi *arthroplasty* panggul adalah demografi pasien dan komorbiditas atau diagnosis pra-operasi. Penyertaan faktor kepatuhan mengikuti terapi rehabilitasi medik pascaoperasi dalam prediksi hasil THA agar lebih komprehensif sejauh ini belum pernah dilakukan dengan *machine learning*. Pada usulan penelitian disertasi ini akan dikembangkan sistem pendukung keputusan berbasis *machine learning* untuk melakukan prediksi yang dilengkapi dengan modifikasi teknik XAI yang memiliki karakteristik *model-agnostic*, *local explanation*, dan berbasis aturan dengan teknik *hyperparameter optimization* (HO) terhadap hasil fungsional operasi THA yang lebih berorientasi kepada pemenuhan ekspektasi pasien untuk mendapatkan hasil fungsional yang baik. Dengan demikian, kebaruan dari penelitian disertasi ini adalah pada penggunaan metode dan cara pendekatan baru yang belum pernah dilakukan di penelitian sebelumnya dengan memberikan prediktor yang lebih akurat pada hasil fungsional setelah operasi THA. Tabel 1.1 merangkum penelitian sebelumnya dan perbedaannya dengan penelitian disertasi yang dilakukan.

Tabel 1.1. Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian disertasi yang dilakukan.

No	Peneliti & Tahun	Variabel	Algoritma klasifikasi	Yang Diprediksi	Akurasi (<i>acc</i>) dan/atau AUC	Teknik XAI	Teknik HO
1.	Kuo (2022)	Terkait pasien (demografi, biomedik, komorbid) dan terkait proses operasi	Level 1: NB, XGB, LR, RF, Level 2: SVM	Infeksi sendi prostetik panggul dan lutut	SVM: 0,95 (<i>acc</i>) & 0,99 (AUC)	Konversi <i>decision path</i> ke aturan if-then (lokal)	Tidak ada
2.	Klemt (2022)	Terkait pasien	NN, Elastic-net LogReg, RF, SGD	Revisi dari operasi revisi THA	- NN: 0,85 (AUC) - EnLR: 0,81 (AUC) - RF: 0,80 (AUC) - SGD: 0,81 (AUC)	<i>Relative Variable Importance</i> (global) dan kalkulator risiko berbasis <i>logistic regression</i> (lokal)	Tidak ada
3.	Klemt (2023)	Terkait pasien dan PROM pra-operasi	NN, Elastic-net LogReg, RF, SVM	PROM pasca-operasi	- NN: 0,87 (AUC) - EnLR: 0,86 (AUC) - RF: 0,85 (AUC) - SVM: 0,84 (AUC)	<i>Relative Variable Importance</i> (global) dan kalkulator risiko berbasis <i>logistic regression</i> (lokal)	Tidak ada
4.	Kunze (2020)	Terkait pasien (demografi, komorbiditas, HHS pra-operasi)	SGB, RF, SVM, NN, Elastic-net LogReg	MCID	- SGB: 0,94 (AUC) - RF: 0,97 (AUC) - SVM: 0,87 (AUC) - NN: 0,92 (AUC) - EnLR: 0,87 (AUC)	<i>Relative Variable Importance</i> (global)	Tidak ada
5.	Kunze (2023)	Terkait pasien (demografi, komorbiditas, HHS pra-operasi, PROM)	SGB, RF, SVM, NN, Elastic-net LogReg	Komplikasi pasca-operasi	- SGB: 0,88 (AUC) - RF: 0,91 (AUC) - SVM: 0,77 (AUC) - NN: 0,89 (AUC) - EnLR: 0,93 (AUC)	LIME (lokal)	Tidak ada

Tabel 1.1. Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian disertasi yang dilakukan (lanjutan)

No	Peneliti & Tahun	Variabel	Algoritma klasifikasi	Yang Diprediksi	• Akurasi (<i>acc</i>) dan/atau AUC	Teknik XAI	Teknik HO
6.	Lazic (2022)	Terkait pasien (demografi), jenis implan, pengalaman dokter bedah	XGB	Komplikasi dan durasi operasi	• Komplikasi: 0,80 (<i>acc</i>), 0,64 (AUC) • Durasi: 0,82 (<i>acc</i>), 0,89 (AUC)	<i>Feature importance</i> (global)	Ya, GridSearch untuk optimasi jumlah <i>fold</i> pada teknik <i>cross validation</i>
7.	Nham (2023)	Terkait pasien (demografi, diagnosis, risiko mortalitas), terkait situasi (Lokasi operasi, jenis RS, jumlah tempat tidur RS)	10 algoritma berbasis <i>tree</i> , NN, statistik, SVM	Mortalitas pasca-operasi, disposisi setelah keluar RS, LoS	• Decision List: 0,85 (<i>acc</i>), LSVM-0,72 (AUC)	Tidak ada, sebagian besar algo <i>interpretable</i> yang transparan	Tidak ada
8.	Pakarinen (2022)	Terkait pasien, terkait operasi, terkait implan	Logistic Regression, Elastic-net, regularizatio	Operasi revisi dini karena dislokasi	• LogReg: 0,67 (AUC) • EnLR: 0,73 (AUC)	Tidak ada, algoritma sudah transparan	Tidak ada
9.	Hernigou (2022)	<i>Systematic review</i> artikel dislokasi untuk ekstraksi data demografi, komorbid, karakteristik bedah	NN	Risiko dislokasi	0,95 (<i>acc</i>)	SHAP (global)	Tidak ada
10.	Shah (2021)	Terkait pasien (demografi, komorbiditas), terkait RS (volume operasi THA)	AutoML	Komplikasi pasca-operasi THA	0,73 (AUC)	<i>Feature importance</i> (global)	Ya, <i>Bayesian Optimization</i> terhadap <i>hyperparameter</i> algoritma ML
11.	Intan (2025)	Terkait pasien (demografi, diagnosis pra-operasi, LoS, kepatuhan rehab medik)	RF, XGB, NN, Logistic Regression	Hasil fungsional pasca-operasi	-	Anchor, berbasis aturan (lokal)	Ya, <i>Bayesian Optimization</i> terhadap <i>hyperparameter</i> Anchor

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian disertasi ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi keilmuan sistem informasi dalam pengembangan sistem pengambilan keputusan klinis dalam bidang kesehatan dengan pendekatan *machine learning* yang *explainable*.
2. Membantu dokter sebagai pengguna ahli dalam mengidentifikasi risiko pasca-operasi THA yang multifaktor. Dokter dapat memahami potensi risiko operasi dengan lebih baik dan memberikan edukasi, konseling, dan/atau terapi pra-operasi yang relevan kepada pasien.
3. Membantu pihak rumah sakit dalam memetakan risiko pasien yang akan menjalani operasi THA dan melakukan manajemen sumberdaya (tenaga medis, ruangan, peralatan) dengan lebih baik untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan rumah sakit.
4. Memberikan informasi yang dapat dipahami oleh pasien sebagai pengguna biasa terkait risiko pasca-operasi THA sebagai perwujudan dari konsep perawatan berpusat pada pasien (*Patient-Centered Care*).

1.7 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian disertasi ini adalah sebagai berikut:

1. Basisdata yang digunakan dalam penelitian disertasi ini terbatas pada basisdata tabular dari rekam medis elektronik.
2. Hasil fungsional yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi analisis yang berorientasi pada pasien yang mengukur rasa nyeri, fungsionalitas gerak, dan kualitas hidup berdasarkan penilaian oleh klinisi.
3. Modifikasi teknik *Anchor* yang dikembangkan dalam penelitian disertasi ini adalah dengan mengoptimasi *hyperparameter Anchor* dan dibatasi untuk 2 (dua) nilai saja, yakni *width* (variabel delta) dan toleransi (variabel epsilon).
4. Meskipun teknik penjelasan *Anchor* dapat digunakan pada berbagai macam algoritma *machine learning*, namun dalam penelitian disertasi ini dipilih 4 (empat) algoritma, yakni *Random Forest*, *Extreme Gradient Boosting*, *Neural Network*, dan *Logistic Regression*, yang dianggap cukup mewakili diversitas

pendekatan penyelesaian masalah yang digunakan oleh algoritma *machine learning* pada permasalahan prediksi hasil pascaoperasi THA sesuai hasil studi literatur.

5. *Anchor* merupakan teknik penjelasan yang memiliki tingkat akurasi tinggi (di atas 95% secara *default*), sehingga eksperimen ujicoba penelitian disertasi ini menggunakan nilai di atas 90% sebagai ambang batas akurasi minimum.

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan disertasi ini adalah sebagai berikut:

1. **Bab I** menjelaskan latar belakang, identifikasi dan perumusan masalah, tujuan, orisinalitas, manfaat, dan batasan masalah yang terkait dengan pengembangan teknik XAI untuk melakukan prediksi hasil fungsional setelah operasi penggantian sendi panggul.
2. **Bab II** menjelaskan tentang tinjauan pustaka penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya dan landasan teori pendukung terkait THA, skor fungsi panggul, optimasi fungsi dengan teknik *Bayesian Optimization*, teknik XAI, dan macam-macam teknik evaluasi model prediksi.
3. **Bab III** menjelaskan tentang sumber data penelitian beserta kriteria inklusi dan eksklusinya, prosedur penelitian yang terdiri atas identifikasi permasalahan, pra-pengolahan data, desain dan pengembangan model, skenario ujicoba, dan evaluasi interpretabilitas model penjelasan hasil prediksi.
4. **Bab IV** menjelaskan tentang hasil penelitian yang mencakup basisdata yang digunakan, tahapan pra-pengolahan data, sistem prediksi dan sistem interpretasi serta penjelasan hasil prediksi yang dikembangkan, eksperimen ujicoba, dan pembahasan hasil ujicoba.
5. **Bab V** membahas kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian disertasi dan saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.