

Tono Haryanto Gunawan

Kecerdasan Buatan Agentik dalam Onkologi: Dari Tumor Board Virtual Menuju Pengobatan Kanker yang Dipersonalisasi

 Quick Submit Quick Submit Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

Document Details

Submission ID

trn:oid:::1:3634495441

Submission Date

Aug 27, 2026, 9:30 PM GMT+7

Download Date

Aug 27, 2026, 9:42 PM GMT+7

File Name

Tono_Haryanto_Gunawan_-_jurnal.docx

File Size

120.0 KB

12 Pages

3,426 Words

22,931 Characters

14% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 14%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 14% Internet sources
- 0% Publications
- 0% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	jurnal.muaraedukasi.id	8%
2	Internet	www.frontiersin.org	<1%
3	Internet	ascoai.org	<1%
4	Internet	repository.maranatha.edu	<1%
5	Internet	www.cancercoreeurope.eu	<1%
6	Internet	www.cancernetwork.com	<1%
7	Internet	theloopzurich.ch	<1%
8	Internet	blog.ub.ac.id	<1%
9	Internet	www.cancernursingtoday.com	<1%
10	Internet	ascopost.com	<1%
11	Internet	jurnalstebibama.ac.id	<1%

12	Internet	www.hospimedica.com	<1%
13	Internet	www.rasph.com	<1%
14	Internet	pt.scribd.com	<1%
15	Internet	shj.ac.id	<1%
16	Internet	research.usq.edu.au	<1%
17	Internet	sylvietanaga.wordpress.com	<1%



Kecerdasan Buatan Agentik dalam Onkologi: Dari Tumor Board Virtual Menuju Pengobatan Kanker yang Dipersonalisasi

Tono Haryanto Gunawan^{1*}, Vera Amelia Salsabila²

^{1*2} Universitas Kristen Maranatha, Indonesia

Alamat: Jalan Prof. drg. Surya Sumantri, M.P.H. No. 65, Bandung 40164, Jawa Barat

Email; tonoharyantogunawan@ukm.ac.id¹, veraameliassalsabila@ukm.ac.id²

Korespondensi penulis: tonoharyantogunawan@ukm.ac.id

Abstract *Agentic artificial intelligence has emerged as a transformative paradigm in oncology, offering the ability to integrate and interpret multimodal data at an unprecedented scale. This study examines the evolution of AI in oncology from simple decision-support tools toward multi-agent systems capable of acting as intellectual collaborators in cancer care. Through a systematic review of recent developments at ASCO Breakthrough 2026 and various global initiatives, this research identifies four main architectures of AI agents in oncology: (1) virtual tumor board systems that integrate radiology, pathology, and genomic data to provide personalized treatment recommendations; (2) agent-based biomarker discovery frameworks capable of autonomously generating and validating biological hypotheses; (3) genomic decision-support platforms linking molecular data with clinical outcomes; and (4) conversational multi-agent ecosystems integrating clinical, genomic, and social determinants of health data. The findings indicate that multi-agent systems can streamline the tumor board process by organizing complex clinical information, freeing physicians to focus on discussion and decision-making. Clinical implementation requires careful system architecture, robust governance, and prospective validation to ensure safety and reliability. This study concludes that agentic artificial intelligence holds promise for more personalized, efficient, and equitable cancer treatment, but requires an integrated and collaborative approach to realize its full potential.*

Keywords: *agentic artificial intelligence, precision oncology, virtual tumor board, multi-agent systems, personalized medicine, biomarkers*

Abstrak Kecerdasan buatan agentik (agentic AI) telah muncul sebagai paradigma transformatif dalam onkologi, menawarkan kemampuan untuk mengintegrasikan dan menafsirkan data multimodal dalam skala yang belum pernah terjadi sebelumnya. Penelitian ini mengkaji evolusi AI dalam onkologi dari alat pendukung keputusan sederhana menuju sistem multi-agen yang mampu bertindak sebagai kolaborator intelektual dalam perawatan kanker. Melalui tinjauan sistematis terhadap perkembangan terkini di ASCO Breakthrough 2026 dan berbagai inisiatif global, penelitian ini mengidentifikasi empat arsitektur utama agen AI dalam onkologi: (1) sistem virtual tumor board yang mengintegrasikan data radiologi, patologi, dan genomik untuk memberikan rekomendasi pengobatan yang dipersonalisasi; (2) kerangka kerja penemuan biomarker berbasis agen yang mampu secara otonom menghasilkan dan memvalidasi hipotesis biologis; (3) platform pendukung keputusan genomik yang menghubungkan data molekuler dengan hasil klinis; dan (4) ekosistem multi-agen berbasis percakapan yang mengintegrasikan data klinis, genomik, dan determinan sosial kesehatan. Temuan menunjukkan bahwa sistem multi-agen dapat menyederhanakan proses tumor board dengan mengorganisasi informasi klinis yang kompleks, membebaskan dokter untuk berfokus pada diskusi dan pengambilan keputusan. Implementasi klinis memerlukan arsitektur sistem yang hati-hati, tata kelola yang kuat, dan validasi prospektif untuk memastikan keamanan dan keandalan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kecerdasan buatan agentik menjanjikan pengobatan kanker yang lebih personal, efisien, dan adil, tetapi memerlukan pendekatan yang terintegrasi dan kolaboratif untuk mewujudkan potensi penuhnya.

Kata Kunci: kecerdasan buatan agentik, onkologi presisi, tumor board virtual, sistem multi-agen, pengobatan personal, biomarker

Received: April 19, 2026; Revised: Mei 10, 2026; Accepted: Mei 25, 2026; Online Available: juni 15, 2026;
Published: Juli 10, 2026

1. LATAR BELAKANG

1.1 Evolusi AI dalam Onkologi: Dari Alat Pendukung ke Kolaborator Intelektual

Kecerdasan buatan (AI) telah mengalami evolusi yang dramatis dalam onkologi selama dekade terakhir. Dari alat pendukung keputusan sederhana yang membantu dalam penjadwalan dan dokumentasi, AI kini berkembang menjadi apa yang oleh para ahli disebut sebagai "kolaborator intelektual" yang mampu berpartisipasi aktif dalam perawatan kanker. Pada ASCO Breakthrough 2026, para pemimpin dunia menyoroti bagaimana AI dengan cepat bertransisi dari konsep penelitian menjadi implementasi klinis, dengan sesi yang melebihi waktu yang dijadwalkan karena antusiasme dan pertanyaan penting seputar integrasi AI ke dalam perawatan kanker.

Seiring dengan evolusi ini, konsep "kecerdasan buatan agentik" (agentic AI) muncul sebagai lompatan kualitatif. Berbeda dengan model AI tradisional yang merespons masukan spesifik, sistem agentik terdiri dari banyak agen AI khusus yang mampu berkolaborasi pada tugas kompleks. Sistem ini dapat merencanakan, memanggil alat domain, dan mengintegrasikan data multimodal tanpa intervensi manusia yang konstan.

1.2 Tantangan Onkologi yang Mendesak

Onkologi modern menghadapi tiga tantangan utama yang membuat AI agentik menjadi relevan:

- a. Pertama, ledakan data. Dokter dihadapkan pada volume data yang luar biasa: pencitraan, patologi, genomik, catatan klinis, dan hasil uji coba. Tumor board tradisional, yang mempertemukan berbagai spesialis untuk membahas kasus kompleks, sering kewalahan oleh kompleksitas informasi. Di Rumah Sakit Universitas Zurich, misalnya, lebih dari 20 tumor board diadakan setiap minggu, satu untuk setiap organ, masing-masing membutuhkan sintesis data dari berbagai disiplin.
- b. Kedua, kebutuhan akan kecepatan. Waktu adalah faktor kritis dalam pengobatan kanker. Seperti yang diungkapkan oleh Tae Hyun Hwang, PhD, dari Vanderbilt University Medical Center, ada jendela kesempatan yang terbatas untuk memutuskan cara mengobati. "Kami membangun sistem ini karena kami ingin meminimalkan peluang yang terlewat dalam perawatan kanker".
- c. Ketiga, kesenjangan akses. Di negara berpenghasilan rendah dan menengah, infrastruktur yang terbatas sering membatasi akses ke terapi inovatif dan

partisipasi penelitian. AI agentik menawarkan potensi untuk memperluas akses ke keahlian onkologi tingkat lanjut .

1.3 Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komprehensif tentang bagaimana sistem multi-agen secara fundamental mengubah cara onkologi dipraktikkan, tidak hanya sebagai alat tetapi sebagai "mediator pengetahuan" yang secara aktif berpartisipasi dalam proses diagnosis dan pengobatan. Sementara penelitian sebelumnya berfokus pada model AI tunggal, pendekatan agentik menciptakan ekosistem di mana berbagai agen masing-masing dengan keahlian spesifik berkolaborasi untuk menghasilkan wawasan yang lebih kaya dan lebih akurat.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Kecerdasan Buatan Agentik: Definisi dan Arsitektur

Kecerdasan buatan agentik merujuk pada sistem AI yang dapat mengambil tindakan otonom untuk mencapai tujuan tertentu, merencanakan tugas yang kompleks, dan berkolaborasi dengan agen lain atau manusia . Berbeda dengan model AI tradisional yang bersifat reaktif merespons masukan dengan keluaran yang telah ditentukan sistem agentik bersifat proaktif, mampu memulai tindakan, membuat keputusan, dan beradaptasi dengan konteks yang berubah.

Dalam onkologi, sistem agentik biasanya berbentuk multi-agent systems (MAS), di mana banyak agen AI khusus berkoordinasi untuk menyelesaikan tugas yang kompleks . Arsitektur ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan model tunggal:

- Spesialisasi: Setiap agen dapat dilatih pada domain spesifik (misalnya, radiologi, patologi, genomik)
- Skalabilitas: Agen baru dapat ditambahkan tanpa mengganggu yang sudah ada
- Resiliensi: Kegagalan satu agen tidak melumpuhkan seluruh sistem
- Transparansi: Jalur keputusan lebih mudah dilacak dan diaudit

2.2 Virtual Tumor Board: Evolusi dari Tumor Board Tradisional

Tumor board tradisional adalah pertemuan multidisiplin di mana ahli bedah, onkologi radiasi, patologi, dan spesialis lainnya berdiskusi tentang kasus kanker yang kompleks . Virtual tumor board berbasis AI mengambil konsep ini dan memperluasnya secara dramatis:

- Integrasi Data Multimodal: Sistem AI agentik dapat mengintegrasikan data dari berbagai sumber pencitraan, patologi slide, laporan genomik, dan catatan klinis dalam hitungan detik . Di The LOOP Zurich, sistem AI Tumor Board

yang dikembangkan bekerja sama dengan Rumah Sakit Universitas Zurich dan Rumah Sakit Anak Zurich menganalisis profil genetik, pedoman klinis, dan data pasien dengan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya .

- b. Analisis Prediktif: Dengan menganalisis data historis tentang perawatan dan hasilnya, sistem dapat memprediksi potensi keberhasilan dan efek samping pengobatan untuk pasien individu . Di ABIGAIL4D, sebuah proyek Eropa, sistem memperkenalkan analisis counterfactual untuk memperkirakan manfaat dan risiko spesifik pasien untuk berbagai strategi pengobatan .
- c. Pembaruan Real-time: Berbeda dengan tumor board tradisional yang bertemu secara berkala, sistem AI dapat memberikan pembaruan berkelanjutan saat data baru tersedia misalnya, hasil patologi baru dapat memicu ringkasan tumor board yang diusulkan, atau kreatinin yang meningkat dapat memicu penyesuaian dosis yang disarankan dengan tautan bukti .

2.3 Arsitektur Multi-Agen dalam Onkologi

Penelitian terbaru mengidentifikasi beberapa arsitektur multi-agen yang muncul dalam onkologi. Zhang dan kolega (2026) mengusulkan kerangka analitis yang berpusat pada "task-architecture alignment," menekankan bahwa model fondasi, sistem agen tunggal, dan sistem multi-agen harus dipilih sesuai dengan kompleksitas dan profil risiko tugas klinis .

Arsitektur Berlapis: Dalam sistem yang dikembangkan oleh Tae Hyun Hwang, empat agen bekerja secara berurutan:

- a. Cartographer: Memulai dari gambar histopatologi pasien dan menyusun pilihan terapeutik dengan mengintegrasikan biologi tumor inferensial dengan pedoman standar perawatan, bukti off-label, dan agen investigasi dalam uji klinis aktif .
- b. Witness: Mengamati bagaimana kandidat obat bekerja dalam model yang berasal dari pasien (sel, organoid, dan jaringan hidup) .
- c. Scout: Memodelkan trajektori metastasis tumor yang mungkin dan bagaimana terapi kandidat dapat mempengaruhi penyebaran tersebut .
- d. Terrain: Mengintegrasikan benang-benang ini ke dalam pandangan terpadu dari tumor pasien dari data spasial multimodal dan menyelenggarakan "tumor board virtual" yang mempertemukan penilaian manusia dan AI .

Arsitektur Percakapan: Sistem yang dikembangkan di City of Hope Comprehensive Cancer Center menggunakan agen percakapan berbasis bahasa alami yang memungkinkan eksplorasi data multi-omik secara real-time. Setiap agen (AI-HOPE-PI3K, TGF β , TP53, dll.) memiliki spesialisasi jalur yang berbeda, dengan agen inti yang menjaga interoperabilitas data di seluruh ekosistem. Dengan akurasi melebihi 90%, sistem ini memungkinkan peneliti untuk mengajukan pertanyaan dalam bahasa alami dan menerima output visual dan naratif dalam hitungan detik.

2.4 Konsep Kunci: Agentic AI, Human-in-the-Loop, dan Explainability

Agentic AI mengacu pada kemampuan sistem untuk bertindak secara otonom untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam onkologi, ini berarti AI dapat merencanakan analisis, memanggil alat yang diperlukan, dan menghasilkan wawasan tanpa intervensi manusia yang konstan.

Human-in-the-Loop adalah prinsip yang memastikan bahwa manusia tetap memegang kendali dan membuat keputusan akhir. Seperti yang ditekankan oleh Bourquin dari Rumah Sakit Anak Zurich, "AI tidak akan membuat keputusan. Dokter akan tetap memegang kendali, didukung oleh rasional yang transparan yang terhubung dengan konsep dan pedoman klinis". Di ABIGAIL4D, dokter tetap mengendalikan setiap saat, didukung oleh rasional yang transparan.

Explainability adalah kemampuan sistem untuk menjelaskan bagaimana mencapai kesimpulan. Tanpa proses pengambilan keputusan yang dapat dipahami, "bahkan AI paling kuat pun tidak banyak membantu. Dokter harus dapat mempercayai hasilnya". Sistem yang efektif menggunakan antarmuka "evidence-first" yang menampilkan bagian yang dikutip dan perhitungan sebelum rekomendasi.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi literatur sistematis. Pendekatan ini dipilih untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis secara komprehensif berbagai bukti ilmiah tentang penerapan kecerdasan buatan agentic dalam onkologi.

3.2 Sumber Data

Data diperoleh dari sumber-sumber berikut:

- Artikel jurnal peer-review: Dari basis data akademik (*Frontiers in Oncology*, *Nature Cancer*, dll.)

- b. Prosiding konferensi: ASCO Breakthrough 2026, AACR Annual Meeting 2026
- c. Laporan proyek dan inisiatif: The LOOP Zurich, ABIGAIL4D, PRISM/Gustave Roussy
- d. Publikasi lembaga terkemuka: AACR, Cancer Core Europe

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi: "*agentic AI oncology*", "*virtual tumor board*", "*multi-agent systems precision oncology*", "*AI tumor board personalized medicine*".

3.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

- a. Inklusi: Studi yang membahas implementasi AI agentik dalam onkologi; studi tentang virtual tumor board dan sistem multi-agen; diterbitkan dalam 5 tahun terakhir; tersedia teks lengkap.
- b. Eksklusi: Studi yang hanya berfokus pada model AI tunggal tanpa aspek agentik; studi tanpa data atau analisis yang memadai; publikasi non-akademik tanpa peer-review.

3.4 Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis tematik dengan langkah-langkah: (1) pengumpulan dan organisasi data; (2) pengkodean terbuka untuk mengidentifikasi arsitektur, aplikasi, dan tantangan; (3) pengelompokan kode menjadi tema-tema utama; dan (4) penulisan laporan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Arsitektur Sistem Agen AI dalam Onkologi

Penelitian mengidentifikasi empat arsitektur utama yang mendominasi pengembangan AI agentik dalam onkologi:

Tabel 4.1 Arsitektur Sistem Agen AI dalam Onkologi

Arsitektur	Karakteristik	Contoh	Tujuan
Virtual Tumor Board	Integrasi data multimodal, analisis pedoman, rekomendasi pengobatan	AI Tumor Board Zurich	Mendukung keputusan pengobatan personal

Arsitektur	Karakteristik	Contoh	Tujuan
Kerangka Penemuan Biomarker	Generasi dan validasi hipotesis otonom	SPARK (Nature Medicine)	Mengidentifikasi biomarker baru dari slide patologi rutin
Platform Genomik Klinis	Integrasi genomik dengan hasil klinis, dokumentasi	Tempus Hub agent-first	Mendukung keputusan berbasis genomik
Ekosistem Multi-Agen Percakapan	Interaksi bahasa alami, analisis multi-omik	City of Hope AI-agents	Eksplorasi data dan penemuan hipotesis

4.1.2 Virtual Tumor Board: Implementasi dan Manfaat

Proyek AI Tumor Board di Zurich, dikembangkan oleh The LOOP Zurich bekerja sama dengan Rumah Sakit Universitas Zurich, Rumah Sakit Anak Zurich, dan Universitas Zurich, bertujuan untuk menciptakan platform bertenaga AI yang menyediakan informasi penting bagi onkolog untuk keputusan pengobatan yang dipersonalisasi. Proyek ini beroperasi dalam tiga fase:

- Penyelarasan dengan Pedoman: AI digunakan untuk menyelaraskan data pasien dengan pedoman pengobatan yang ada, yang sering tersedia dalam format tidak terstruktur yang luas dan sulit diakses.
- Analisis Prediktif: Algoritma AI menganalisis data historis tentang perawatan dan hasilnya untuk memprediksi potensi keberhasilan dan efek samping pengobatan.
- Integrasi Dashboard: Alat AI diintegrasikan ke dalam dashboard yang ramah pengguna yang tersedia bagi onkolog di Tumor Board.

Manfaat yang diidentifikasi meliputi penghematan waktu yang signifikan (mengurangi pekerjaan administrasi), peningkatan kualitas dokumentasi, dan rekomendasi pengobatan yang lebih berbasis bukti. Di Rumah Sakit Universitas Zurich, sistem ini diharapkan dapat mengalihkan beban kerja dari staf medis, menghemat sumber daya yang berharga, dan membebaskan lebih banyak waktu untuk perawatan pasien.

4.1.3 Penemuan Biomarker Berbasis Agen: Kerangka SPARK

SPARK (System of Pathology Agents for Research and Knowledge), yang diterbitkan di Nature Medicine, mendemonstrasikan kemampuan kerangka agen AI untuk secara otonom menghasilkan, mengkode, dan memvalidasi biomarker

prognostik dari gambar seluruh slide rutin . Sistem ini berfungsi sebagai "otak patologi," membantu menyempurnakan diagnosis, stratifikasi pasien dengan lebih andal, dan membuat keputusan pengobatan yang lebih tepat.

Tabel 4.2 Temuan Kerangka SPARK

Domain Uji	Jumlah Ide	Parameter Terverifikasi	Temuan
Biomarker prognostik	500	1.115	Korelasi dengan biomarker yang diketahui dan parameter baru
Prediksi metastasis	118	N/A	Tidak ada parameter tunggal yang dapat menangkap kompleksitas perilaku metastatik
Data biologi spasial (kanker payudara)	561	2.452	Banyak parameter menunjukkan nilai prognostik independen

4.2 Pembahasan

4.2.1 AI Agentik sebagai Mediator Pengetahuan dalam Onkologi

Temuan penelitian menunjukkan bahwa AI agentik berfungsi sebagai apa yang dapat disebut sebagai "mediator pengetahuan" yang secara fundamental mengubah bagaimana informasi dikelola dan diterjemahkan menjadi tindakan klinis. Alih-alih menggantikan dokter, sistem ini memberikan konteks yang memungkinkan dokter membuat keputusan yang lebih baik dan lebih cepat.

Seperti yang diartikulasikan oleh Arsela Prelaj, MD, PhD, dari Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori, AI berfungsi bukan hanya sebagai alat pendukung keputusan klinis tetapi sebagai "kolaborator intelektual" di seluruh jalur perawatan kanker . Sistem ini dapat merampingkan tumor board multidisiplin dengan mengorganisasi informasi klinis yang kompleks, memungkinkan dokter untuk mencurahkan lebih banyak waktu untuk diskusi dan pengambilan keputusan daripada pengumpulan data .

Di Vanderbilt University Medical Center, sistem agen AI yang dikembangkan oleh Tae Hyun Hwang bertujuan untuk "menghilangkan tebakan" dari onkologi. Seperti yang diungkapkannya, "Kami memiliki semua informasi yang dapat ditindaklanjuti yang dapat kami peroleh dari pasien berkat penelitian yang telah

dilakukan. Mengevaluasi semuanya secara lengkap ketika Anda memiliki jendela kesempatan yang terbatas untuk memutuskan cara mengobati itu selalu menjadi tantangan. Tetapi sekarang, AI memberi kita kekuatan untuk melihat hampir semuanya. Jadi mengapa harus menebak?" .

4.2.2 Human-in-the-Loop: Mempertahankan Otonomi Klinis

Meskipun kemampuan agentik yang mengesankan, semua sistem yang diteliti mempertahankan prinsip "human-in-the-loop." Ini bukan hanya tentang keamanan, tetapi juga tentang pelestarian keahlian klinis. Seperti yang ditekankan oleh analisis tentang tantangan implementasi, ada risiko "deskilling" dokter junior jika AI mengambil alih terlalu banyak tugas .

Di Zurich, penekanan yang jelas ditempatkan pada transparansi dan kendali manusia. "Kecuali proses pengambilan keputusan dapat dipahami, bahkan AI paling kuat pun tidak banyak membantu. Dokter harus dapat mempercayai hasilnya," kata Bourquin . Di ABIGAIL4D, "dokter tetap mengendalikan setiap saat, didukung oleh rasional yang transparan yang terhubung dengan konsep dan pedoman klinis" .

4.2.3 Menuju Onkologi yang Dipersonalisasi dan Adil

Salah satu janji paling menjanjikan dari AI agentik adalah potensinya untuk mendemokratisasikan keahlian onkologi. Dengan kemampuan untuk mengintegrasikan dan menafsirkan data kompleks di berbagai pengaturan, sistem ini dapat membantu mengurangi kesenjangan antara pusat kanker utama dan fasilitas yang lebih kecil atau di negara berpenghasilan rendah dan menengah .

Platform City of Hope, yang mengintegrasikan data klinis, genomik, dan determinan sosial kesehatan, menunjukkan bagaimana AI agentik dapat mengungkap perbedaan yang sebelumnya tidak terlihat seperti kelangsungan hidup yang lebih buruk pada pasien yang mengalami kesulitan keuangan atau perbedaan akses kemoterapi yang terkait dengan kerawanan pangan . Wawasan ini penting untuk mengatasi determinan sosial kesehatan dan memberikan perawatan yang lebih adil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- a. Kecerdasan buatan agentik mewakili pergeseran paradigma dalam onkologi, dari alat pendukung keputusan sederhana menuju "kolaborator intelektual" yang mampu mengintegrasikan dan menafsirkan data multimodal secara real-time. Sistem multi-agen dapat mengorganisasi informasi klinis yang kompleks,

membebaskan dokter untuk fokus pada diskusi dan pengambilan keputusan klinis yang lebih baik.

- b. Empat arsitektur utama telah muncul: (1) virtual tumor board untuk rekomendasi pengobatan personal; (2) kerangka penemuan biomarker berbasis agen seperti SPARK yang secara otonom menghasilkan hipotesis biologis; (3) platform genomik klinis yang menghubungkan data molekuler dengan hasil; dan (4) ekosistem multi-agen percakapan untuk eksplorasi data dan penemuan hipotesis.
- c. Validasi klinis dan tata kelola yang kuat sangat penting. Sistem seperti AI Tumor Board Zurich, SPARK, dan City of Hope menunjukkan potensi yang mengesankan, tetapi semuanya memerlukan validasi prospektif dan kerangka kerja untuk keamanan, transparansi, dan kepatuhan regulasi.
- d. Prinsip human-in-the-loop tetap menjadi fondasi implementasi yang aman, dengan dokter tetap memegang kendali dan membuat keputusan akhir. Sistem dirancang untuk menyediakan konteks dan rekomendasi berbasis bukti, bukan untuk menggantikan keahlian klinis.
- e. AI agentik memiliki potensi untuk mendemokratisasi keahlian onkologi, terutama di negara berpenghasilan rendah dan menengah, dengan memperluas akses ke perawatan yang dipersonalisasi dan mengurangi kesenjangan dalam perawatan kanker.

5.2 Saran

Bagi Pengembang Teknologi:

- a. Prioritaskan interoperabilitas dengan sistem rumah sakit yang ada. Sistem yang terfragmentasi dengan antarmuka yang sempit membatasi akses data . Pengembangan harus berfokus pada penciptaan antarmuka yang dapat dioperasikan dan dapat diakses oleh sistem AI.
- b. Terapkan protokol abstensi untuk mencegah halusinasi. Agen harus mengidentifikasi konteks yang hilang dan meningkat ke manusia daripada menebak . Ini penting untuk keamanan pasien.
- c. Kembangkan antarmuka "evidence-first" yang menampilkan bagian yang dikutip dan perhitungan sebelum rekomendasi, bukan hanya kesimpulan akhir.
- d. Bangun transparansi ke dalam desain. Keputusan AI harus dapat dipahami dan diaudit. Tanpa transparansi, bahkan AI paling kuat pun tidak akan dipercaya oleh dokter .

Bagi Institusi Kesehatan:

- a. Investasikan dalam infrastruktur data yang memungkinkan integrasi multimodal. Data tetap menjadi "reagen pembatas" dalam AI onkologi. Agen hanya dapat belajar onkologi jika kita mengajarnya dengan onkologi catatan, tabel terstruktur, gambar radiologi, slide patologi seluruh slide, laporan genomik, dan hasil longitudinal.
- b. Kembangkan jalur regulasi yang jelas. Kerangka hukum tertinggal di belakang kecepatan pengembangan teknologi. Jalur yang layak dan jelas untuk kepatuhan regulasi harus ditetapkan untuk memfasilitasi pengenalan AI generatif yang aman ke dalam klinik .
- c. Mulai dengan implementasi pilot (mode bayangan) sebelum penggunaan langsung. Agen harus dijalankan dalam "mode diam" di mana output dibandingkan dengan kebenaran dasar tetapi tidak ditampilkan kepada dokter sebelum paparan langsung .

Bagi Peneliti:

- a. Kembangkan tolok ukur bersama yang terlihat seperti pekerjaan nyata. Ini termasuk peninjauan buta dari ringkasan tumor board, pengukuran seberapa tepat dan lengkap pasien dicocokkan dengan uji coba, dan pengecekan keakuratan penilaian efek samping dari catatan mentah .
- b. Lakukan validasi multisenter untuk mengatasi pergeseran domain. Gaya catatan, panel laboratorium, atau SOP yang bervariasi di seluruh situs dapat menurunkan kinerja. Validasi multisenter sangat penting .
- c. Teliti implikasi etis dan sosial yang lebih luas dari AI agentik dalam onkologi, termasuk dampak pada otonomi pasien, privasi, dan keadilan akses.

DAFTAR REFERENSI

- 6 CancerNetwork. (2026). AI and MRD Take Center Stage on Day 2 of ASCO Breakthrough 2026. CancerNetwork.
- American Association for Cancer Research. (2026). Eye on AI: AI Agents as Doctors' Deputies in the Cancer Clinic. Cancer Research Catalyst.
- 7 The LOOP Zurich. (2024). AI Tumor Board: Personalized Decision Support in Precision Oncology. The LOOP Zurich.

- ScienceDirect. (2026). How to bring generative AI to oncology practice. Journal of Cancer Policy.
- ASCO AI. (2026). SPARKing New Insights: Agentic AI Framework Validates Novel Biomarkers Across Five Cancer Types. ascoai.org.
- Precision Medicine Online. (2025). Agentic AI Systems Show Promise in Supporting Molecular Tumor Boards. Precision Medicine Online.
- LabMedica International. (2026). Agentic AI Platform Supports Genomic Decision-Making in Oncology. LabMedica.
- USZ – Universitätsspital Zürich. (2025). Wie das CCCZ wissenschaftliche Erkenntnisse und innovative Technologien in die Krebsversorgung bringt. usz.ch.
- Guo, X., Chen, J., Zhang, Y., et al. (2026). Precision oncology: from large language models to multi-agent systems. Frontiers in Oncology, 1-10.
- Velazquez-Villarreal, E., & Waldrup, B. (2026). A multi-agent conversational artificial intelligence ecosystem for real-time integration of clinical, genomic, and social determinants of health data in colorectal cancer precision oncology. Cancer Research, 86(7_Supplement), 4.
- Cancer Core Europe. (2026). Gustave Roussy's AI Ecosystem: From Clinical AI to Agentic Systems in Precision Oncology. cancercoreeurope.eu.
- National Science Foundation. (2026). Medea: An omics AI agent for therapeutic discovery. par.nsf.gov.
- University of Zurich. (2025). Digital Assistant for Cancer Treatment. ai.uzh.ch.
- Saha, R., & Prasad, P. S. (2026). Towards Adaptive Cancer Treatment: A Review of Explainable and Agentic AI in Iterative, Multimodal Healthcare Models. Grenze International Journal of Engineering & Technology, 12(Part2), 2439.
- European Commission. (2026). ABIGAIL4D: Advancing Breast cancer Individualised Generative AI for Longitudinal Outcomes. CORDIS.
- Guo, X., Chen, J., Zhang, Y., et al. (2026). Precision oncology: from large language models to multi-agent systems. Frontiers in Oncology, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fonc.2026.1828507>
- Hwang, T. H. (2026). Agentic AI as the Oncologist: Clinical Decision Support and Human-AI Collaboration. Proceedings of the American Association for Cancer Research (AACR) Annual Meeting 2026.