

Penerapan, Pengukuran, dan Luaran Ergonomi Kognitif dalam Sistem Kerja: Tinjauan Literatur Sistematis

Silvana Mohamad^{1*}, Moh. Ainul Fais², Dedy Kunhady³, Bambang Sutejo⁴, Djaffar Shodiq⁵, Novid Hidayat⁶, Mohamad Tsaqif A. L.⁷

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo

^{2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas W. R. Supratman

⁷ Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas W. R. Supratman

*Email: silvanamohamad@ung.ac.id

ABSTRAK

Transformasi sistem kerja digital meningkatkan interaksi manusia-teknologi dan menuntut pemahaman yang terintegrasi tentang penerapan, pengukuran, dan luaran ergonomi kognitif. Penelitian ini memetakan mekanisme penerapan, keluarga metode pengukuran beban kerja mental, serta keterkaitannya dengan kinerja, keselamatan, kegunaan, penerimaan teknologi, dan kesejahteraan. Metadata Crossref ditelusuri melalui Publish or Perish dengan Title words “ergonomic cognitive” dan 13 istilah pada Keywords. Tujuh peneliti menyeleksi judul, kata kunci penulis, dan abstrak pada 13 April–10 Juni 2026, kemudian memeriksa teks lengkap, DOI, dan mutu artikel. Dari 1.000 rekaman, deduplikasi dan penyaringan bertingkat menghasilkan 52 artikel: 26 studi primer empiris, 20 kajian sekunder, dan enam artikel konseptual atau metodologis. Sintesis mengidentifikasi lima mekanisme penerapan dan enam keluarga pengukuran: subjektif, performa, perilaku, fisiologis, neurofisiologis, serta analisis tugas. Multimodalitas berfungsi sebagai strategi integrasi, bukan metode ketujuh. Hubungan dengan luaran bersifat kondisional karena dipengaruhi oleh kompleksitas, pengalaman, usia, durasi, transparansi teknologi, dan lingkungan. Kerangka desain–keadaan kognitif–luaran menempatkan pengukuran sebagai lapisan observasi dan luaran sebagai umpan balik perancangan ulang.

Kata Kunci: ergonomi kognitif, beban kerja mental, interaksi manusia-teknologi, sistem kerja, tinjauan literatur sistematis

ABSTRACT

Digital work-system transformation intensifies human–technology interaction and requires an integrated understanding of cognitive ergonomics applications, measurement, and outcomes. This study maps application mechanisms, mental-workload measurement families, and their relationships with performance, safety, usability, technology acceptance, and well-being. Crossref metadata were retrieved through Publish or Perish using “ergonomic cognitive” in Title words and 13 terms in Keywords. Seven researchers screened titles, author keywords, and abstracts from 13 April to 10 June 2026, followed by full-text, DOI, and quality checks. From 1,000 records, deduplication and multistage screening produced 52 articles: 26 primary empirical studies, 20 secondary reviews, and six conceptual or methodological articles. The synthesis identified five application mechanisms and six measurement families: subjective, performance, behavioral, physiological, neurophysiological, and task-analysis methods. Multimodality functions as an integration strategy rather than a seventh method. Associations with outcomes were conditional on complexity, experience, age, duration, technology transparency, and environmental conditions. The design–cognitive-state–outcome framework positions measurement as an observation layer and outcomes as feedback for redesign.

Keywords: cognitive ergonomics, mental workload, human–technology interaction, work systems, systematic literature review

1. Pendahuluan

Transformasi digital, otomatisasi, robot kolaboratif, dan kecerdasan buatan telah mengubah pekerjaan dari dominasi aktivitas fisik menuju pemrosesan informasi,

pemantauan, koordinasi, dan pengambilan keputusan. Dalam perubahan tersebut, ergonomi kognitif tidak hanya menilai kemudahan penggunaan, tetapi menelaah kesesuaian antara tuntutan sistem dan kapasitas persepsi, perhatian, memori, penalaran, serta respons pengguna. Literatur mutakhir memperluas fokus dari antarmuka individual menuju integrasi manusia, teknologi, prosedur, dan organisasi dalam sistem sosioteknik (Ioniță et al., 2025; Hilmi et al., 2025; Hilmi et al., 2024; Drankoff & Bommer, 2020; Dehais et al., 2020; Longo et al., 2022; Trstenjak et al., 2025). Perluasan ini penting karena teknologi yang meningkatkan efisiensi dapat sekaligus menghasilkan kelebihan informasi, kebutuhan pemantauan, ketergantungan pada otomatisasi, dan kesulitan pemulihan ketika sistem gagal.

Penerapan ergonomi kognitif telah ditemukan pada bedah robotik, layanan kesehatan, teledriving, operasi maritim, pengeboran lepas pantai, ruang kendali, pekerjaan kantor, dan penggunaan AI untuk penyuntingan teks (Wong & Crowe, 2024; Li & Lu, 2026; Musicant et al., 2026; Saud & Saud, 2025; Moreira et al., 2023; Staab et al., 2026; Yao et al., 2026; Zahmat Doost & Zhang, 2023; Braarud, 2024; Li-Wang et al., 2023; Kazemi & Smith, 2023; Taheri et al., 2023; Yiu et al., 2025). Pada sistem berisiko tinggi, masalah kognitif berkaitan dengan kesadaran situasional, kesalahan manusia, alarm, interupsi, dan kemampuan mengantisipasi kondisi abnormal. Pada pekerjaan digital, bantuan otomatis dapat mengurangi tuntutan produksi awal, tetapi menambah verifikasi dan pembagian perhatian. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa dampak teknologi perlu dinilai sepanjang siklus tugas, bukan hanya dari kecepatan atau akurasi akhir.

Perkembangan mutakhir memperlihatkan keragaman bentuk intervensi. Studi menguji realitas ditambah untuk pelatihan, analisis tugas pada manufaktur aditif, pengenalan emosi, protokol evaluasi sistem eksekusi manufaktur, alokasi peran dalam kolaborasi manusia-robot, desain visual bagi pengguna lanjut usia, fitur VR, antarmuka kendaraan, cognitive compatibility, serta stasiun kerja cobot (Tanaka et al., 2026; Guerrero-Castañeda et al., 2026; Rodriguez Aguiñaga et al., 2020; Dörner et al., 2024; Segura et al., 2025; Moudettir et al., 2025; Liu & Qu, 2026; Vizcarra et al., 2026; Cao et al., 2025; Caiazzo et al., 2025; Kia et al., 2025; Cescon & Peruzzini, 2026; Arana-De las Casas et al., 2023; Zhou et al., 2022b; Bläsing et al., 2022; Zhou et al., 2022a; Caiazzo et al., 2023; Panchetti et al., 2023). Kesamaan lintas konteks terletak pada upaya menjaga keterbacaan informasi, prediktabilitas teknologi, pembagian tanggung jawab, dan kontinuitas perhatian. Namun, unit intervensi berbeda dari elemen layar hingga alur kerja dan konfigurasi organisasi.

Strategi pengukuran juga belum seragam. Penelitian menggunakan skala subjektif, ukuran performa, pelacakan mata, ECG atau HRV, EDA, EEG, fNIRS, perangkat pakai, analisis tugas, dan klasifikasi komputasional (Fogelberg et al., 2025; Darejeh et al., 2026; Faidah et al., 2026; Silva et al., 2025; Basnet & Zahabi, 2025; Pereira et al., 2025; Jin et al., 2024; Bagheri & Power, 2022; Kodithuwakku Arachchige et al., 2022; Diarra et al., 2025). Kajian pada kendaraan, maritim, ruang kendali, dan neuroergonomi menunjukkan bahwa definisi, garis dasar, durasi, prapemrosesan, serta sensitivitas indikator bervariasi (Staab et al., 2026; Basnet & Zahabi, 2025; Cescon & Peruzzini, 2026; Braarud, 2024; Dehais et al., 2020; Longo et al., 2022; Diarra et al., 2025). Akibatnya, satu indikator dapat menunjukkan perubahan ketika indikator lain tetap stabil. Kondisi ini bukan semata-mata kelemahan pengukuran, tetapi dapat mencerminkan kompensasi usaha, fase respons yang berbeda, atau pengaruh faktor nonkognitif.

Literatur masih terfragmentasi antara penelitian yang menekankan penerapan desain, validasi instrumen, dan penilaian luaran. Bukti juga didominasi eksperimen jangka pendek, sampel terbatas, serta konteks manufaktur dan kolaborasi manusia-robot; kajian mengenai kesejahteraan, keragaman populasi, dan penggunaan longitudinal masih lebih sedikit (Koirala & Maharjan, 2022; Mousavi Kordmiri et al., 2024; Holt, 2025;

Gervasi et al., 2025; Kodithuwakku Arachchige et al., 2022; Trstenjak et al., 2025). Kebaruan kajian ini terletak pada sintesis lintas domain melalui kerangka desain, keadaan kognitif, pengukuran, dan luaran, disertai pemisahan sumber primer, sekunder, serta konseptual agar kajian ulang tidak dihitung sebagai bukti empiris baru. Penelitian menjawab tiga pertanyaan: bagaimana ergonomi kognitif diterapkan; metode apa yang digunakan untuk mengukur beban kerja mental dan konstruk terkait; serta bagaimana penerapan dan beban kerja mental berkaitan dengan luaran manusia dan sistem.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain, sumber data, dan strategi penelusuran

Penelitian menggunakan tinjauan literatur sistematis dengan artikel jurnal teks lengkap sebagai unit analisis; berkas RIS hanya berfungsi sebagai metadata awal. Pelaporan seleksi mengacu pada PRISMA 2020 dan PRISMA-S (Page et al., 2021; Rethlefsen et al., 2021). Cakupan publikasi ditetapkan pada 2020–2026. Penelusuran metadata dilakukan pada Crossref melalui Publish or Perish. Kolom Title words diisi dengan “ergonomic cognitive”, sedangkan kolom Keywords memuat interface, mental workload, performance, human-robot collaboration, manufacturing, driving, aviation, maritime, usability, NASA-TLX, EEG, eye tracking, dan HRV. Hasil penelusuran awal berjumlah 1.000 rekaman. Berkas CE LR.ris yang tersedia mencatat 16 Juli 2026 sebagai tanggal ekspor metadata; tanggal tersebut dipisahkan dari periode penelaahan artikel.

2.2 Pembagian kerja dan penyaringan artikel

Penyaringan dan penelaahan artikel dilaksanakan pada 13 April–10 Juni 2026. Rekaman dibagi kepada tujuh peneliti berdasarkan kelompok artikel. Setiap peneliti menerapkan kriteria yang sama dengan memeriksa kesesuaian judul, kata kunci penulis, dan abstrak terhadap fokus kajian. Rekaman dipertahankan apabila ergonomi kognitif, beban kerja mental, interaksi manusia-teknologi, desain antarmuka, metode pengukuran, atau luaran manusia dan sistem menjadi fokus substantif dan mendukung sedikitnya satu pertanyaan penelitian. Rekaman yang belum dapat diputuskan berdasarkan metadata awal diteruskan ke pemeriksaan teks lengkap. Hasil setiap kelompok dihimpun, sedangkan keputusan yang meragukan dibahas melalui konsensus tim.

Artikel disertakan apabila merupakan artikel jurnal berbahasa Inggris atau Indonesia, terbit pada 2020–2026, teks lengkap tersedia, metadata dan DOI atau pengenal resmi dapat diverifikasi, serta menyediakan informasi yang relevan bagi pertanyaan penelitian. Rekaman dikeluarkan apabila duplikat, bukan artikel jurnal, hanya membahas ergonomi fisik tanpa komponen kognitif, tidak relevan dengan fokus kajian, metadata tidak dapat divalidasi, atau teks lengkap tidak diperoleh setelah penelusuran melalui halaman penerbit, laman resmi jurnal, dan repositori institusional.

2.3 Alur seleksi dan penetapan korpus

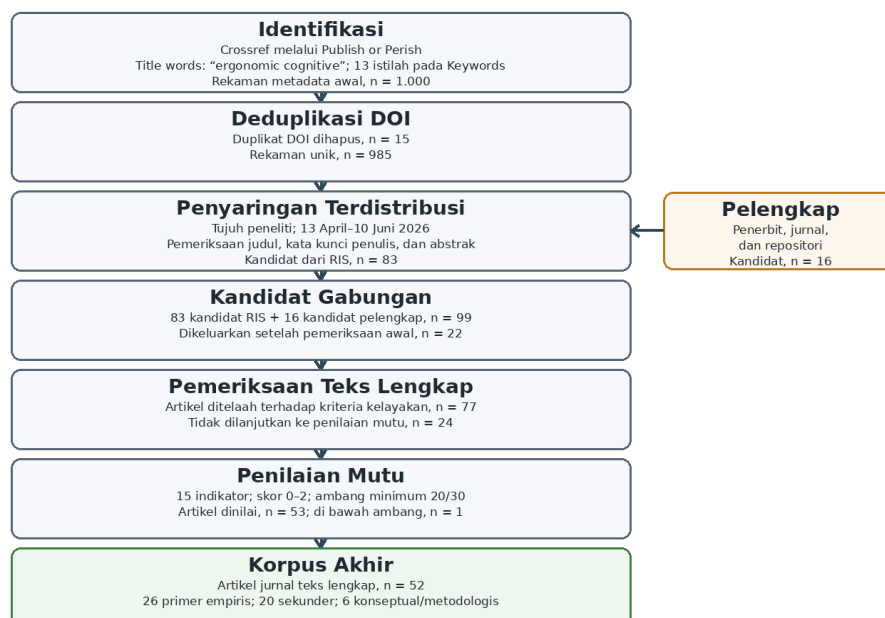
Deduplikasi DOI menghapus 15 rekaman sehingga tersisa 985 rekaman unik. Penyaringan judul, kata kunci, dan abstrak menghasilkan 83 kandidat dari RIS. Penelusuran pelengkap menambahkan 16 kandidat sehingga terbentuk 99 kandidat gabungan. Pemeriksaan jenis sumber, relevansi, dan validitas metadata mengeluarkan 22 kandidat; 77 artikel kemudian menjalani pemeriksaan teks lengkap. Sebanyak 24 artikel tidak dilanjutkan ke penilaian mutu. Dari 53 artikel yang dinilai, satu artikel berada di bawah ambang kelayakan sehingga korpus akhir berjumlah 52 artikel. Jumlah akhir merupakan hasil alami proses seleksi, bukan kuota.

2.4 Penilaian mutu, ekstraksi, dan sintesis data

Penilaian mutu menggunakan 15 indikator dalam lima ranah: integritas sumber dan akses (3 indikator); relevansi terhadap fokus dan pertanyaan penelitian (3); transparansi tujuan, desain, sampel atau sumber data, instrumen, dan analisis (5); keterlacakan hasil serta pelaporan keterbatasan (2); dan kegunaan informasi untuk ekstraksi serta implikasi (2). Setiap indikator diberi skor 0 (tidak dilaporkan), 1 (parsial), atau 2 (memadai), dengan skor maksimum 30 dan ambang inklusi minimal 20. Jejak akses korpus terdiri atas 45 teks lengkap yang terverifikasi pada pemeriksaan awal, satu accepted manuscript yang dipulihkan, dan enam versi teks lengkap akses terbuka yang diperoleh melalui sumber alternatif. Seluruh DOI diperiksa terhadap metadata penerbit atau Crossref.

Data diekstraksi ke 29 variabel yang mencakup identitas bibliografis, tujuan, konteks, tema, landasan teori, desain, sampel, instrumen, teknik analisis, temuan, keterbatasan, implikasi, skor mutu, dan tautan teks lengkap. Sumber dipisahkan menurut fungsi buktinya: 26 studi primer empiris menyediakan data langsung; 20 kajian sekunder menyintesis penelitian terdahulu; dan enam artikel konseptual atau metodologis menyediakan kerangka, perspektif, atau usulan metode. Klaim hubungan empiris diprioritaskan pada studi primer agar hasil kajian sekunder tidak dihitung ulang sebagai observasi mandiri.

Analisis menggunakan statistik deskriptif dan sintesis naratif-tematik. Sembilan tema memetakan konteks; setiap artikel diberi satu pertanyaan penelitian utama dan dapat mendukung pertanyaan lain secara sekunder. Jumlah dukungan RQ (40/39/42) menunjukkan cakupan dokumen, bukan jumlah efek independen. Meta-analisis tidak dilakukan karena heterogenitas desain, populasi, instrumen, dan luaran. Informasi yang tidak dilaporkan penulis tidak diisi melalui asumsi. Karena pembagian kerja tidak menghasilkan penilaian independen ganda pada seluruh rekaman dan log keputusan individual tidak tersimpan, reliabilitas antarpemelaah tidak dihitung secara retrospektif. Keterbatasan ini dinyatakan secara eksplisit.



Gambar 1. Alur identifikasi, penyaringan terdistribusi, penilaian mutu, dan penetapan korpus

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Korpus

Korpus mencakup 52 artikel. Setelah tahun bibliografis diselaraskan dengan edisi

final, 18 artikel terbit pada 2025 dan 12 artikel pada 2026; dengan demikian, 30 artikel (57,7%) berasal dari dua tahun terakhir. Berdasarkan fungsi bukti, korpus terdiri atas 26 studi primer empiris, 20 kajian sekunder, dan enam artikel konseptual atau metodologis. Tema terbesar adalah manufaktur dan kolaborasi manusia-robot sebanyak 13 artikel, diikuti beban kerja mental dan pengukuran sebanyak 10 artikel, serta desain antarmuka dan kegunaan sebanyak delapan artikel. Eksperimen atau kuasi-eksperimen merupakan desain primer terbesar. Karakteristik ringkas korpus ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik ringkas korpus

Dimensi	Kategori utama	n	%
Tahun	2025 / 2026	18 / 12	34,6 / 23,1
Jenis bukti	Primer empiris	26	50,0
Jenis bukti	Kajian sekunder	20	38,5
Jenis bukti	Konseptual/metodologis	6	11,5
Tema	Manufaktur-HRC	13	25,0
Tema	Beban kerja-pengukuran	10	19,2
Tema	Antarmuka-kegunaan	8	15,4
Cakupan RQ	RQ1 / RQ2 / RQ3	40 / 39 / 42	76,9 / 75,0 / 80,8

Instrumen dikodekan secara multilabel karena satu artikel dapat menggunakan beberapa pendekatan. Pada tingkat dokumen, skala subjektif dan kuesioner muncul pada 21 artikel, ukuran performa pada 17 artikel, pelacakan mata pada 14 artikel, EEG atau indikator neurofisiologis pada 13 artikel, serta HRV atau indikator kardiovaskular pada 10 artikel. Angka tersebut menggambarkan cakupan dokumen, bukan jumlah sampel atau efek independen. Dominasi pengukuran subjektif menunjukkan kemudahan implementasinya, sedangkan peningkatan penggunaan sensor dan integrasi multimodal memperlihatkan kebutuhan untuk memahami dinamika beban selama tugas. Kerangka beban kerja mental, cognitive load, resource theory, human-centered design, kesadaran situasional, neuroergonomics, dan systems ergonomics digunakan secara saling melengkapi.

3.2 Penerapan Ergonomi Kognitif (RQ1)

Sebanyak 40 dokumen mencakup RQ1; temuan penerapan langsung terutama ditopang studi primer, sedangkan kajian sekunder dan artikel konseptual digunakan untuk triangulasi. Sintesis menghasilkan lima mekanisme penerapan. Pertama, perancangan ulang tugas dan antarmuka mengatur hierarki informasi, urutan tindakan, isyarat visual, ukuran target, navigasi, dan umpan balik. Kedua, pembagian fungsi manusia-teknologi mengatur alokasi peran, kewenangan, dan transparansi otomatisasi. Ketiga, pemantauan keadaan kognitif menggunakan beban kerja mental, tatapan, fisiologi, atau performa untuk mengevaluasi dan, pada beberapa studi, menyesuaikan dukungan. Keempat, AR, VR, bantuan kognitif, dan panduan prosedural digunakan untuk pelatihan atau dukungan keputusan. Kelima, prinsip kognitif diintegrasikan ke dalam alur kerja, pengelolaan penghalang keselamatan, rekayasa sistem, dan organisasi.

Pada manufaktur, manfaat teknologi bergantung pada prediktabilitas gerak robot, kejelasan peran, konsistensi instruksi, dan kemampuan operator mempertahankan kontrol (Guerrero-Castañeda et al., 2026; Fogelberg et al., 2025; Segura et al., 2025;

Caiazzo et al., 2025; Drankoff & Bommer, 2020; Pereira et al., 2025; Gervasi et al., 2025; Bläsing et al., 2022; Caiazzo et al., 2023; Trstenjak et al., 2025; Panchetti et al., 2023). Bantuan cobot dapat meningkatkan produktivitas atau menurunkan beban kerja mental, tetapi pengguna tetap harus memantau urutan kerja dan memahami perilaku sistem. Pada antarmuka dan VR, kompleksitas visual, warna, kepadatan informasi, ukuran target, dan orientasi spasial memengaruhi perhatian serta performa (Dörner et al., 2024; Liu & Qu, 2026; Cao et al., 2025; Kia et al., 2025; Arana-De las Casas et al., 2023; Zhou et al., 2022b; Zhou et al., 2022a). Dengan demikian, simplifikasi tidak selalu ergonomis apabila menghilangkan konteks atau umpan balik yang diperlukan.

Pada kesehatan dan sistem berisiko tinggi, antarmuka harus terhubung dengan prosedur, pelatihan, koordinasi, dan pemulihan (Tanaka et al., 2026; Wong & Crowe, 2024; Li & Lu, 2026; Musicant et al., 2026; Saud & Saud, 2025; Moreira et al., 2023; Li-Wang et al., 2023; Kazemi & Smith, 2023; Taheri et al., 2023; Yiu et al., 2025). Kesadaran situasional menjadi penghubung penting karena pengguna perlu mendeteksi, memahami, dan memproyeksikan perubahan keadaan. Temuan tersebut memperluas ergonomi kognitif dari desain layar menuju desain distribusi informasi, keputusan, kontrol, dan pemulihan dalam sistem sosioteknik.

3.3 Metode Pengukuran Beban Kerja Mental (RQ2)

Sebanyak 39 dokumen mencakup RQ2. Enam keluarga metode teridentifikasi: (1) subjektif, (2) performa, (3) perilaku, (4) fisiologis, (5) neurofisiologis, dan (6) analisis tugas atau kerja. NASA-TLX, RSME, dan Bedford menangkap pengalaman beban dan usaha; waktu, akurasi, kesalahan, serta kualitas hasil menangkap konsekuensi tugas; pelacakan mata memetakan distribusi perhatian; HRV, ECG, dan EDA merekam respons fisiologis; sedangkan EEG, ERP, dan fNIRS merekam aktivitas neurofisiologis. HTA, SHERPA, CREAM, TAFEI, dan Bowtie menghubungkan tuntutan kognitif dengan struktur tugas serta potensi kegagalan. Pendekatan multimodal tidak diperlakukan sebagai keluarga ketujuh, melainkan sebagai strategi integrasi dua atau lebih keluarga metode.

Tidak ditemukan standar tunggal yang berlaku untuk seluruh konteks. Skor subjektif dapat meningkat tanpa penurunan performa karena pengguna melakukan kompensasi; sinyal fisiologis dapat berubah akibat stres, emosi, gerak, dan kondisi lingkungan (Fogelberg et al., 2025; Dörner et al., 2024; Jin et al., 2024; Bagheri & Power, 2022; Zhou et al., 2022a, 2022b; Kodithuwakku Arachchige et al., 2022; Dehais et al., 2020; Longo et al., 2022; Diarra et al., 2025). Karena itu, kualitas pengukuran ditentukan oleh koherensi antara definisi konstruk, manipulasi tugas, garis dasar, fase pengukuran, dan interpretasi. Pendekatan minimum yang paling konsisten ialah menggabungkan penilaian subjektif dengan performa, kemudian menambahkan perilaku tatapan atau sensor fisiologis ketika diperlukan untuk diagnosis proses atau pemantauan waktu nyata.

Integrasi multimodal menjanjikan sensitivitas yang lebih baik, tetapi menambah kebutuhan sinkronisasi, prapemrosesan, pemilihan fitur, serta validasi lintas pengguna dan tugas (Caiazzo et al., 2025; Basnet & Zahabi, 2025; Pereira et al., 2025; Jin et al., 2024; Bagheri & Power, 2022; Diarra et al., 2025; Caiazzo et al., 2023). Model yang akurat pada satu eksperimen belum dapat dipindahkan langsung ke lingkungan operasional. Pemilihan metode perlu dimulai dari pertanyaan penelitian dan model tugas, bukan dari ketersediaan perangkat. Ringkasan jawaban setiap RQ ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sintesis jawaban pertanyaan penelitian

RQ	Inti jawaban	Cakupan dokumen	Implikasi
RQ1	Lima mekanisme penerapan	40 artikel	Desain multilevel

RQ	Inti jawaban	Cakupan dokumen	Implikasi
RQ2	Enam keluarga metode	39 artikel	Triangulasi sesuai tujuan
RQ3	Hubungan kondisional	42 artikel	Evaluasi multiluaran

3.4 Hubungan dengan Luaran (RQ3)

Sebanyak 42 dokumen mencakup RQ3. Arah hubungan empiris ditafsirkan terutama dari studi primer agar hasil kajian sekunder tidak dihitung ulang sebagai observasi mandiri. Luaran yang paling sering dibahas adalah kinerja, akurasi, waktu tugas, keselamatan, kesalahan manusia, kegunaan, beban kerja mental, kesadaran situasional, kepercayaan, penerimaan, kelelahan, stres, dan kesejahteraan. Hubungan antara beban kerja mental dan performa tidak linear. Desain yang lebih jelas atau bantuan teknologi dapat meningkatkan hasil, tetapi performa juga dapat tetap stabil ketika beban meningkat karena strategi kompensasi (Tanaka et al., 2026; Fogelberg et al., 2025; Dörner et al., 2024; Musicant et al., 2026; Liu & Qu, 2026; Caiazzo et al., 2025; Kia et al., 2025; Jin et al., 2024; Zahmat Doost & Zhang, 2023; Zhou et al., 2022b; Yiu et al., 2025; Caiazzo et al., 2023). Beban kerja yang rendah juga tidak selalu ideal pada tugas pemantauan karena dapat menghasilkan beban terlalu rendah (underload) dan berkurangnya kewaspadaan.

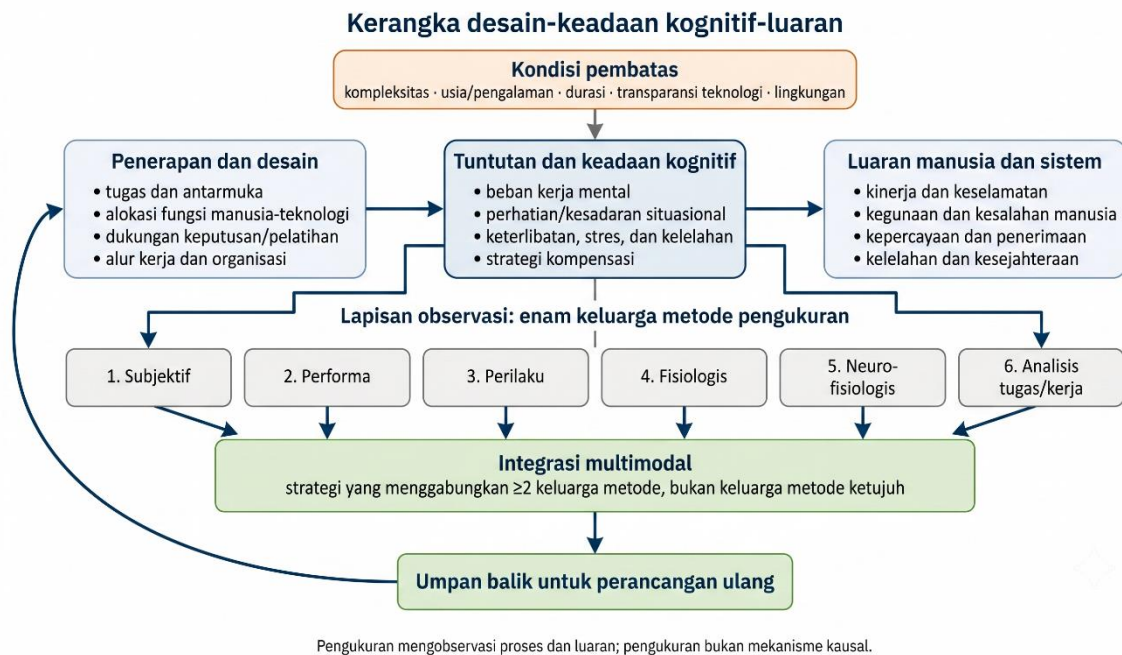
Pada HRC dan pekerjaan berbantuan AI, otomatisasi mendistribusikan ulang tuntutan. Eksekusi manual dapat berkurang, sedangkan pemantauan, verifikasi, kalibrasi kepercayaan, diagnosis, dan pemulihan meningkat (Ioniță et al., 2025; Segura et al., 2025; Caiazzo et al., 2025; Yao et al., 2026; Gervasi et al., 2025; Panchetti et al., 2023). Pada sistem kritis, kualitas informasi, penghalang keselamatan, alarm, dan koordinasi memengaruhi kesadaran situasional serta keselamatan (Li & Lu, 2026; Musicant et al., 2026; Moreira et al., 2023; Faidah et al., 2026; Staab et al., 2026; Braarud, 2024; Taheri et al., 2023; Yiu et al., 2025). Kegunaan dan penerimaan perlu dinilai sebagai luaran mandiri karena sistem yang disukai belum tentu lebih aman, sedangkan performa yang baik belum tentu disertai kenyamanan atau kepercayaan.

Inkonsistensi antartemuan terutama dijelaskan oleh perbedaan konstruk, populasi, pengalaman, durasi, kompleksitas, kondisi lingkungan, dan indikator. Pengguna lanjut usia menunjukkan kebutuhan visual dan navigasi yang berbeda (Liu & Qu, 2026; Holt, 2025; Zhou et al., 2022b; Zhou et al., 2022a), sedangkan studi perangkat pakai dan lingkungan kerja menunjukkan bahwa gerak, kebisingan, getaran, serta artefak memengaruhi sinyal (Mousavi Kordmiri et al., 2024; Kodithuwakku Arachchige et al., 2022; Diarra et al., 2025). Kesimpulan yang paling defensibel adalah bahwa desain perlu menjaga beban kerja mental dalam rentang yang dapat dikelola dan menilai beberapa luaran secara bersamaan.

3.5 Kerangka Integratif, Kontribusi, dan Agenda

Integrasi hasil menghasilkan kerangka desain-keadaan kognitif-luaran. Penerapan mencakup tugas, antarmuka, otomatisasi, pelatihan, alur kerja, dan organisasi; penerapan tersebut membentuk tuntutan serta keadaan kognitif, termasuk beban kerja mental, perhatian, kesadaran situasional, keterlibatan, stres, dan kelelahan. Keadaan tersebut berkaitan dengan kinerja, keselamatan, kegunaan, kepercayaan, penerimaan, kesalahan manusia, dan kesejahteraan. Enam keluarga pengukuran berfungsi sebagai lapisan observasi terhadap proses dan luaran, sedangkan multimodalitas mengintegrasikan beberapa keluarga. Kompleksitas, usia, pengalaman, durasi, transparansi teknologi, dan lingkungan menjadi kondisi pembatas. Luaran kemudian

memberikan umpan balik bagi perancangan ulang.



Gambar 2. Kerangka desain-keadaan kognitif-luaran dan lapisan pengukuran

Kontribusi teoretis kajian adalah penyatuan literatur yang sebelumnya terpisah dan perluasan kognisi individual menuju kognisi sosioteknik. Kontribusi metodologisnya mencakup pemisahan sumber primer, sekunder, dan konseptual; taksonomi enam keluarga pengukuran; penempatan multimodal sebagai strategi integrasi; serta strategi satu RQ utama dengan dukungan sekunder untuk mengendalikan perhitungan ganda. Secara praktis, hasil menegaskan pentingnya kesesuaian kognitif, prediktabilitas, keterjelasan kontrol, kesadaran situasional, dan pemulihan. Bukti tetap dibatasi oleh dominasi manufaktur, sampel kecil, eksperimen singkat, heterogenitas protokol, tidak tersedianya log penilaian ganda pada seluruh rekaman, dan kurangnya validasi longitudinal.

Penelitian selanjutnya perlu menguji transfer model beban kerja mental lintas pengguna dan tugas, memisahkan tuntutan pada fase eksekusi, pemantauan, verifikasi, dan pemulihan, serta memperluas populasi dan sektor. Studi lapangan dan longitudinal dibutuhkan untuk membedakan beban kerja mental sementara dari adaptasi, kelelahan, dan kesejahteraan. Penggunaan sensor pekerja juga memerlukan tata kelola yang menjamin transparansi, proporsionalitas, privasi, dan pembatasan tujuan.

4. Kesimpulan

Tinjauan terhadap 52 artikel menunjukkan bahwa ergonomi kognitif diterapkan melalui perancangan ulang tugas dan antarmuka, pembagian fungsi manusia-teknologi, pemantauan keadaan pengguna, dukungan keputusan dan pelatihan, serta integrasi ke dalam alur kerja dan organisasi. Pemisahan 26 studi primer, 20 kajian sekunder, dan enam artikel konseptual atau metodologis memperjelas fungsi setiap sumber dalam sintesis. Pengukuran beban kerja mental mencakup enam keluarga: subjektif, performa, perilaku, fisiologis, neurofisiologis, dan analisis tugas atau kerja. Multimodal merupakan strategi integrasi lintas keluarga, bukan metode ketujuh. Tidak terdapat satu instrumen universal; pengukuran yang lebih kuat menggabungkan indikator dengan fungsi bukti berbeda dan sesuai dengan model tugas.

Hubungan ergonomi kognitif dengan kinerja, keselamatan, kegunaan, kepercayaan,

penerimaan, kelelahan, dan kesejahteraan bersifat kondisional. Beban kerja yang lebih rendah tidak selalu menghasilkan kinerja lebih baik karena teknologi dapat memindahkan tuntutan dari eksekusi menuju pemantauan, verifikasi, diagnosis, dan pemulihan. Kerangka desain–keadaan kognitif–luaran menempatkan pengukuran sebagai lapisan observasi dan luaran sebagai umpan balik perancangan ulang. Penelitian berikutnya perlu memperkuat validasi lapangan, longitudinal, lintas populasi, serta integrasi tuntutan fisik-kognitif. Replikasi kajian selanjutnya perlu menyimpan tangkapan parameter pencarian, keputusan individual penelaah, dan log konsensus agar reliabilitas antarpemelaah dapat dihitung.

5. Daftar Pustaka

- Arana-De las Casas, N. I., De la Riva-Rodríguez, J., Maldonado-Macías, A. A., & Sáenz-Zamarrón, D. (2023). Cognitive analyses for interface design using Dual N-Back tasks for mental workload (mwl) evaluation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1184. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021184>
- Bagheri, M., & Power, S. D. (2022). Simultaneous classification of both mental workload and stress level suitable for an online passive brain-computer interface. *Sensors*, 22(2), 535. <https://doi.org/10.3390/s22020535>
- Basnet, N., & Zahabi, M. (2025). Real-time cognitive workload assessment using non-intrusive methods: A systematic review. *Ergonomics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/00140139.2025.2606779>
- Bläsing, D., Bornewasser, M., & Hinrichsen, S. (2022). Cognitive compatibility in modern manual mixed-model assembly systems. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 76(3), 289–302. <https://doi.org/10.1007/s41449-021-00296-1>
- Braarud, P. Ø. (2024). Measuring cognitive workload in the nuclear control room: A review. *Ergonomics*, 67(6), 849–865. <https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2302381>
- Caiazzo, C., Djapan, M., Savkovic, M., Milojevic, D., Vukicevic, A., & Gualtieri, L. (2025). Evaluating mental workload and productivity in manufacturing: A neuroergonomic study of human-robot collaboration scenarios. *Machines*, 13(9), 783. <https://doi.org/10.3390/machines13090783>
- Caiazzo, C., Savkovic, M., Pusica, M., Milojevic, D., Leva, M. C., & Djapan, M. (2023). Development of a neuroergonomic assessment for the evaluation of mental workload in an industrial human-robot interaction assembly task: A comparative case study. *Machines*, 11(11), 995. <https://doi.org/10.3390/machines11110995>
- Cao, H., Rivera, F. G., Söderlund, H., Berlin, C., Stahre, J., & Johansson, B. (2025). Human-centered design of VR interface features to support mental workload and spatial cognition during collaboration tasks in manufacturing. *Cognition, Technology & Work*, 27(3), 467–485. <https://doi.org/10.1007/s10111-025-00809-6>
- Cescon, M., & Peruzzini, M. (2026). Evaluating UX and usability in automotive human-machine interfaces: A systematic review. *Applied Sciences*, 16(7), 3437. <https://doi.org/10.3390/app16073437>
- Darejeh, A., Marcus, N., Mohammadi, G., & Sweller, J. (2026). Cognitive load measurement methods for usability testing: A critical analysis and framework for interface evaluation. *Human Factors*, 68(7), 859–912. <https://doi.org/10.1177/00187208261427867>
- Dehais, F., Lafont, A., Roy, R., & Fairclough, S. (2020). A neuroergonomics approach to mental workload, engagement and human performance. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 268. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00268>

- Diarra, M., Theurel, J., & Paty, B. (2025). Systematic review of neurophysiological assessment techniques and metrics for mental workload evaluation in real-world settings. *Frontiers in Neuroergonomics*, 6, 1584736. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2025.1584736>
- Drankoff, L., & Bommer, S. (2020). A systems engineering framework for integration of cognitive ergonomics in smart factory configurations. *Journal of Management and Engineering Integration*, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.62704/10057/24745>
- Dörner, A., Bures, M., Simon, M., & Pirkel, G. (2024). Making cognitive ergonomics in the human-computer interaction of manufacturing execution systems assessable: Experimental and validation approaches to closing research gaps. *Machines*, 12(3), 195. <https://doi.org/10.3390/machines12030195>
- Faidah, U. N., Maulana, I., & Efranto, R. Y. (2026). Driver mental workload measurement trends and cognitive impacts: A literature review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 27(3), 243–258. <https://doi.org/10.1080/1463922x.2025.2608063>
- Fogelberg, E., Cao, H., & Thorvald, P. (2025). Cognitive ergonomics: Triangulation of physiological, subjective, and performance-based mental workload assessments. *Frontiers in Industrial Engineering*, 3, 1605975. <https://doi.org/10.3389/fieng.2025.1605975>
- Gervasi, R., Capponi, M., Mastrogiacomo, L., & Franceschini, F. (2025). Eye-tracking support for analyzing human factors in human-robot collaboration during repetitive long-duration assembly processes. *Production Engineering*, 19(1), 47–64. <https://doi.org/10.1007/s11740-024-01294-y>
- Guerrero-Castañeda, J. E., Balderrama-Armendariz, C. O., & Maldonado-Macías, A. A. (2026). Improvement of additive manufacturing processes through cognitive ergonomics analyses: A case study in fused deposition modeling. *Processes*, 14(5), 823. <https://doi.org/10.3390/pr14050823>
- Hilmi, A. H., Abdul Hamid, A. R., & Wan Ibrahim, W. A. R. A. (2024). Advancements in cognitive ergonomics: Integration with human-robot collaboration, workload management, and industrial applications. *Malaysian Journal of Ergonomics (MJER)*, 6, 39–51. <https://doi.org/10.58915/mjer.v6.2024.1368>
- Hilmi, A. H., Abdul Hamid, A. R., & Wan Ibrahim, W. A. R. A. (2025). Integrating physical and cognitive ergonomics: Workload, performance, and human-technology interaction across complex systems. *Malaysian Journal of Ergonomics (MJER)*, 7, 129–146. <https://doi.org/10.58915/mjer.v7.2025.2767>
- Holt, K. L. (2025). Cognitive ergonomics in the aging workforce: A contemporary health and safety perspective. *International Journal of Contemporary Sciences (IJCS)*, 3(7), 35–48. <https://doi.org/10.55927/f36qj339>
- Ioniță, A. R., Anghel, D. C., & Boudouh, T. (2025). Mind, machine, and meaning: Cognitive ergonomics and adaptive interfaces in the age of Industry 5.0. *Applied Sciences*, 15(14), 7703. <https://doi.org/10.3390/app15147703>
- Jin, H., Zhu, L., Li, M., & Duffy, V. G. (2024). Recognition and evaluation of mental workload in different stages of perceptual and cognitive information processing using a multimodal approach. *Ergonomics*, 67(3), 377–397. <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2223785>
- Kazemi, R., & Smith, A. (2023). Overcoming COVID-19 pandemic: Emerging challenges of human factors and the role of cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 24(4), 401–412. <https://doi.org/10.1080/1463922x.2022.2090027>
- Kia, K., Hwang, J., & Kim, J. H. (2025). The effects of target sizes on biomechanical and cognitive load and task performance of virtual reality interactions. *Ergonomics*, 68(8), 1207–1221. <https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2396038>

- Kodithuwakku Arachchige, S. N. K., Burch V, R. F., Chander, H., Turner, A. J., & Knight, A. C. (2022). The use of wearable devices in cognitive fatigue: Current trends and future intentions. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 23(3), 374–386. <https://doi.org/10.1080/1463922x.2021.1965670>
- Koirala, R., & Maharjan, K. (2022). Cognitive ergonomics on employee wellbeing: A literature review. *The Journal of Economic Concerns*, 13(1), 93–106. <https://doi.org/10.3126/tjec.v13i1.57064>
- Li, H., & Lu, H. (2026). Integrating ergonomics and cognitive systems engineering for occupational safety in healthcare work systems: An exploratory study. *Economics Ecology Socium*, 10(2), 94–105. <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2026.10.2-7>
- Liu, C., & Qu, Q. X. (2026). Research on the influence of interface visual design features of mobile news on cognitive load: A study of elderly users in china. *Behavioral Sciences*, 16(1), 32. <https://doi.org/10.3390/bs16010032>
- Li-Wang, J., Townsley, A., & Katta, R. (2023). Cognitive ergonomics: A review of interventions for outpatient practice. *Cureus*, 15(8), e44258. <https://doi.org/10.7759/cureus.44258>
- Longo, L., Wickens, C. D., Hancock, G., & Hancock, P. A. (2022). Human mental workload: A survey and a novel inclusive definition. *Frontiers in Psychology*, 13, 883321. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.883321>
- Moreira, S. S. D. C., Dos Santos, I. J. A. L., & Morgado, C. D. R. V. (2023). Cognitive ergonomics in the analysis of work on offshore platforms: “Cognitive Bowtie” application. *STUDIES IN HEALTH SCIENCES*, 4(2), 419–442. <https://doi.org/10.54022/shsv4n2-013>
- Moudettir, Y., Ouhirir, S., & Lotfi, S. (2025). Enhancing cognitive ergonomics and pedagogical quality a comprehensive evaluation framework for technological pedagogical tools in physical education. *Cuestiones de Fisioterapia*, 54(3), 5007–5029. <https://doi.org/10.48047/53m9x307>
- Mousavi Kordmiri, S. H., Aliabadi, M., Golmohammadi, R., Farhadian, M., & Abbasi Balochkhaneh, F. (2024). Effect of concurrent exposure to noise and hand-transmitted vibration on auditory and cognitive attention under simulated work with construction tools. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 30(3), 754–764. <https://doi.org/10.1080/10803548.2024.2337545>
- Musicant, O., Kuperman, A., & Barachman, R. (2026). Safety, efficiency, and mental workload of predictive display in simulated teledriving. *Sensors*, 26(1), 221. <https://doi.org/10.3390/s26010221>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Panchetti, T., Pietrantoni, L., Puzzo, G., Gualtieri, L., & Fraboni, F. (2023). Assessing the relationship between cognitive workload, workstation design, user acceptance and trust in collaborative robots. *Applied Sciences*, 13(3), 1720. <https://doi.org/10.3390/app13031720>
- Pereira, E., Sigcha, L., Silva, E., Sampaio, A., Costa, N., & Costa, N. (2025). Capturing mental workload through physiological sensors in human-robot collaboration: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 15(6), 3317. <https://doi.org/10.3390/app15063317>

- Rethlefsen, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J., & Koffel, J. B. (2021). PRISMA-S: An extension to the PRISMA statement for reporting literature searches in systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10, 39. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>
- Rodriguez Aguiñaga, A., Realyvásquez-Vargas, A., López R., M. Á., & Quezada, A. (2020). Cognitive ergonomics evaluation assisted by an intelligent emotion recognition technique. *Applied Sciences*, 10(5), 1736. <https://doi.org/10.3390/app10051736>
- Saud, S., & Saud, M. (2025). A holistic approach to radiology: The impact of physical, cognitive, and organizational ergonomics. *Canadian Journal of Medical Sonography*, 16(2), 51–58. <https://doi.org/10.3138/cjms-2025-0002>
- Segura, P., Lobato-Calleros, O., Soria-Arguello, I., & Hernández-Martínez, E. G. (2025). Work roles in human-robot collaborative systems: Effects on cognitive ergonomics for the manufacturing industry. *Applied Sciences*, 15(2), 744. <https://doi.org/10.3390/app15020744>
- Silva, N. M. D., Merino, E. A. D., & Paulo, I. I. (2025). Cognitive ergonomics and eye tracking in undersea well drilling: An integrative review. *Revista Ação Ergonômica*, 19(2), 1–23. <https://doi.org/10.4322/rae.v19n2.e202506.en>
- Staab, V., Ramrath, M., Bačkalov, I., Athanassiou, G., & Liebherr, M. (2026). Mental workload in the maritime industry: A pre-registered systematic review of influencing factors. *WMU Journal of Maritime Affairs*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s13437-026-00420-0>
- Taheri, M. R., Mortazavi, S. B., Asilian, H., Ahmadi, O., & Sogandi, F. (2023). Investigating human error in iran's copper mines using the cream based on human cognitive reliability analysis. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 29(4), 1423–1428. <https://doi.org/10.1080/10803548.2022.2135259>
- Tanaka, K., Asami, K., Kasai, R., Sato, H., Uchibayashi, R., & Shigenaga, M. (2026). An ergonomic approach to medical safety training using augmented reality glasses: System design, cognitive-neuroscientific theoretical framework, and preliminary outcomes. *Theoretical and Applied Ergonomics*, 2(2), 10. <https://doi.org/10.3390/tae2020010>
- Trstenjak, M., Benešova, A., Opetuk, T., & Cajner, H. (2025). Human factors and ergonomics in Industry 5.0-a systematic literature review. *Applied Sciences*, 15(4), 2123. <https://doi.org/10.3390/app15042123>
- Vizcarra, A., Quiroz, G., & Cornejo, J. (2026). The impact of user interface and experience (UI/UX) design on visual ergonomics: A technical approach for reducing human error in industrial settings. *Designs*, 10(1), 8. <https://doi.org/10.3390/designs10010008>
- Wong, S. W., & Crowe, P. (2024). Cognitive ergonomics and robotic surgery. *Journal of Robotic Surgery*, 18(1), 110. <https://doi.org/10.1007/s11701-024-01852-7>
- Yao, Y., Han, T., & Li, D. (2026). Assistance or distraction? a cognitive ergonomics perspective on cognitive load during AI-assisted post-editing. *International Journal of Human-Computer Interaction*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10447318.2026.2628994>
- Yiu, C. Y., Ng, K. K. H., Li, Q., & Yuan, X. (2025). Gaze behaviours, situation awareness and cognitive workload of air traffic controllers in radar screen monitoring tasks with varying task complexity. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 31(2), 504–515. <https://doi.org/10.1080/10803548.2025.2453312>
- Zahmat Doost, E., & Zhang, W. (2023). Mental workload variations during different cognitive office tasks with social media interruptions. *Ergonomics*, 66(5), 592–608. <https://doi.org/10.1080/00140139.2022.2104381>

- Zhou, C., Qian, Y., Huang, T., Kaner, J., & Zhang, Y. (2022a). The impact of different age-friendly smart home interface styles on the interaction behavior of elderly users. *Frontiers in Psychology*, 13, 935202. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.935202>
- Zhou, C., Yuan, F., Huang, T., Zhang, Y., & Kaner, J. (2022b). The impact of interface design element features on task performance in older adults: Evidence from eye-tracking and EEG signals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9251. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159251>