

PENERAPAN SISTEM INFORMASI MANAJEMEN RUMAH SAKIT DALAM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN INFEKSI LUKA OPERASI PASIEN ORTOPEDI: ANALISIS LITERATURE REVIEW

Abdurrafi Ghifari Wahyu¹, Dewi Purnamawati²

Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia

Email : edu.rafi@hotmail.com¹, dewi.purnamawati@umj.ac.id²

ABSTRAK

Latar belakang: Infeksi Luka Operasi (ILO) pada pasien ortopedi menimbulkan dampak klinis, fungsional, dan ekonomi yang besar, terutama pada tindakan artroplasti dan operasi yang menggunakan implan. Surveilans manual masih membutuhkan waktu yang panjang, bergantung pada telaah rekam medis, dan rentan terhadap variasi penilaian antarpetugas. Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit (SIMRS), rekam medis elektronik, dan sistem surveilans digital membuka peluang untuk menghasilkan data yang lebih akurat, cepat, dan dapat ditindaklanjuti. Tujuan: Kajian ini menganalisis pemanfaatan teknologi informasi untuk meningkatkan pemantauan dan pengendalian ILO pada pasien ortopedi serta mengidentifikasi praktik terbaik penerapan SIMRS. Metode: Penelitian menggunakan literature review terstruktur dengan kerangka PICO. Literatur berbahasa Indonesia dan Inggris tahun 2020 sampai 2026 ditelusuri melalui PubMed, Scopus, Google Scholar, ScienceDirect, ProQuest, Garuda, dan portal jurnal nasional. Sebanyak 18 artikel yang memenuhi fokus kajian dianalisis secara deskriptif kualitatif. Hasil: Sistem semi-otomatis menunjukkan keseimbangan terbaik antara keselamatan, akurasi, dan efisiensi. Algoritma berbasis data mikrobiologi, penggunaan antibiotik, lama rawat, kunjungan ulang, readmission, dan operasi ulang mencapai sensitivitas 90,3 sampai 100 persen pada sejumlah studi serta menurunkan beban telaah manual sebesar 59,7 sampai 98 persen. Model machine learning memberi hasil lebih baik ketika menggabungkan data terstruktur dengan catatan klinis. Namun, kualitas data, interoperabilitas, konsistensi kode, validasi lokal, kesiapan sumber daya manusia, dan potensi alert fatigue tetap menjadi kendala utama. Kesimpulan: SIMRS dapat memperkuat surveilans ILO ortopedi apabila sistem mengintegrasikan sumber data lintas unit, menggunakan algoritma yang divalidasi secara lokal, mempertahankan konfirmasi klinis oleh tim PPI, dan menyediakan dashboard serta peringatan yang mendukung tindakan manajerial secara cepat.

Kata Kunci: Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit, Infeksi Luka Operasi, Ortopedi, Surveilans Digital, Rekam Medis Elektronik, Keselamatan Pasien.

PENDAHULUAN

Infeksi Luka Operasi (ILO) merupakan salah satu bentuk infeksi terkait pelayanan kesehatan yang dapat terjadi setelah prosedur pembedahan. Dalam praktik di Indonesia, istilah ini juga sering disebut Infeksi Daerah Operasi. Masalah tersebut menjadi lebih kompleks pada pelayanan ortopedi karena banyak tindakan melibatkan implan, jaringan dalam, serta masa pemulihan yang panjang. Infeksi superfisial dapat menghambat penyembuhan luka, sedangkan infeksi dalam dan organ atau ruang dapat menyebabkan operasi ulang, pelepasan implan, penggunaan antibiotik jangka panjang, gangguan fungsi anggota gerak, dan penurunan kualitas hidup pasien.

Beban ILO ortopedi tidak hanya bersifat klinis. Tinjauan sistematis terbaru menunjukkan bahwa ILO pada bedah ortopedi dan trauma meningkatkan biaya langsung secara substansial. Peningkatan biaya relatif median mencapai 120 persen dengan tambahan biaya absolut median sebesar USD 24.230. Dampak ekonomi terbesar ditemukan pada penggantian sendi panggul dan lutut, terutama pada infeksi dalam yang memerlukan perawatan ulang dan revisi pembedahan (Stolz et al., 2026). Kondisi ini menegaskan bahwa

pencegahan dan deteksi dini memiliki nilai klinis sekaligus nilai manajerial.

Surveilans menjadi bagian penting dalam program Pencegahan dan Pengendalian Infeksi (PPI). Data surveilans membantu rumah sakit mengenali tren kejadian, membandingkan kinerja antarperiode, mengevaluasi kepatuhan terhadap bundles pencegahan, dan menentukan tindakan korektif. Namun, banyak rumah sakit masih mengandalkan pencatatan manual. Petugas harus menelusuri data operasi, hasil laboratorium, penggunaan antibiotik, catatan luka, kunjungan ulang, rawat inap kembali, dan tindakan revisi. Proses tersebut menyita waktu, sulit diterapkan pada seluruh pasien, dan dapat menghasilkan variasi klasifikasi kasus antarpetugas.

Digitalisasi pelayanan kesehatan menyediakan sumber data yang dapat digunakan untuk memperbaiki proses tersebut. SIMRS, Electronic Medical Record (EMR), Electronic Health Record (EHR), Laboratory Information Management System, sistem farmasi, data klaim, dan data administrasi dapat dihubungkan untuk membangun surveilans digital. Sistem dapat menyaring pasien berdasarkan indikator risiko, mengirim peringatan kepada tim PPI, menampilkan tren pada dashboard, serta menyediakan data untuk evaluasi mutu dan keselamatan pasien. Pada konteks ortopedi, pendekatan ini relevan karena kejadian ILO relatif rendah, tetapi konsekuensinya berat. Sistem digital dapat menyaring populasi yang besar dan memusatkan telaah klinis pada pasien dengan probabilitas infeksi yang lebih tinggi.

Meskipun demikian, keberadaan SIMRS tidak otomatis menjamin tersedianya informasi yang akurat dan real-time. Data dapat tersebar pada aplikasi yang tidak terintegrasi. Kode tindakan atau diagnosis dapat tidak konsisten. Catatan kondisi luka sering tersimpan sebagai teks bebas. Kunjungan pasien ke fasilitas lain mungkin tidak tercatat. Sistem juga dapat menghasilkan terlalu banyak peringatan yang tidak relevan. Karena itu, penilaian terhadap teknologi tidak cukup hanya melihat apakah rumah sakit telah menggunakan SIMRS. Penilaian perlu melihat kelengkapan data, ketepatan klasifikasi, kecepatan pembaruan, interoperabilitas, validasi algoritma, dan kemampuan pengguna mengubah data menjadi tindakan.

Literatur mengenai surveilans digital ILO berkembang cepat. Sejumlah penelitian menggunakan algoritma berbasis aturan, semi-automated surveillance, natural language processing, machine learning, dan deep learning. Namun, hasilnya beragam karena perbedaan populasi, definisi kasus, sumber data, periode tindak lanjut, serta kapasitas teknologi rumah sakit. Selain itu, bukti yang khusus menghubungkan SIMRS dengan pengambilan keputusan manajemen pada pelayanan ortopedi masih tersebar dalam berbagai disiplin.

Kajian ini bertujuan mengeksplorasi bagaimana teknologi informasi dimanfaatkan untuk meningkatkan surveilans dan pengendalian ILO pada pasien ortopedi. Fokus utama kajian adalah kemampuan sistem menghasilkan data yang akurat, mendekati real-time, dan relevan untuk pengambilan keputusan. Kajian juga mengidentifikasi praktik terbaik yang dapat digunakan rumah sakit dalam mengembangkan atau memperkuat fungsi SIMRS untuk pencegahan infeksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain literature review terstruktur dengan mengumpulkan, menyeleksi, dan mengkaji artikel ilmiah yang relevan dengan penerapan SIMRS dalam pemantauan serta pengendalian ILO pada pasien ortopedi. Kajian diarahkan pada peran sistem informasi rumah sakit, rekam medis elektronik, sistem surveilans digital,

algoritma berbasis aturan, natural language processing, dan machine learning dalam mendukung deteksi dini, pelaporan, pemantauan, serta pengendalian infeksi pascaoperasi.

Kerangka PICO digunakan untuk merumuskan fokus kajian. Problem mencakup ILO pada pasien ortopedi. Intervention mencakup penerapan SIMRS, HIS, EMR, EHR, automated surveillance, semi-automated surveillance, dan teknologi analitik digital. Comparison mencakup surveilans manual atau pencatatan yang belum terintegrasi. Outcome mencakup peningkatan akurasi, kecepatan deteksi, efektivitas surveilans, efisiensi kerja tim PPI, penguatan keputusan manajemen, serta perbaikan mutu dan keselamatan pasien.

Tabel 1. Kerangka PICO

Komponen	Definisi Operasional
P (Problem)	Infeksi Luka Operasi pada pasien ortopedi yang membutuhkan pemantauan akurat, cepat, dan berkelanjutan.
I (Intervention)	SIMRS, Hospital Information System, EMR, EHR, automated surveillance, semi-automated surveillance, digital infection surveillance, natural language processing, dan machine learning.
C (Comparison)	Surveilans manual, pencatatan konvensional, atau pelaporan yang belum terintegrasi secara elektronik.
O (Outcome)	Akurasi data, sensitivitas deteksi, ketepatan pelaporan, pengurangan beban kerja, dukungan keputusan manajemen, mutu pelayanan, dan keselamatan pasien.

Pencarian literatur dilakukan pada PubMed, Scopus, Google Scholar, ScienceDirect, ProQuest, Garuda, dan portal jurnal nasional yang relevan. Rentang publikasi dibatasi pada tahun 2020 sampai 2026. Artikel berbahasa Indonesia dan Inggris dipertimbangkan. Kata kunci Indonesia meliputi Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit, SIMRS, rekam medis elektronik, surveilans infeksi, Infeksi Luka Operasi, Infeksi Daerah Operasi, bedah ortopedi, pengendalian infeksi, keselamatan pasien, dan mutu rumah sakit. Kata kunci Inggris meliputi Hospital Information System, Electronic Medical Record, Electronic Health Record, surgical site infection, orthopedic surgery, orthopaedic surgery, arthroplasty, infection surveillance, automated surveillance, digital infection surveillance, infection prevention, patient safety, dan hospital quality improvement.

Strategi pencarian menggunakan operator Boolean yang disesuaikan dengan karakteristik setiap basis data. Contoh string utama adalah (“Hospital Information System” OR “Electronic Medical Record” OR “Electronic Health Record” OR “automated surveillance” OR “digital infection surveillance”) AND (“surgical site infection” OR “SSI”) AND (“orthopedic surgery” OR “orthopaedic surgery” OR “hip arthroplasty” OR “knee arthroplasty”). Pencarian berbahasa Indonesia menggunakan kombinasi (“Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit” OR “SIMRS” OR “rekam medis elektronik”) AND (“Infeksi Luka Operasi” OR “Infeksi Daerah Operasi”) AND (“bedah ortopedi” OR “operasi ortopedi”).

Tabel 2. Contoh Boolean Search String

Bahasa	Boolean Search String
Inggris	("Hospital Information System" OR "Electronic Medical Record" OR "Electronic Health Record" OR "automated surveillance") AND ("surgical site infection" OR "SSI") AND ("orthopedic surgery" OR "arthroplasty")
Inggris	("EHR" OR "EMR") AND ("surgical site infection surveillance" OR "postoperative infection surveillance") AND ("hip arthroplasty" OR "knee arthroplasty" OR "spinal surgery")
Inggris	("machine learning" OR "natural language processing" OR "rule-based algorithm") AND ("surgical site infection detection") AND ("hospital information system" OR "electronic health record")
Indonesia	("SIMRS" OR "rekam medis elektronik") AND ("Infeksi Luka Operasi" OR "Infeksi Daerah Operasi") AND ("bedah ortopedi" OR "operasi ortopedi")

Kriteria inklusi mencakup artikel yang membahas sistem informasi rumah sakit, rekam medis elektronik, surveilans digital, atau teknologi analitik untuk pemantauan infeksi; artikel mengenai ILO atau surgical site infection pada pelayanan bedah, terutama artroplasti panggul, artroplasti lutut, operasi tulang belakang, dan prosedur ortopedi lain; artikel yang melaporkan deteksi, pelaporan, pengendalian infeksi, mutu, atau keselamatan pasien; serta artikel penelitian asli, systematic review, scoping review, literature review, survei nasional, atau studi pengembangan sistem yang tersedia dalam bentuk full text.

Kriteria eksklusi mencakup artikel yang hanya membahas aspek klinis ILO tanpa hubungan dengan sistem informasi atau surveilans, artikel teknologi informasi yang tidak berhubungan dengan infeksi rumah sakit, artikel yang tidak membahas pelayanan bedah atau infeksi pascaoperasi, editorial, opini, abstrak konferensi tanpa full text, serta artikel duplikat. Seleksi dilakukan melalui identifikasi, penghapusan duplikat, skrining judul dan abstrak, telaah full text, dan penilaian kesesuaian dengan tujuan kajian.

Korpus akhir yang dianalisis berjumlah 18 artikel. Dua belas artikel merupakan penelitian empiris, sedangkan enam artikel merupakan review, meta-analisis, perspektif ahli, atau panduan implementasi teknologi. Data diekstraksi ke dalam matriks yang memuat penulis, tahun, negara, desain, setting, sumber data, jenis teknologi, indikator ILO, hasil kinerja, hambatan, dan implikasi manajerial.

Analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif. Temuan dikelompokkan ke dalam lima tema, yaitu peran SIMRS dan EHR dalam surveilans ILO, indikator elektronik untuk mendeteksi pasien berisiko, kinerja sistem otomatis dan semi-otomatis, hambatan implementasi, serta implikasi bagi mutu dan keputusan manajemen rumah sakit. Meta-analisis tidak dilakukan karena terdapat heterogenitas pada populasi, definisi kasus, sumber data, model algoritma, dan ukuran kinerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Delapan belas artikel menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi untuk surveilans infeksi bergerak dari fungsi dokumentasi menuju fungsi analitik dan pendukung keputusan. Bukti terkuat berasal dari penelitian artroplasti panggul dan lutut, karena prosedur tersebut memiliki definisi populasi yang relatif jelas, volume tindakan tinggi, data rutin yang tersedia, serta dampak klinis yang berat ketika terjadi infeksi. Jenis sistem yang ditemukan meliputi integrasi data SIMRS, algoritma berbasis aturan, surveilans semi-otomatis, natural

language processing, machine learning, deep learning, dashboard, dan sistem peringatan otomatis.

Tabel 3. Ringkasan Temuan Utama Literatur

Peneliti	Populasi/Setting	Teknologi	Temuan Utama
Bucher et al., 2020	Dua sistem layanan; 21.784 kejadian operasi	NLP berbasis aturan pada catatan klinis	Validasi internal: sensitivitas 94%, spesifisitas 88%, AUC 0,912. Validasi eksternal: sensitivitas 79%, spesifisitas 92%, AUC 0,852.
Verberk et al., 2021	8.378 THA/TKA primer; empat rumah sakit	Algoritma semi-otomatis berbasis mikrobiologi, antibiotik, readmission, dan operasi ulang	Sensitivitas 93,6% sampai 100%, PPV 55,8% sampai 72,2%, pengurangan telaah manual minimal 98%.
Wu et al., 2023	27.360 admisi THA/TKA; multicenter	XGBoost menggunakan data administratif dan teks EMR	Model gabungan menghasilkan ROC AUC 0,906, PR AUC 0,637, dan F1 0,79.
Shitrit et al., 2023	Ortopedi, kolorektal, dan histerektomi	Alat skrining semi-otomatis	Pada ortopedi, sensitivitas 91% pada data pelatihan dan 85% pada validasi; spesifisitas 82% dan 83%; beban review turun 61% sampai 66%.
Guedes et al., 2024	1.631 operasi panggul dan lutut	Kombinasi indikator EHR	Dua puluh empat algoritma mencapai sensitivitas 90,3% untuk semua ILO dan 100% untuk infeksi dalam atau organ-ruang; beban kerja turun 59,7% sampai 67,7%.
van der Meijden et al., 2024	Scoping review, 75 metode identifikasi	Surveilans otomatis berbasis EHR	PPV sistem otomatis penuh berada pada 0,31 sampai 0,76. Bukti belum cukup untuk mengganti konfirmasi manual hanya dengan data terstruktur.
Agostinho et al., 2025	3.931 pasien bedah	Machine learning dan model berbasis aturan	Model ML mencapai sensitivitas sampai 0,90, AUROC sampai 0,968, dan pengurangan beban kerja lebih dari 90%. Model berbasis aturan mencapai sensitivitas 1,00.
Golinelli et al., 2025	Pasien ortopedi dari data rutin 2017 sampai 2021	XGBoost untuk stratifikasi risiko	Recall lebih dari 70% dan AUC lebih dari 0,70. Prediktor penting meliputi ASA, penggunaan opioid, prioritas operasi, dan lama rawat.
Skuntaniyom et al., 2026	Operasi CABG di rumah sakit tersier	Screening-automated surveillance berbasis kode	Algoritma terbaik mencapai sensitivitas 100%, spesifisitas 91,69%, NPV 100%, dan pengurangan beban kerja 87,91%.
Chakraborty	5.996 kasus	Deep learning	F1 meningkat dari 0,55 pada data

et al., 2026	bedah dari dua rumah sakit	multimodal, data terstruktur, teks, dan pola temporal	terstruktur menjadi 0,70 pada pendekatan multimodal dan temporal.
--------------	----------------------------	---	---

1. SIMRS sebagai infrastruktur data surveilans

Temuan kajian menunjukkan bahwa fungsi utama SIMRS dalam surveilans ILO bukan sekadar mengganti formulir kertas. SIMRS perlu berperan sebagai infrastruktur data yang menghubungkan proses perioperatif, rawat inap, laboratorium mikrobiologi, farmasi, instalasi gawat darurat, rawat jalan, readmission, dan tindakan operasi ulang. Data tersebut membentuk jejak klinis yang dapat digunakan untuk mengenali pola infeksi.

Pada pasien ortopedi, indikator elektronik yang paling konsisten adalah hasil kultur positif, jumlah permintaan pemeriksaan mikrobiologi, pemberian antibiotik dalam durasi tertentu, lama rawat yang memanjang, kunjungan ke instalasi gawat darurat, rawat inap kembali di bagian ortopedi, serta reintervensi. Guedes et al. (2024) menunjukkan bahwa kombinasi tiga indikator, yaitu sedikitnya tiga permintaan mikrobiologi, lama rawat minimal 14 hari, dan kunjungan ke instalasi gawat darurat, menghasilkan keseimbangan yang baik antara sensitivitas, efisiensi, dan kemudahan implementasi. Temuan tersebut penting karena satu indikator tunggal tidak cukup sensitif. Kultur positif, misalnya, hanya menangkap sebagian kasus dan dapat melewatkan pasien yang telah menerima antibiotik sebelum pengambilan spesimen.

Integrasi juga harus mencakup denominator. Rumah sakit perlu mengetahui jumlah dan jenis operasi yang benar-benar masuk populasi surveilans. Kesalahan dalam memilih operasi primer, revisi, atau prosedur yang harus dikecualikan dapat menghasilkan angka insiden yang keliru. Verberk et al. (2021) menemukan ketidaksesuaian pemilihan populasi berdasarkan kode prosedur di beberapa rumah sakit. Artinya, akurasi surveilans tidak hanya ditentukan oleh algoritma numerator, tetapi juga oleh ketepatan daftar pasien yang menjadi denominator.

2. Akurasi data dan validitas algoritma

Akurasi sistem perlu dinilai dengan ukuran yang tepat. Sensitivitas menunjukkan kemampuan sistem menangkap kasus ILO. Spesifisitas menunjukkan kemampuan mengeluarkan pasien tanpa infeksi. Positive predictive value menggambarkan proporsi peringatan yang benar-benar merupakan kasus. Negative predictive value menunjukkan keamanan ketika sistem menyatakan pasien berisiko rendah. Pada surveilans infeksi, sensitivitas dan negative predictive value perlu diprioritaskan karena kasus yang terlewat dapat menunda tindakan dan menurunkan validitas angka infeksi rumah sakit.

Studi ortopedi menunjukkan sensitivitas yang tinggi. Verberk et al. (2021) melaporkan sensitivitas 93,6 sampai 100 persen dengan penurunan beban review minimal 98 persen. Guedes et al. (2024) melaporkan sensitivitas 90,3 persen untuk seluruh tipe ILO dan 100 persen untuk infeksi dalam serta organ atau ruang. Namun, PPV tidak selalu tinggi. Hal ini berarti sistem efektif sebagai alat skrining, tetapi belum selalu cukup untuk menetapkan diagnosis definitif.

Data multimodal meningkatkan kinerja. Meta-analisis Wu et al. (2022) menunjukkan bahwa model yang menggabungkan data terstruktur dan teks mencapai sensitivitas gabungan 0,83, spesifisitas 0,92, dan AUC 0,92. Model yang hanya menggunakan data terstruktur memiliki sensitivitas lebih rendah, yaitu 0,56. Wu et al. (2023) juga menunjukkan bahwa kombinasi data administratif dan teks EMR menghasilkan ROC AUC 0,906 dan F1 0,79 pada deteksi infeksi kompleks setelah artroplasti. Catatan klinis memuat informasi penting seperti kemerahan, drainase, dehisensi, nyeri, demam, dan penilaian dokter yang

sering tidak tersedia dalam kolom terstruktur.

Walaupun machine learning menjanjikan, validasi eksternal tetap menjadi syarat. Bucher et al. (2020) menemukan penurunan sensitivitas dari 94 persen pada validasi internal menjadi 79 persen pada sistem rumah sakit lain. Perbedaan terminologi, pola dokumentasi, jenis pasien, kode, dan alur pelayanan dapat menurunkan kinerja. Rumah sakit tidak boleh mengadopsi algoritma dari institusi lain tanpa kalibrasi dan pengujian lokal.

3. Data real-time dan batas operasionalnya

Istilah real-time perlu digunakan secara hati-hati. Diagnosis definitif ILO pada tindakan ortopedi tidak selalu dapat diketahui saat pasien masih dirawat. Sebagian kasus muncul setelah pasien pulang dan baru teridentifikasi melalui kunjungan ulang, rawat inap kembali, kultur, atau operasi revisi dalam masa tindak lanjut 90 sampai 120 hari. Karena itu, SIMRS lebih realistis diarahkan untuk menghasilkan near real-time risk flagging, bukan selalu diagnosis final secara langsung.

Sistem yang baik memperbarui sinyal ketika terjadi peristiwa penting, seperti kultur positif, antibiotik terapeutik yang berlanjut, peningkatan penanda inflamasi, kunjungan gawat darurat, readmission, atau reoperasi. Peringatan masuk ke dashboard tim PPI dan klinisi. Petugas kemudian memeriksa catatan klinis serta mengonfirmasi definisi kasus. Model ini mempercepat respons tanpa menghilangkan penilaian profesional.

Pengalaman sistem CLAR memperlihatkan bahwa data mikrobiologi dan pergerakan pasien dapat dianalisis setiap hari untuk mendeteksi peningkatan kluster. Namun, hanya 35 persen peringatan yang dinilai relevan secara klinis. Temuan ini menunjukkan risiko alert fatigue. Sistem perlu menetapkan ambang peringatan, kategori prioritas, mekanisme eskalasi, dan evaluasi berkala agar pengguna tidak mengabaikan notifikasi.

4. Surveilans semi-otomatis sebagai pilihan paling aman

Bukti yang tersedia lebih mendukung surveilans semi-otomatis daripada otomatis penuh. Sistem semi-otomatis mengklasifikasikan pasien ke dalam kelompok probabilitas rendah dan tinggi. Tim PPI hanya menelaah kelompok berisiko tinggi. Pendekatan ini mengurangi beban kerja secara besar tanpa menyerahkan diagnosis sepenuhnya kepada algoritma.

Scoping review van der Meijden et al. (2024) menemukan PPV sistem otomatis penuh hanya 0,31 sampai 0,76. Variasi definisi infeksi dan kebutuhan data teks bebas membuat otomatisasi penuh berisiko menghasilkan overreporting atau salah klasifikasi. Pada sisi lain, Agostinho et al. (2025) menunjukkan bahwa model machine learning dapat memberi efisiensi dan AUROC yang tinggi, sedangkan model berbasis aturan memberi sensitivitas lebih tinggi. Temuan tersebut mendukung pendekatan hibrida. Aturan yang transparan dapat digunakan untuk menjamin keselamatan, model machine learning dapat memperbaiki prioritas, dan petugas PPI tetap menetapkan status akhir.

Bagi rumah sakit yang baru memulai, algoritma berbasis aturan lebih mudah dijelaskan, diaudit, dan disesuaikan dengan ketersediaan data. Machine learning dapat ditambahkan setelah data memiliki kualitas memadai, volume kasus cukup, dan rumah sakit memiliki kemampuan validasi serta pemeliharaan model.

5. Implikasi terhadap pengendalian infeksi dan keputusan manajemen

Nilai SIMRS baru terlihat ketika informasi mendorong tindakan. Dashboard surveilans perlu menampilkan angka ILO per jenis prosedur, tipe infeksi, kedalaman infeksi, mikroorganisme, pola resistensi, waktu munculnya kasus, unit terkait, penggunaan antibiotik, lama rawat, readmission, reoperasi, dan biaya tambahan. Data harus dapat disaring menurut dokter operator, ruang operasi, kelas luka, penggunaan implan, periode,

dan faktor risiko yang relevan dengan tetap memperhatikan prinsip keadilan dan kerahasiaan.

Tim PPI dapat menggunakan informasi tersebut untuk investigasi kasus, audit kepatuhan antibiotik profilaksis, evaluasi persiapan kulit, kepatuhan hand hygiene, sterilisasi alat, perawatan luka, dan tindak lanjut pascapulang. Komite mutu dapat menilai tren dan efektivitas intervensi. Manajemen dapat menetapkan kebutuhan pelatihan, penambahan tenaga, investasi sistem, dan prioritas perbaikan proses. Data juga dapat membantu menghitung dampak ekonomi. Hal ini penting karena ILO ortopedi meningkatkan biaya secara nyata, dengan peningkatan biaya median 203 persen pada operasi penggantian panggul atau lutut dalam tinjauan Stolz et al. (2026).

SIMRS juga dapat memperkuat kepatuhan melalui pengingat otomatis, checklist digital, clinical decision support, dan notifikasi ketika profilaksis antibiotik tidak sesuai waktu. Namun, teknologi tidak dapat menggantikan budaya keselamatan. Efektivitas tetap dipengaruhi oleh beban kerja, pelatihan, kemudahan penggunaan, kepemimpinan, dan dukungan organisasi.

6. Hambatan implementasi pada rumah sakit

Hambatan yang paling sering ditemukan adalah data yang tidak lengkap, aplikasi yang terpisah, akses data yang terbatas, format ekspor yang berbeda, kekurangan tenaga teknologi informasi, variasi kode, dan rendahnya penerimaan pengguna. Survei di Jerman menunjukkan bahwa defisit teknologi lokal, ketidakcocokan spesifikasi impor dengan HIS, dan kurangnya keahlian teknis menjadi alasan utama rumah sakit tidak menggunakan impor data otomatis.

Konteks Indonesia menunjukkan masalah serupa. Sirait et al. (2025) menemukan belum adanya indikator kelengkapan dan ketepatan data serta penggunaan SIMRS dan situs PPI yang tidak terintegrasi. Petugas harus memasukkan data pada dua aplikasi. Kondisi ini meningkatkan duplikasi kerja dan risiko inkonsistensi. Permasalahan lain meliputi pelatihan petugas yang belum merata, standar operasional koordinasi lintas unit yang belum lengkap, dan keterbatasan sarana.

Hambatan tersebut menegaskan bahwa proyek surveilans digital harus diperlakukan sebagai perubahan sistem organisasi, bukan hanya pengadaan perangkat lunak. Rumah sakit memerlukan tata kelola data, kepemilikan proses, dukungan anggaran, tim multidisiplin, serta indikator evaluasi yang jelas.

Tabel 4. Best Practice Penerapan SIMRS untuk Surveilans ILO Ortopedi

Domain	Praktik yang Direkomendasikan
Tujuan dan tata kelola	Tetapkan tujuan surveilans, definisi kasus, pemilik proses, kewenangan akses, serta mekanisme eskalasi.
Integrasi data	Hubungkan data operasi, laboratorium, mikrobiologi, farmasi, IGD, rawat jalan, readmission, dan operasi ulang.
Kualitas data	Gunakan kamus data, kode baku, pemeriksaan kelengkapan, deteksi duplikasi, dan validasi identitas pasien.
Desain algoritma	Mulai dengan aturan yang transparan, sensitif, dan sesuai dengan data lokal. Tambahkan machine learning bila data telah memadai.
Validasi	Bandingkan sistem dengan telaah manual, hitung sensitivitas, spesifisitas, PPV, NPV, dan beban kerja yang berkurang.
Human-in-the-loop	Pertahankan konfirmasi kasus oleh tim PPI atau klinisi, terutama untuk

	diagnosis infeksi dalam dan organ atau ruang.
Dashboard dan alert	Tampilkan tren, daftar pasien berisiko, tingkat prioritas, status tindak lanjut, dan indikator mutu yang dapat ditindaklanjuti.
Pemeliharaan	Lakukan audit berkala terhadap perubahan kode, sumber data, performa model, keamanan data, dan alert fatigue.

7. Best practice penerapan SIMRS untuk surveilans ILO ortopedi

Sintesis literatur menghasilkan delapan praktik utama. Pertama, rumah sakit harus menetapkan tujuan surveilans secara jelas, apakah untuk deteksi kasus, pemantauan tren, benchmarking, perbaikan mutu, atau penelitian. Kedua, rumah sakit perlu memetakan sumber data dan memastikan identitas pasien serta episode operasi dapat dihubungkan secara konsisten. Ketiga, sistem harus mengintegrasikan data operasi, mikrobiologi, farmasi, laboratorium, rawat jalan, gawat darurat, readmission, dan reoperasi.

Keempat, algoritma perlu menggunakan indikator yang mudah tersedia dan relevan secara klinis. Kelima, rumah sakit harus mengutamakan sensitivitas tinggi serta negative predictive value yang aman. Keenam, seluruh algoritma wajib melalui validasi lokal dengan surveilans manual sebagai standar pembandingan. Ketujuh, sistem harus mempertahankan human-in-the-loop. Petugas PPI atau klinisi mengonfirmasi kasus yang ditandai. Kedelapan, rumah sakit perlu melakukan audit berkala terhadap kualitas data, perubahan kode, performa algoritma, jumlah false positive, kasus yang terlewat, dan respons terhadap peringatan.

Praktik tambahan mencakup dashboard berbasis peran, pencatatan jejak audit, perlindungan data, pelatihan pengguna, evaluasi alert fatigue, serta komunikasi rutin antara manajemen, tim PPI, dokter ortopedi, mikrobiologi, farmasi, rekam medis, dan teknologi informasi. Pendekatan bertahap lebih aman. Rumah sakit dapat memulai dengan satu prosedur berisiko tinggi, seperti artroplasti panggul dan lutut, kemudian memperluas sistem setelah proses stabil.

8. Keterbatasan bukti

Kajian ini memiliki beberapa keterbatasan. Desain studi, definisi kasus, populasi operasi, sumber data, algoritma, dan ukuran kinerja sangat beragam. Sebagian model dikembangkan pada satu rumah sakit dan belum menjalani validasi eksternal. Beberapa penelitian berfokus pada operasi nonortopedi, tetapi tetap dimasukkan karena memberikan informasi penting tentang arsitektur surveilans, sistem peringatan, dan implementasi teknologi. Selain itu, artikel Indonesia yang secara khusus mengevaluasi SIMRS untuk surveilans ILO ortopedi masih terbatas. Karena itu, hasil kajian lebih tepat digunakan sebagai dasar pengembangan dan uji coba lokal daripada sebagai standar tunggal yang langsung diterapkan pada semua rumah sakit.

KESIMPULAN

Penerapan SIMRS dapat meningkatkan pemantauan dan pengendalian ILO pada pasien ortopedi melalui integrasi data klinis, administrasi, mikrobiologi, farmasi, dan tindak lanjut pasien. Bukti menunjukkan bahwa sistem semi-otomatis mampu mencapai sensitivitas tinggi dan menurunkan beban telaah manual secara bermakna. Kombinasi data terstruktur dengan catatan klinis memberi kinerja yang lebih baik daripada penggunaan data terstruktur saja.

Namun, manfaat tersebut tidak muncul hanya karena rumah sakit telah memiliki SIMRS. Keakuratan dan kecepatan informasi bergantung pada kelengkapan data, interoperabilitas, konsistensi kode, validasi lokal, kompetensi pengguna, dan dukungan

manajemen. Untuk pelayanan ortopedi, praktik terbaik adalah menerapkan surveilans semi-otomatis dengan algoritma sensitif, peringatan mendekati real-time, konfirmasi klinis oleh tim PPI, dashboard yang dapat ditindaklanjuti, serta audit berkelanjutan. Model ini memberi keseimbangan antara efisiensi teknologi dan keselamatan pasien.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghdassi, S. J. S., Goodarzi, H., Gropmann, A., Clausmeyer, J., Geffers, C., Piening, B., Gastmeier, P., & Behnke, M. (2023). Surgical site infection surveillance in German hospitals: A national survey to determine the status quo of digitalization. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 12, 49. <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01253-9>
- Aghdassi, S. J. S., Kohlmorgen, B., Schröder, C., Peña Diaz, L. A., Thoma, N., Rohde, A. M., Piening, B., Gastmeier, P., & Behnke, M. (2021). Implementation of an automated cluster alert system into the routine work of infection control and hospital epidemiology: Experiences from a tertiary care university hospital. *BMC Infectious Diseases*, 21, 1075. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-06771-8>
- Agostinho, A., Chalot, E., Teixeira, D., Bosetti, D., Buetti, N., Catho, G., Harbarth, S., & Abbas, M. (2025). Semi-automated surveillance of surgical site infections using machine learning and rule-based classification models. *npj Digital Medicine*, 8, 617. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01989-1>
- Behnke, M., Valik, J. K., Gubbels, S., Teixeira, D., Kristensen, B., Abbas, M., van Rooden, S. M., Gastmeier, P., & van Mourik, M. S. M. (2021). Information technology aspects of large-scale implementation of automated surveillance of healthcare-associated infections. *Clinical Microbiology and Infection*, 27(Suppl. 1), S29-S39. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.02.027>
- Bucher, B. T., Shi, J., Ferraro, J. P., Skarda, D. E., Samore, M. H., Hurdle, J. F., Gundlapalli, A. V., Chapman, W. W., & Finlayson, S. R. G. (2020). Portable automated surveillance of surgical site infections using natural language processing: Development and validation. *Annals of Surgery*, 272(4), 629-636. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004133>
- Chakraborty, A., Tarczy-Hornoch, P., Long, D., & Yetisgen, M. (2026). Automated identification of surgical site infections from electronic medical records: Retrospective observational predictive modeling study. *JMIR Perioperative Medicine*, 9, e87896. <https://doi.org/10.2196/87896>
- Denkel, L. A., Arnaud, I., Brekelmans, M., Puig-Asensio, M., Amin, H., Gubbels, S., Iversen, P., Abbas, M., Presterl, E., Astagneau, P., & van Rooden, S. (2024). Automated surveillance for surgical site infections in hospitals and surveillance networks: Expert perspectives for implementation. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 13, 155. <https://doi.org/10.1186/s13756-024-01505-2>
- Golinelli, D., Rosa, S., Rucci, P., Sanmarchi, F., Tedesco, D., Biagetti, C., Gili, A., Bucci, A., Romeo, L., & Grilli, R. (2025). ML-predicted surgical site infections: An epidemiological study utilizing machine learning on routinely collected healthcare data to predict infection risk. *Smart Health*, 37, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2025.100596>
- Guedes, M., Almeida, F., Andrade, P., Moreira, L., Pedrosa, A., Azevedo, A., & Rocha-Pereira, N. (2024). Surgical site infection surveillance in knee and hip arthroplasty: Optimizing an algorithm to detect high-risk patients based on electronic health records. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 13, 90. <https://doi.org/10.1186/s13756-024-01445-x>
- Nurhadi, N., & Triyanto, E. (2025). The role of hospital management information systems in enhancing compliance with surgical site infection prevention protocols: A systematic review. *Indonesian Journal of Global Health Research*, 7(3), 785-792.
- Shitrit, P., Chowder, M. Y., & Muhsen, K. (2023). The development and validation of screening tools for semi-automated surveillance of surgical site infection following various surgeries. *Frontiers in Medicine*, 10, 1023385. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1023385>

- Sirait, R. A., Sari, A. P., & Sitorus, R. S. (2025). Analisis sistem surveilans HAIs di RSUD Drs. H. Amri Tambunan Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Kesmas dan Gizi*, 7(2), 319-326. <https://doi.org/10.35451/jkg.v7i2.2690>
- Skuntaniyom, S., Techasaensiri, C., Muntajit, T., & Piebpien, P. (2026). Automated surveillance system for surgical site infection in coronary artery bypass graft surgery in tertiary care hospitals. *American Journal of Infection Control*, 54, 620-625. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2025.12.001>
- Stolz, M., Schmetsdorf, J., Tomsic, I., von Lengerke, T., Chaberny, I. F., & Krauth, C. (2026). Costs of surgical site infections in orthopaedic and trauma surgery: A systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 169, 42-58. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2025.11.008>
- van der Meijden, S. L., van Boekel, A. M., van Goor, H., Nelissen, R. G. H. H., Schoones, J. W., Steyerberg, E. W., Geerts, B. F., de Boer, M. G. J., & Arbous, M. S. (2024). Automated identification of postoperative infections to allow prediction and surveillance based on electronic health record data: Scoping review. *JMIR Medical Informatics*, 12, e57195. <https://doi.org/10.2196/57195>
- Verberk, J. D. M., van Rooden, S. M., Koek, M. B. G., Hetem, D. J., Smilde, A. E., Bril, W. S., Streefkerk, R. H. R. A., Hopmans, T. E. M., Bonten, M. J. M., de Greeff, S. C., & van Mourik, M. S. M. (2021). Validation of an algorithm for semiautomated surveillance to detect deep surgical site infections after primary total hip or knee arthroplasty: A multicenter study. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 42(1), 69-74. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.377>
- Wu, G., Cheliger, C., Southern, D. A., Martin, E. A., Xu, Y., Leal, J., Ellison, J., Bush, K., Williamson, T., Quan, H., & Eastwood, C. A. (2023). Development of machine learning models for the detection of surgical site infections following total hip and knee arthroplasty: A multicenter cohort study. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 12, 88. <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01294-0>
- Wu, G., Khair, S., Yang, F., Cheliger, C., Southern, D., Zhang, Z., Feng, Y., Xu, Y., Quan, H., Williamson, T., & Eastwood, C. A. (2022). Performance of machine learning algorithms for surgical site infection case detection and prediction: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Medicine and Surgery*, 84, 104956. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104956>