



FORUM DIAGNOSTICUM

PRODIA DIAGNOSTICS EDUCATIONAL SERVICES

TRANSFORMASI PRAKTIK KLINIS MODERN MELALUI *CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM*

Matthew Justyn



**CLINICAL DECISION
SUPPORT**

PENDAHULUAN

Transformasi digital telah mengubah secara fundamental praktik kedokteran modern melalui integrasi teknologi informasi, rekam medis elektronik, serta analisis data kesehatan berbasis komputasi. Kompleksitas pelayanan kesehatan yang semakin meningkat, ditambah dengan pertumbuhan pesat literatur medis dan parameter diagnostik baru, menuntut klinisi untuk mengambil keputusan secara cepat, akurat, dan berbasis bukti. Kondisi ini memunculkan

kebutuhan akan sistem yang mampu membantu proses pengambilan keputusan klinis secara sistematis dan konsisten di tengah keterbatasan kognitif manusia dalam mengelola volume informasi medis yang terus berkembang (1). Diperkirakan ribuan artikel biomedis baru dipublikasikan setiap minggu, sementara seorang klinisi dalam praktik sehari-hari harus menafsirkan data laboratorium, pencitraan, riwayat penyakit, komorbiditas, serta pilihan terapi yang terus bertambah kompleks. Pada saat yang sama, kesalahan medis yang dapat dicegah, interaksi

obat, dan variasi praktik klinis antar fasilitas kesehatan masih menjadi tantangan nyata di banyak negara. Fakta ini menegaskan perlunya sistem pendukung yang mampu menyaring informasi relevan dan menghadirkan rekomendasi klinis secara cepat pada titik pelayanan.

Clinical Decision Support System (CDSS) hadir sebagai solusi teknologi yang dirancang untuk mengintegrasikan data pasien dengan pengetahuan medis terkini guna menghasilkan rekomendasi klinis pada saat pelayanan berlangsung. Menurut *Agency for Healthcare Research and Quality*, CDSS merupakan sistem yang menyediakan pengetahuan klinis dan informasi pasien yang telah dianalisis untuk meningkatkan kualitas keputusan kesehatan. Perkembangan CDSS semakin pesat seiring adopsi luas *Electronic Health Record* dan kemajuan *artificial intelligence* yang memungkinkan analisis multidimensi data klinis secara *real-time*. Dalam praktik klinis modern, CDSS tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu administratif, tetapi berkembang menjadi komponen strategis dalam implementasi *evidence-based medicine*, *precision medicine*, serta pelayanan kesehatan multidisiplin. Contoh implementasi CDSS yang telah banyak digunakan di lapangan meliputi peringatan alergi dan interaksi obat saat peresepan, pengingat skrining preventif, kalkulator risiko kardiovaskular, deteksi dini sepsis di ruang rawat inap, hingga interpretasi hasil laboratorium berbasis algoritma. Di sejumlah rumah sakit, integrasi CDSS terbukti membantu menurunkan medication error, meningkatkan kepatuhan terhadap panduan klinis, serta mempercepat respons terhadap kondisi gawat darurat. Meskipun berbagai studi menunjukkan potensi CDSS dalam meningkatkan keselamatan pasien dan efisiensi pelayanan kesehatan,

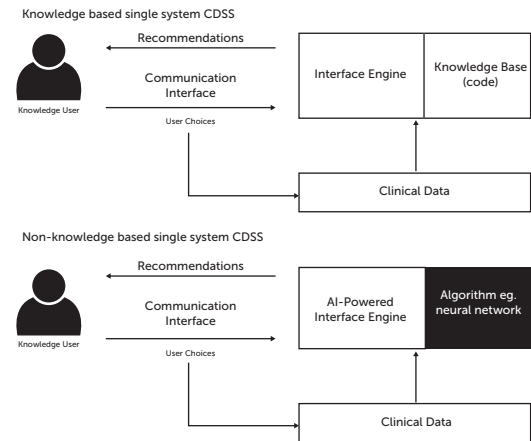
implementasinya masih menghadapi tantangan teknis, etik, dan regulatori (1).

KONSEP DASAR *CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM*

CDSS merupakan salah satu inovasi utama dalam transformasi praktik kedokteran modern menuju pelayanan kesehatan berbasis data. Sistem ini dirancang untuk membantu tenaga kesehatan dalam mengelola kompleksitas pengambilan keputusan klinis melalui integrasi informasi pasien, pengetahuan medis berbasis bukti, serta kemampuan analitik komputasional. Berbeda dengan sistem informasi kesehatan konvensional yang berfungsi sebagai penyimpanan data, CDSS secara aktif menganalisis informasi klinis dan memberikan rekomendasi kontekstual pada saat pelayanan berlangsung (1,2).

Konsep CDSS sebenarnya telah berkembang sejak era sistem pakar medis pada tahun 1970-an, ketika komputer pertama kali digunakan untuk membantu proses diagnosis klinis melalui pendekatan berbasis aturan. Meskipun demikian, implementasi CDSS mengalami akselerasi signifikan setelah adopsi luas *Electronic Health Record* (EHR) di berbagai negara. Integrasi CDSS dengan rekam medis elektronik memungkinkan sistem mengakses data pasien secara longitudinal dan melakukan analisis secara langsung. Melalui mekanisme ini, CDSS mampu memberikan peringatan interaksi obat, rekomendasi terapi berbasis pedoman kesehatan baik internasional maupun nasional, penilaian risiko penyakit, hingga prediksi luaran klinis secara otomatis pada titik pelayanan. Organisasi global seperti World Health Organization menempatkan kesehatan digital, termasuk teknologi decision support, sebagai komponen strategis dalam meningkatkan keselamatan pasien, efisiensi pelayanan

kesehatan, serta pemerataan kualitas layanan medis secara global (3-5). Secara arsitektural, CDSS dibangun atas integrasi antara basis pengetahuan klinis, mesin inferensi analitik, dan antarmuka pengguna yang memungkinkan interaksi langsung dengan klinisi. Secara garis besar CDSS terbagi menjadi dua jenis klasifikasi yaitu *knowledge-based* dan *non-knowledge based* (gambar 1) (1). Dalam *knowledge-based*, aturan berupa pernyataan IF-THEN dibuat terlebih dahulu. Sistem kemudian mengambil data yang relevan untuk mengevaluasi aturan tersebut dan menghasilkan suatu tindakan atau keluaran. Aturan ini dapat disusun berdasarkan literatur ilmiah, pengalaman praktik klinis, maupun data yang berpusat pada pasien. Sementara itu, CDSS *non-knowledge-based* tetap memerlukan sumber data, tetapi proses pengambilan keputusan tidak mengikuti aturan medis yang diprogram secara eksplisit. Sebaliknya, sistem memanfaatkan *Artificial Intelligence* (AI), *Machine Learning* (ML), atau pengenalan pola statistik untuk menghasilkan rekomendasi. Meskipun penggunaan CDSS *non-knowledge-based* berkembang pesat dalam bidang kedokteran, pendekatan ini masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain kesulitan memahami logika yang digunakan AI dalam menghasilkan rekomendasi (*black box problem*), serta keterbatasan ketersediaan dan kualitas data. CDSS berkembang menjadi mitra kognitif bagi klinisi dalam proses diagnosis, stratifikasi risiko, pemilihan terapi, serta monitoring longitudinal pasien. Evolusi ini mencapai tahap baru dengan munculnya *artificial intelligence* generatif yang mampu mensintesis informasi medis kompleks dan membantu penyusunan rencana manajemen pasien secara lebih personal (1,6).



Gambar 1. Diagram interaksi utama pada CDSS (1).

Dalam praktik sehari-hari, efektivitas CDSS sangat dipengaruhi oleh bagaimana sistem tersebut diintegrasikan ke dalam alur kerja klinis. CDSS yang bekerja secara *real-time* di dalam EHR cenderung lebih efektif dibanding sistem terpisah yang memerlukan input manual tambahan. Ketika rekomendasi muncul pada saat dokter melakukan order obat, meninjau hasil laboratorium, atau menilai risiko pasien, peluang adopsi dan dampak klinis menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, sistem yang menambah beban administratif atau menghasilkan terlalu banyak notifikasi berisiko menimbulkan *alert fatigue* dan diabaikan oleh pengguna. Karena itu, desain antarmuka, relevansi rekomendasi, serta kemudahan penggunaan menjadi komponen penting dalam keberhasilan implementasi CDSS modern.

Perkembangan terbaru juga menunjukkan bahwa CDSS tidak lagi terbatas di rumah sakit tersier, tetapi mulai meluas ke layanan primer, telemedicine, dan laboratorium diagnostik. Sistem berbasis AI kini digunakan untuk skrining retinopati diabetik, interpretasi radiologi, prediksi sepsis, hingga stratifikasi risiko kardiovaskular berbasis biomarker. Di beberapa negara maju, CDSS telah menjadi bagian dari strategi

value-based healthcare karena membantu meningkatkan kualitas keputusan klinis sekaligus menekan pemeriksaan atau terapi yang tidak perlu. Tren ini menunjukkan bahwa CDSS akan semakin berperan sebagai infrastruktur inti dalam sistem kesehatan masa depan yang lebih prediktif, preventif, dan personal.

INTEGRASI CLINICAL DECISION SUPPORT DALAM PRAKTEK KLINIS MODERN

Efektivitas CDSS dalam praktik klinis modern sangat bergantung pada tingkat integrasinya dengan EHR. Integrasi ini memungkinkan sistem mengakses data pasien secara longitudinal, termasuk riwayat penyakit, hasil laboratorium, terapi sebelumnya, serta parameter fisiologis yang diperbarui secara kontinu. Ketika CDSS terintegrasi langsung dalam workflow klinis, rekomendasi diagnostik maupun terapeutik dapat diberikan secara *real-time* pada saat dokter melakukan evaluasi pasien tanpa menambah beban administratif. Pendekatan ini terbukti meningkatkan kepatuhan terhadap guideline klinis serta mempercepat proses pengambilan keputusan medis (1). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi CDSS memberikan dampak nyata terhadap outcome pelayanan kesehatan. Implementasi CDSS berbasis EHR dilaporkan mampu meningkatkan akurasi diagnosis dan menurunkan variasi praktik klinis antar tenaga medis (5). Studi sistematis juga menunjukkan bahwa penggunaan CDSS berhubungan dengan penurunan angka *hospital readmission* dan lama rawat inap akibat optimalisasi keputusan terapi sejak fase awal perawatan (7). Selain itu, pemanfaatan CDSS dalam manajemen operasional pelayanan kesehatan terbukti membantu optimalisasi alur pelayanan pasien sehingga waktu tunggu klinik dan beban pelayanan dapat berkurang secara

signifikan melalui sistem triase berbasis risiko (8). Dalam praktik penyakit kronik seperti diabetes mellitus tipe 2, CDSS digunakan untuk mengintegrasikan parameter metabolik seperti HbA1c, fungsi ginjal, tekanan darah, serta profil lipid guna menentukan pencapaian target terapi secara otomatis. Meta-analisis menunjukkan bahwa penggunaan CDSS pada manajemen diabetes berkontribusi terhadap perbaikan kontrol glikemik serta peningkatan kepatuhan klinisi terhadap rekomendasi terapi berbasis bukti (9). Pada bidang kardiovaskular, CDSS mampu melakukan stratifikasi risiko penyakit jantung koroner dengan menggabungkan faktor klinis dan laboratorik sehingga terapi preventif dapat diberikan lebih dini sebelum terjadi kejadian kardiovaskular mayor (10).

Penggunaan CDSS juga memiliki dampak besar terhadap keselamatan pasien. Sistem peringatan interaksi obat dan validasi resep otomatis terbukti mampu menurunkan *medication error* hingga lebih dari 50% pada berbagai setting pelayanan kesehatan (11). Implementasi CDSS berbasis kecerdasan buatan pada deteksi dini sepsis bahkan menunjukkan kemampuan mengenali risiko perburukan klinis beberapa jam sebelum manifestasi klinis muncul, sehingga intervensi dapat dilakukan lebih cepat dan mortalitas pasien berpotensi menurun (12). Temuan ini menunjukkan pergeseran praktik kedokteran dari pendekatan reaktif menuju model prediktif dan preventif. Perkembangan *precision medicine* semakin memperluas fungsi CDSS dari sistem rekomendasi generik menjadi platform integratif berbasis data individual. Integrasi data genomik, biomarker molekuler, serta parameter metabolik memungkinkan stratifikasi risiko yang lebih akurat dan personalisasi terapi pasien (13). Dalam konteks penyakit metabolik dan hepatologi, CDSS dapat menggabungkan biomarker laboratorium

dengan faktor genetik untuk mengidentifikasi individu berisiko tinggi sebelum muncul manifestasi klinis, sehingga strategi pencegahan dapat dilakukan lebih awal.

Integrasi CDSS juga berkembang pada industri kesehatan diagnostik, khususnya perusahaan laboratorium klinik modern. Laboratorium tidak lagi hanya menghasilkan data numerik, tetapi bertransformasi menjadi penyedia interpretasi klinis berbasis algoritma melalui konsep *enhanced laboratory reporting*. Sistem CDSS dapat mengolah hasil pemeriksaan laboratorium menjadi skor risiko klinis, interpretasi longitudinal pasien, serta rekomendasi tindak lanjut berbasis panduan internasional maupun lokal. Pendekatan ini meningkatkan nilai klinis laporan laboratorium dan membantu dokter mempercepat proses pengambilan keputusan di tengah meningkatnya kompleksitas data diagnostik (14). Sebagai ilustrasi implementasi, pemeriksaan profil lipid modern dapat diperkaya dengan kalkulasi risiko aterosklerosis, estimasi risiko kardiovaskular jangka panjang, serta rekomendasi target terapi individual. Demikian pula pada pemeriksaan metabolik dan fungsi hati, CDSS mampu mengintegrasikan berbagai biomarker menjadi indeks risiko penyakit metabolik atau fibrosis hati secara otomatis. Integrasi ini memungkinkan laboratorium berperan sebagai titik awal deteksi dini penyakit dan mendukung strategi *population health management*, yang terbukti meningkatkan efisiensi biaya kesehatan sekaligus memperkuat pendekatan preventif dalam sistem pelayanan kesehatan modern (15).

Integrasi clinical decision support dalam praktik klinis modern tidak hanya meningkatkan akurasi keputusan medis, tetapi juga mengubah ekosistem pelayanan kesehatan menjadi lebih prediktif, preventif, dan berbasis nilai. CDSS

berfungsi sebagai penghubung antara data klinis, data laboratorik, serta pengetahuan medis berbasis bukti untuk menghasilkan keputusan klinis yang lebih cepat, konsisten, dan berorientasi pada hasil pasien.

PERAN ARTIFICIAL INTELEGANCE PADA PERKEMBANGAN CLINICAL DECISION SUPPORT

Perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) telah menjadi faktor utama yang mentransformasi kemampuan *Clinical Decision Support System* (CDSS) dalam praktik klinis modern. Sistem CDSS generasi awal berbasis aturan (*rule-based system*) bekerja melalui logika keputusan statis yang dibangun dari guideline klinis. Namun, kompleksitas data kesehatan modern menuntut pendekatan analitik yang mampu mempelajari pola klinis secara dinamis. Integrasi AI, khususnya *machine learning*, memungkinkan CDSS melakukan analisis prediktif terhadap data pasien dalam jumlah besar sehingga keputusan klinis tidak lagi bersifat reaktif, tetapi prediktif dan preventif (16).

Algoritma *machine learning* memungkinkan identifikasi pola penyakit yang sulit dikenali melalui analisis konvensional. Studi multi-center menunjukkan bahwa model prediktif berbasis AI mampu memprediksi risiko rehospitalisasi pasien dengan akurasi lebih tinggi dibandingkan model statistik tradisional (17). Dalam manajemen penyakit kronik, AI-based CDSS dapat mengintegrasikan data longitudinal pasien untuk memperkirakan progresivitas penyakit, risiko komplikasi, serta respons terhadap terapi individual. Pendekatan ini meningkatkan kemampuan klinisi dalam melakukan stratifikasi risiko secara lebih presisi.

Kemajuan *deep learning* memberikan kontribusi besar pada bidang pencitraan medis. Model jaringan saraf dalam (*deep neural networks*) telah menunjukkan performa diagnostik yang setara bahkan melampaui spesialis manusia pada beberapa kondisi radiologi dan patologi digital (18). Implementasi AI pada interpretasi citra toraks, deteksi nodul paru, serta analisis histopatologi kanker memungkinkan CDSS memberikan rekomendasi diagnostik secara otomatis yang terintegrasi dengan sistem rekam medis elektronik. Studi landmark menunjukkan bahwa algoritma *deep learning* mampu mencapai sensitivitas lebih dari 94% dalam deteksi kanker payudara melalui analisis mammografi digital (19).

Selain data terstruktur, sebagian besar informasi klinis sebenarnya tersimpan dalam catatan medis naratif. Teknologi *Natural Language Processing* (NLP) memungkinkan CDSS mengekstraksi informasi klinis dari *clinical notes*, laporan radiologi, maupun ringkasan rawat inap. Implementasi NLP terbukti meningkatkan identifikasi komorbiditas pasien dan memperbaiki kualitas dokumentasi klinis yang sebelumnya sulit dianalisis secara komputasional (20). Integrasi NLP menjadikan CDSS mampu memahami konteks klinis pasien secara lebih komprehensif.

Perkembangan terbaru AI juga memungkinkan munculnya konsep *AI-driven clinical recommendation*, di mana sistem tidak hanya memberikan peringatan tetapi menghasilkan rekomendasi terapi berbasis probabilitas outcome. Studi implementasi AI-CDSS pada praktik layanan primer menunjukkan penurunan kesalahan diagnostik hingga 16% serta peningkatan efisiensi pengambilan keputusan klinis (21). Dengan demikian, artificial intelligence telah mengubah CDSS dari alat pendukung

menjadi mitra kognitif (*cognitive partner*) bagi klinisi dalam praktik kedokteran modern.

TANTANGAN IMPLEMENTASI *CLINICAL DECISION SUPPORT*

Meskipun manfaat CDSS telah banyak dibuktikan, implementasinya di dunia nyata menghadapi berbagai tantangan multidimensional (tabel 1). Salah satu isu paling sering dilaporkan adalah fenomena *alert fatigue*, yaitu kondisi ketika klinisi menerima terlalu banyak notifikasi sistem sehingga sensitivitas terhadap peringatan penting justru menurun. Studi observasional menunjukkan bahwa lebih dari 50% peringatan dari CDSS sering diabaikan oleh klinisi karena dianggap tidak relevan secara klinis (22). Hal ini menunjukkan bahwa desain sistem harus mempertimbangkan keseimbangan antara sensitivitas algoritma dan beban kognitif pengguna. Tantangan berikutnya berkaitan dengan resistensi pengguna klinis terhadap adopsi teknologi baru. Implementasi CDSS seringkali mengubah pola kerja tradisional tenaga kesehatan, sehingga penerimaan sistem sangat dipengaruhi oleh faktor kepercayaan terhadap teknologi, kemudahan penggunaan, serta integrasi dengan workflow klinis yang sudah ada (23). Tanpa pendekatan *human-centered design*, CDSS berisiko menjadi sistem administratif tambahan alih-alih alat bantu klinis.

Interoperabilitas sistem juga menjadi hambatan utama, terutama pada sistem kesehatan dengan infrastruktur digital yang heterogen. Banyak fasilitas kesehatan menggunakan platform EHR berbeda yang tidak saling terhubung, sehingga integrasi data pasien menjadi terbatas (24). Selain itu, kualitas data klinis sangat menentukan performa algoritma CDSS. Data yang tidak lengkap, bias populasi, atau inkonsistensi

pencatatan dapat menghasilkan rekomendasi klinis yang kurang akurat. Isu legal dan medikolegal turut menjadi perhatian penting. Ketika keputusan klinis dipengaruhi oleh rekomendasi algoritma, muncul pertanyaan mengenai tanggung jawab profesional apabila terjadi kesalahan klinis. Sampai saat ini, sebagian besar sistem hukum tetap menempatkan dokter sebagai pengambil keputusan akhir, sementara CDSS diposisikan sebagai alat bantu keputusan (25).

Tabel 1. Manfaat CDSS, potensi bahaya, dan strategi mitigasi berbasis bukti (1)

Manfaat CDSS	Potensi Bahaya	Solusi Mitigasi Risiko	Penjelasan Solusi
Keamanan pasien Mengurangi kesalahan pemberian obat, kesalahan resep, serta kejadian tidak diinginkan	Alert fatigue Terlalu banyak notifikasi menyebabkan tenaga kesehatan mengabaikan peringatan	Memprioritaskan peringatan kritis dan meminimalkan peringatan untuk kondisi non-kritis	Peringatan harus spesifik, relevan secara klinis, serta memiliki tingkat urgensi yang jelas untuk mencegah kelelahan akibat notifikasi
Manajemen klinis Meningkatkan kepatuhan terhadap panduan klinis, pengingat kontrol, dan tindak lanjut terapi	Dampak negatif terhadap keterampilan pengguna Akibat ketergantungan berlebihan pada sistem	Menghindari desain sistem yang terlalu preskriptif serta melakukan evaluasi berkala	CDSS harus mendukung pengambilan keputusan tanpa mengurangi otonomi klinisi dan kemampuan klinis jangka panjang
Efisiensi biaya Mengurangi pemeriksaan dan tindakan yang tidak perlu serta memberikan rekomendasi terapi yang lebih <i>cost-effective</i>	Tantangan finansial Biaya implementasi awal tinggi dan efektivitas biaya jangka panjang belum pasti	Melakukan analisa biaya longitudinal dan mengidentifikasi manfaat non-finansial	Tidak hanya evaluasi biaya langsung tetapi evaluasi layanan, kualitas perawatan dan kesehatan pasien
Fungsi administratif dan otomatisasi Pemilihan kode diagnosis otomatis, dokumentasi elektronik, dan <i>autofill</i> catatan medis	Tantangan pemeliharaan sistem dan konten Karena kebutuhan pembaruan basis pengetahuan secara berkala	Implementasi manajemen pengetahuan dan sistem evaluasi performa CDSS	Membutuhkan standarisasi <i>input</i> data, alur kerja terstruktur, serta pemantauan kualitas data dan performa sistem secara berkelanjutan
Dukungan diagnosis Pemberian rekomendasi diagnosis berdasarkan data pasien dan hasil pemeriksaan	Kurangnya kepercayaan pengguna terhadap CDSS	Menyertakan referensi serta penjelasan alasan rekomendasi	Sistem perlu memberikan transparansi logika rekomendasi dan memungkinkan pengguna memberikan umpan

Tabel 1. Manfaat CDSS, potensi bahaya, dan strategi mitigasi berbasis bukti (lanjutan) (1)

Manfaat CDSS	Potensi Bahaya	Solusi Mitigasi Risiko	Penjelasan Solusi
Dukungan diagnosis laboratorium dan patologi Menggabungkan ekstraksi, visualisasi, serta interpretasi citra medis dan hasil pemeriksaan laboratorium	Keterbatasan transferabilitas Kesulitan integrasi sistem antar institusi sehingga implementasi sulit diperluas	(1) Adopsi standar industri kesehatan (2) Penggunaan layanan <i>cloud</i> dan teknologi <i>blockchain</i>	Standarisasi interoperabilitas memungkinkan pertukaran data yang aman antar sistem kesehatan.
Dukungan pengambilan keputusan pasien Sistem keputusan yang dapat diakses langsung oleh pasien melalui <i>Personal Health Record</i> (PHR) dan <i>platform</i> digital	Ketergantungan pada literasi teknologi pengguna Pasien atau tenaga kesehatan membutuhkan kemampuan digital tinggi	(1) Menyesuaikan dengan sistem yang sudah ada (2) Menyediakan pelatihan yang memadai saat implementasi	Antarmuka harus intuitif dan mudah digunakan. Pelatihan awal dan berkelanjutan diperlukan agar pengguna memahami fungsi CDSS dan meningkatkan penerimaan sistem
Peningkatan dokumentasi klinis Meningkatkan kualitas dokumentasi dan integrasi data klinis	Data tidak akurat atau berkualitas rendah Akibat sumber data yang tidak tersinkronisasi	1) Keterlibatan pakar sistem terintegrasi (2) Pengujian dan <i>debugging</i> pada tahap pengembangan	Tim implementasi harus memahami alur data dan melakukan validasi sebelum implementasi. Pelatihan interpretasi data diperlukan agar tenaga kesehatan tidak salah memahami hasil sistem
Peningkatan alur kerja Integrasi CDSS dalam <i>Electronic Health Record</i> (EHR) meningkatkan efisiensi akses dan penyajian data	Gangguan atau fragmentasi alur kerja klinis Terutama jika sistem tidak sesuai praktik klinis	1) Evaluasi <i>usability</i> (2) Pemodelan <i>workflow</i>	Evaluasi <i>usability</i> secara iteratif dalam lingkungan klinis nyata penting untuk memastikan CDSS mendukung alur kerja dan tidak menambah beban kerja tenaga kesehatan

ASPEK ETIK DAN REGULASI

Integrasi AI dalam CDSS menimbulkan implikasi etik yang signifikan dalam praktik kedokteran modern. Salah satu isu utama adalah keseimbangan antara rekomendasi algoritma dan tanggung jawab klinis manusia. Meskipun AI mampu memberikan prediksi berbasis data besar, keputusan akhir tetap memerlukan pertimbangan klinis, empati, serta konteks sosial pasien yang tidak sepenuhnya dapat direplikasi oleh mesin (26).

Bias algoritma menjadi perhatian penting dalam pengembangan CDSS. Model AI yang dilatih menggunakan sekumpulan data populasi tertentu dapat menghasilkan rekomendasi yang kurang akurat pada kelompok populasi lain. Penelitian menunjukkan bahwa bias data dapat menyebabkan ketimpangan diagnosis dan terapi pada kelompok etnis atau sosioekonomi tertentu jika tidak dilakukan validasi eksternal secara memadai (27).

Perlindungan privasi data pasien juga menjadi isu krusial. CDSS modern memerlukan akses terhadap data kesehatan dalam jumlah besar, sehingga keamanan siber dan tata kelola data menjadi prioritas utama. Organisasi internasional seperti World Health Organization menekankan bahwa implementasi digital health harus menjamin prinsip keamanan data, transparansi algoritma, serta akuntabilitas sistem kesehatan digital (28). Di sisi regulasi, lembaga seperti U.S. Food and Drug Administration telah mulai mengklasifikasikan perangkat lunak berbasis AI sebagai *Software as a Medical Device* (SaMD), menandai perubahan paradigma regulasi teknologi kesehatan modern (29).

Implementasi regulasi AI kesehatan telah berkembang nyata di berbagai negara. Di Amerika Serikat, U.S. Food and Drug Administration menerapkan kerangka evaluasi *Software as a Medical Device* (SaMD) untuk perangkat lunak klinis yang memberikan rekomendasi diagnostik atau terapeutik, termasuk beberapa sistem radiologi berbasis AI yang telah memperoleh izin edar. FDA juga mengembangkan *Predetermined Change Control Plan* untuk mengatur pembaruan algoritma setelah produk dipasarkan, sehingga sistem AI adaptif tetap dapat dimonitor keamanannya. Pendekatan ini menjadi model penting karena CDSS modern sering memerlukan pembaruan berkala sesuai data klinis terbaru.

Di kawasan Eropa, regulasi diperkuat melalui European Union Medical Device Regulation (MDR) dan AI Act yang mulai mengategorikan AI kesehatan sebagai teknologi berisiko tinggi (high-risk AI). Sistem CDSS yang memengaruhi keputusan diagnosis atau terapi diwajibkan memenuhi persyaratan ketat terkait manajemen risiko, kualitas data pelatihan, transparansi, pengawasan manusia, dan dokumentasi teknis. Sementara itu, di Inggris, National Institute for Health and Care Excellence telah menerbitkan Evidence Standards Framework for Digital Health Technologies untuk menilai bukti klinis dan ekonomi teknologi digital, termasuk perangkat pendukung keputusan klinis. Contoh-contoh tersebut menunjukkan bahwa regulasi CDSS global bergerak menuju model yang menyeimbangkan inovasi teknologi, keselamatan pasien, dan akuntabilitas penggunaan AI dalam praktik medis.

ARAH PENGEMBANGAN CDSS MODERN

Masa depan CDSS diproyeksikan berkembang menuju konsep *Learning Health System*, yaitu ekosistem kesehatan di mana data klinis yang dihasilkan dari setiap interaksi pasien secara otomatis digunakan untuk meningkatkan kualitas keputusan medis berikutnya (30). Dalam sistem ini, CDSS terus belajar dari luaran klinis pasien secara *real-time* sehingga rekomendasi klinis menjadi semakin akurat seiring waktu. Perkembangan *real-time predictive medicine* memungkinkan deteksi risiko penyakit bahkan sebelum manifestasi klinis muncul. Integrasi data *wearable devices*, pemantauan jarak jauh, serta analitik berbasis cloud memungkinkan CDSS melakukan pemantauan kondisi pasien secara kontinu di luar fasilitas kesehatan (31). Pendekatan ini berpotensi menggeser sistem pelayanan kesehatan dari model reaktif berbasis rumah sakit menuju model kesehatan preventif berbasis komunitas.

Implementasi konsep tersebut mulai terlihat dalam praktik layanan laboratorium modern di Indonesia. Prodia telah mengembangkan teknologi berbasis CDSS melalui produk pertamanya, Advanced Lipid Profile, yang dirancang sebagai pendekatan diagnostik kardiometabolik berbasis risiko. Pemeriksaan ini tidak hanya menampilkan parameter lipid konvensional, tetapi mengintegrasikan biomarker aterogenik lanjutan seperti ApoB, rasio lipid aterogenik, serta interpretasi risiko berbasis algoritma klinis. Melalui Advanced Lipid Profile berfungsi untuk mengidentifikasi risiko kardiovaskular residual, membantu klinisi menentukan stratifikasi risiko secara lebih presisi, serta mendukung pengambilan keputusan terapi personalisasi pada pasien dengan dislipidemia

maupun risiko sindrom metabolik. Model ini mencerminkan evolusi CDSS dari sekadar sistem pendukung keputusan menjadi alat preventive intelligence yang memadukan data laboratorium, evidence-based medicine, dan interpretasi klinis terintegrasi (32).

KESIMPULAN

CDSS merepresentasikan evolusi fundamental praktik kedokteran modern dari pendekatan berbasis pengalaman individual menuju sistem keputusan klinis berbasis data dan kecerdasan buatan. Integrasi CDSS dengan EHR, *artificial intelligence*, *precision medicine*, serta industri diagnostik telah memperluas perannya dari sekadar alat bantu informasi menjadi komponen strategis dalam ekosistem pelayanan kesehatan modern. Berbagai bukti ilmiah menunjukkan bahwa CDSS berkontribusi terhadap peningkatan akurasi diagnosis, reduksi kesalahan medis, peningkatan efisiensi pelayanan, serta optimalisasi strategi pencegahan penyakit. Meskipun demikian, implementasinya tetap menghadapi tantangan terkait interoperabilitas sistem, kesiapan sumber daya manusia, isu etik, dan regulasi teknologi kesehatan.

CDSS tidak dimaksudkan untuk menggantikan peran dokter, melainkan memperkuat kapasitas kognitif klinisi dalam menghadapi kompleksitas data medis modern. Masa depan pelayanan kesehatan diproyeksikan menuju *precision healthcare ecosystem*, di mana manusia dan kecerdasan buatan bekerja secara kolaboratif untuk menghasilkan keputusan klinis yang lebih personal, prediktif, dan berorientasi pada keselamatan pasien.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sutton RT, Pincock D, Baumgart DC, Sadowski DC, Fedorak RN, Kroeker KI. An overview of clinical decision support systems. *BMJ Health Care Inform.* 2020;27(1):e100122.
2. Shortliffe EH, Sepúlveda MJ. Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *JAMA.* 2018;320(21):2199-2200.
3. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020–2025. Geneva: WHO; 2020.
4. Bates DW, Levine DM, Syrowatka A, Kuznetsova M, Craig KJT, Rui A, et al. The potential of artificial intelligence in health care. *Health Aff (Millwood).* 2021;40(2):332-339.
5. Kawamoto K, Houlihan CA, Balas EA, Lobach DF. Clinical decision support systems: improving clinical practice. *BMJ.* 2018;363:k3343.
6. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Engl J Med.* 2019;380:1347-1358.
7. Bright TJ, Wong A, Dhurjati R, Bristow E, Bastian L, Coeytaux RR, et al. Effect of clinical decision-support systems. *Ann Intern Med.* 2012;157(1):29-43.
8. Roshanov PS, Fernandes N, Wilczynski JM, Hemens BJ, You JJ, Handler SM, et al. Features of effective clinical decision support systems. *BMJ.* 2013;346:f657.
9. Bassi J, Lau F, Lesperance M. Clinical decision support systems for diabetes management. *JMIR Med Inform.* 2020;8(6):e18196.
10. Krittanawong C, Zhang H, Wang Z, Aydar M, Kitai T. Artificial intelligence in cardiovascular medicine. *Eur Heart J.* 2017;38(44):3277-3285.
11. Ranji SR, Rennke S, Wachter RM. Computerised provider order entry with clinical decision support. *BMJ Qual Saf.* 2014;23:773-780.
12. Sendak MP, Gao M, Nichols M, Lin A, Balu S. Machine learning in healthcare decision support. *NPJ Digit Med.* 2020;3:17.
13. Ashley EA. Towards precision medicine. *Nat Rev Genet.* 2016;17(9):507-522.
14. Plebani M. Harmonization in laboratory medicine: the complete picture. *Clin Chem Lab Med.* 2018;56(10):1596-1604.
15. Bates DW, Saria S, Ohno-Machado L, Shah A, Escobar G. Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health Aff (Millwood).* 2014;33(7):1123-1131.
16. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Engl J Med.* 2019;380:1347-1358.
17. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature.* 2017;542:115-118.
18. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature.* 2020;577:89-94.
19. Wang Y, Wang L. Clinical information extraction applications using natural language processing. *J Biomed Inform.* 2018;77:34-49.
20. Sendak MP, D'Arcy J, Kashyap S, Gao M, Nichols M, Corey K, et al. A path for translation of machine learning products into healthcare delivery. *NPJ Digit Med.* 2020;3:17.
21. Ancker JS, Edwards A, Nosal S, Hauser D, Mauer E, Kaushal R. Effects of workload on alert fatigue. *J Am Med Inform Assoc.* 2017;24(2):385-391.

22. Khairat S, Marc D, Crosby W, Al Sanousi A. Reasons for physicians' acceptance of clinical decision support systems. *Appl Clin Inform.* 2018;9(3):717-727.
23. Adler-Milstein J, Holmgren AJ, Kralovec P, Worzala C, Searcy T, Patel V. Electronic health record adoption and interoperability challenges. *Health Aff (Millwood).* 2017;36(8):1416-1423.
24. Gerke S, Minssen T, Cohen G. Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. *J Law Biosci.* 2020;7(1):lsaa009.
25. Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing machine learning in health care—addressing ethical challenges. *Nat Med.* 2018;24(8):1112-1119.
26. Obermeyer Z, Powers B, Vogeli C, Mullainathan S. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage population health. *Science.* 2019;366(6464):447-453.
27. World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health. Geneva: WHO; 2021.
28. US Food and Drug Administration. Software as a Medical Device (SaMD): Clinical evaluation framework. Silver Spring (MD): FDA; 2022.
29. Friedman CP, Rubin JC, Sullivan KJ. Toward an information infrastructure for global health improvement. *J Am Med Inform Assoc.* 2015;22(1):176-182.
30. Steinhubl SR, Muse ED, Topol EJ. The emerging field of mobile health. *Lancet.* 2015;386(9990):459-461.
31. Corral-Acero J, Margara F, Marciniak M, Rodero C, Loncaric F, Feng Y, et al. The 'digital twin' to enable precision cardiology. *Nat Rev Cardiol.* 2020;17(10):617-636.
32. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med.* 2019;25(1):44-56.

FORUM DIAGNOSTICUM

ISSN 0854-7173 | No. 1/2026

Redaksi Kehormatan
Drs. Andi Wijaya, Ph.D.

Penanggung Jawab
Dr. Rina Triana, M.Farm, Apt.

Ketua Dewan Redaksi
Matthew Justyn, S.Si. M.Farm. Klin.

Anggota Dewan Redaksi
Gianni Yosephine, S.Si., M.Farm
Ardian Susanto, M.Farm
Bena Zaira, S.Si., M.Farm.Klin.
Amadea Risanggita Kinanthi, S.Si
Brigitta Josephine Bayudini, S.Si

Alamat Redaksi
PT. Prodia Widyahusada, Tbk.
Jl. Kramat Raya 150, Jakarta 10430
Telepon: (021) 3144182 (Hunting)
Fax: (021) 3926675
e-mail: produk@prodia.co.id
website: www.prodia.co.id



Certificate Number : JKT 0403247
Certified to QMS