Dari Kurikulum hingga Kompetensi: Kerangka Ekosistem Cerdas dalam Pendidikan Teknik Elektro

Andi Nur Faisal

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar,

Coprespondent Author : andi.nur.faisal@unm.ac.id

***Abstract* — The persistent gap between curriculum design and demonstrable competency remains a central problem in electrical engineering education, especially where laboratory access is constrained and assessment still privileges recall over authentic practice. This paper proposes a five-layer smart-ecosystem framework that traces an unbroken path from curriculum artifacts—program learning outcomes, course outcomes, lesson plans, and Indonesian National Work Competency Standards (SKKNI)—to individual competency evidence. The layers comprise (1) curriculum semantics and constructive alignment, (2) interactive instruction with an in-slide wiring laboratory, (3) blended authentic assessment, (4) domain-semantic circuit reasoning together with large-language-model diagnosis, and (5) stakeholder analytics that return skill-gap reports to learners, instructors, and industry. The Domain-Semantic Circuit Reasoning Engine (DSCRE) is already implemented as the diagnostic core of that wiring laboratory; a dedicated formal paper on the engine remains an unpublished manuscript. A working prototype of the framework was examined with nine vocational and higher-education practitioners across six cities and four institution types. Field evidence showed that only 14–33% of students actively wired during a typical laboratory session. The framework offers a transferable architecture for closing the curriculum–competency loop in electrical engineering education.**

***Keyword* — competency-based education, curriculum alignment, electrical engineering education, intelligent ecosystem, skill-gap analytics.**

Abstrak — Kesenjangan antara rancangan kurikulum dan kompetensi yang dapat dibuktikan tetap menjadi persoalan pokok pendidikan teknik elektro, terutama ketika akses laboratorium terbatas dan asesmen masih mengutamakan hapalan dibanding praktik autentik. Makalah ini mengusulkan kerangka ekosistem cerdas berlapis lima yang menelusuri jalur utuh dari artefak kurikulum—Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL), Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK), Rencana Pembelajaran Semester (RPS), dan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI)—hingga bukti kompetensi individu. Kelima lapisan itu meliputi (1) semantik kurikulum dan keselarasan konstruktif, (2) instruksi interaktif dengan laboratorium pengawatan di dalam slide, (3) asesmen autentik bauran, (4) penalaran rangkaian semantik-domain bersama diagnosis berbasis model bahasa besar, dan (5) analitik pemangku kepentingan yang mengembalikan laporan kesenjangan keterampilan kepada peserta didik, instruktur, dan industri. Domain-Semantic Circuit Reasoning Engine (DSCRE) sudah diimplementasikan sebagai inti diagnostik laboratorium pengawatan tersebut; naskah formal khusus mesin ini masih berupa draf dan belum dipublikasikan. Prototipe kerangka dikaji bersama sembilan praktisi vokasi dan pendidikan tinggi di enam kota dan empat jenis institusi. Temuan lapangan menunjukkan hanya 14–33% peserta didik yang aktif merangkai pada sesi praktikum tipikal. Kerangka ini menawarkan arsitektur yang dapat ditransfer untuk menutup putaran kurikulum–kompetensi dalam pendidikan teknik elektro.

Kata kunci — analisis kesenjangan kompetensi, ekosistem cerdas, keselarasan kurikulum, pendidikan berbasis kompetensi, pendidikan teknik elektro.

I. PENDAHULUAN

Pendidikan teknik elektro di Indonesia dirancang melalui rangkaian dokumen yang tampak lengkap: Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) pada level program, Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) pada level matakuliah, Rencana Pembelajaran Semester (RPS) pada level pertemuan, serta rujukan eksternal berupa Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) dan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI). Pada kertas, rantai itu seharusnya menghasilkan lulusan yang kompeten. Pada praktik, rantai itu sering putus di tengah jalan. Instruktur menyusun RPS yang menjanjikan kemampuan merangkai, menguji, dan mendiagnosis sistem kelistrikan, tetapi bukti yang dikumpulkan di kelas masih berupa kuis pilihan ganda, laporan praktikum yang disalin, dan observasi subjektif saat sebagian kecil mahasiswa mengantri alat [1], [2].

Putusnya rantai itu bukan semata-mata persoalan pedagogi. Validasi lapangan pada sembilan instruktur dan dosen teknik di enam kota (Makassar, Barru, Takalar, Poso, Sorong, dan jaringan politeknik) menunjukkan bahwa pada sesi praktikum tipikal hanya 4–5 dari 15–36 peserta didik yang benar-benar merangkai; sisanya menonton. Baseline kelulusan uji kompetensi berbasis SKKNI yang dilaporkan narasumber berada pada rentang 45–80% di SMK dan politeknik, dengan serapan kerja yang tidak otomatis mengikuti angka kelulusan. Industri mengonfirmasi gejala yang sama dari sisi pemberi kerja: pemahaman praktikum lulusan dinilai lemah pada wawancara teknis. Dengan kata lain, kurikulum telah menuliskan kompetensi, tetapi ekosistem pembelajaran belum menghasilkan bukti kompetensi yang setara.

Tiga kekosongan sistemik menjelaskan gejala tersebut. Pertama, keselarasan konstruktif antara capaian, aktivitas, dan asesmen [1], [3] jarang dioperasionalkan hingga level bukti kinerja individu. Kedua, asesmen autentik [4] untuk keterampilan merangkai—yang merupakan inti teknik elektro instalasi dan kendali motor—sulit diukur secara objektif, skalabel, dan sebanding antarsiswa. Ketiga, data

jejak belajar yang dihasilkan laboratorium fisik tidak tertangkap sebagai analitik pembelajaran [5], sehingga instruktur tidak memiliki peta kesenjangan kompetensi per indikator SKKNI.

Makalah ini mengusulkan kerangka ekosistem cerdas yang menutup putaran dari kurikulum hingga kompetensi. Kontribusi utamanya tiga. (1) Kerangka lima lapisan yang memetakan artefak kurikulum (CPL–CPMK–RPS–SKKNI) ke aktivitas, asesmen, penalaran domain, dan umpan balik pemangku kepentingan. (2) Penempatan mesin penalaran rangkaian semantik-domain (Domain-Semantic Circuit Reasoning Engine, DSCRE) sebagai inti diagnostik laboratorium pengawatan dalam kerangka tersebut, dilengkapi diagnosis berbasis model bahasa besar (large language model, LLM) untuk memetakan pola kesalahan ke indikator SKKNI. DSCRE sudah berjalan pada prototipe; formalisasi mesin dan evaluasi komparatifnya masih merupakan naskah draf tersendiri yang belum dipublikasikan, sehingga makalah ini tidak mengklaim DSCRE sebagai hasil terbit, melainkan sebagai mesin kerja di dalam ekosistem. (3) Validasi awal kerangka melalui kajian lapangan bersama sembilan praktisi. Kerangka ini tidak menggantikan kurikulum; ia membuat kurikulum dapat dijalankan, diukur, dan diperbaiki.

II. Kajian Puataka

A. Keselarasan Konstruktif dan Pendidikan Berbasis Kompetensi

Biggs menempatkan mutu pembelajaran pada keselarasan tiga elemen: capaian yang dinyatakan, aktivitas yang membuat mahasiswa mengerjakan capaian itu, dan asesmen yang benar-benar mengukur capaian tersebut [1], [3]. Spady merumuskan pendidikan berbasis hasil (outcome-based education) sebagai pengorganisasian seluruh sistem di sekitar apa yang harus dapat dilakukan lulusan [2]. Anderson dan Krathwohl memperhalus taksonomi Bloom sehingga capaian dapat ditulis sebagai proses kognitif atas pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif [6]. Dalam teknik elektro, capaian prosedural—misalnya merangkai starter bintang-segitiga sesuai IEC 60947—tidak dapat dibuktikan hanya dengan soal hapalan.

Di Indonesia, KKNI dan SKKNI menyediakan bahasa kompetensi nasional, sementara Peraturan Presiden Nomor 68 Tahun 2022 menempatkan revitalisasi vokasi sebagai agenda sistemik [7], [8]. Celah yang belum tertutup adalah jembatan operasional: bagaimana satu indikator SKKNI menjadi tugas merangkai, jejak kinerja, skor objektif, dan rekomendasi belajar—tanpa memutus keselarasan yang dijanjikan RPS.

B. Asesmen Autentik dan Laboratorium Teknik Elektro

Wiggins membedakan asesmen autentik dari ujian substitusi: tugas harus menyerupai tantangan profesional, menuntut kinerja, dan menghasilkan bukti yang dapat dinilai dengan rubrik [4]. Kolb menekankan bahwa kompetensi teknik tumbuh dari siklus pengalaman, refleksi, konseptualisasi, dan percobaan [9]. Felder dan Brent menunjukkan bahwa pembelajaran STEM yang efektif menuntut mahasiswa mengerjakan, bukan hanya menyaksikan [10].

Laboratorium fisik tetap tak tergantikan untuk keselamatan kerja, rasa komponen, dan disiplin instalasi. Namun laboratorium fisik bersifat antrian: alat terbatas, komponen rusak, dan pengadaan bahan dapat tertunda berbulan-bulan. Simulator domain seperti FluidSIM atau perangkat trainer proprietary membantu, tetapi umumnya terpisah dari RPS, LMS, dan bank soal, sehingga jejak kinerja tidak kembali ke peta kompetensi. Yang dibutuhkan bukan pengganti laboratorium, melainkan lapisan bukti yang dapat dikumpulkan setiap mahasiswa, setiap pertemuan, pada tugas yang semantiknya sama dengan pekerjaan lapangan.

C. Sistem Tutor Cerdas dan Analitik Pembelajaran

VanLehn merangkum bahwa sistem tutor cerdas yang memberi umpan balik langkah-demi-langkah mendekati efektivitas tutor manusia pada domain yang terstruktur [11]. Siemens menempatkan analitik pembelajaran sebagai disiplin yang mengubah jejak digital menjadi keputusan pedagogis [5]. Dalam pendidikan elektro, tantangan khususnya adalah representasi domain: rangkaian bukan teks bebas. Mesin yang menilai pengawatan harus memahami topologi, interlock, dan kelengkapan terminal, bukan hanya kemiripan gambar. Tanpa representasi domain, LLM cenderung memberi umpan balik generik yang tidak terikat indikator kompetensi.

Kajian di atas menuntun pada celah penelitian: belum ada kerangka yang secara eksplisit merangkaikan semantik kurikulum Indonesia (CPL/CPMK/SKKNI) dengan asesmen pengawatan yang dinilai mesin domain dan analitik kesenjangan kompetensi pada level individu. Makalah ini mengisi celah itu pada tataran kerangka dan prototipe

III. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan design science: artefak (kerangka dan prototipe) dirancang untuk memecahkan masalah kelas tertentu, kemudian dievaluasi melalui pengujian mesin dan kajian lapangan [12]. Langkah kerja meliputi empat tahap.

Pertama, elisitasi masalah. Wawancara semi-terstruktur dilakukan terhadap sembilan narasumber instruktur/dosen teknik (pengalaman 1–15 tahun, kelas 15–36 peserta, 5–10 unit trainer) di SMK, BLK, politeknik, dan universitas. Protokol menelusuri antrian alat, cara menilai praktikum,

rujukan SKKNI/Kurikulum Merdeka, dan kebutuhan data kompetensi individu.

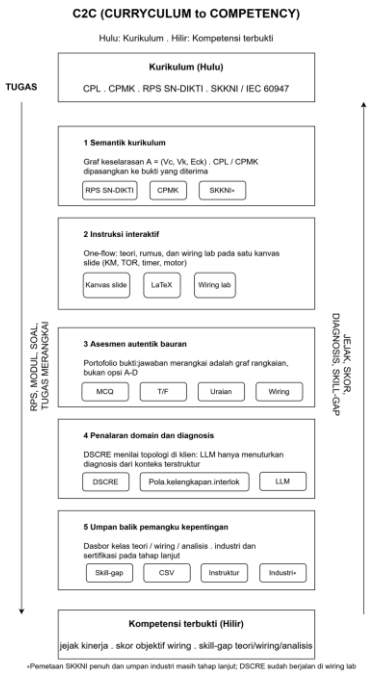
Kedua, perancangan kerangka. Artefak kurikulum (CPL, CPMK, RPS, unit SKKNI bidang ketenagalistrikan dan otomasi) dipetakan ke bukti asesmen. Prinsip keselarasan konstruktif [1] dipakai sebagai uji: setiap indikator kompetensi harus memiliki aktivitas, tugas, jejak, dan umpan balik.

Ketiga, implementasi prototipe. Lapisan instruksi, laboratorium pengawatan (wiring lab) di dalam slide, asesmen bauran, DSCRE, dan dasbor instruktur diwujudkan pada platform web (Angular pada klien, layanan NestJS pada peladen). DSCRE tertanam pada kanvas pengawatan: setiap perubahan sambungan memicu diagnosis topologi, kelengkapan terminal, dan kepatuhan interlock. Evaluasi kuantitatif mesin (korpus pola kendali motor IEC 60947) dicatat pada naskah draf DSCRE yang belum terbit dan tidak diulang sebagai klaim publikasi pada makalah ini.

Keempat, evaluasi awal. Temuan lapangan dipakai untuk menguji apakah kerangka menjawab tiga kekosongan (keselarasan, asesmen autentik, analitik). Evaluasi ini bersifat formatif; uji kuasi-eksperimen pre–post pada institusi mitra direncanakan sebagai langkah berikutnya dan tidak diklaim selesai pada makalah ini.

IV. Kerangka Ekosistem Cerdas

Kerangka yang diusulkan disebut C2C (Curriculum-to-Competency). Ia terdiri atas lima lapisan yang diikat oleh putaran umpan balik. Gambar 1 menempatkan kurikulum di hulu dan kompetensi terbukti di hilir; data mengalir ke bawah sebagai tugas, dan bukti mengalir ke atas sebagai diagnosis.



Gambar 1. Kerangka lima lapisan C2C: dari semantik kurikulum (CPL/CPMK/RPS/SKKNI) menuju bukti kompetensi individu melalui instruksi, wiring lab ber-DSCRE, asesmen, dan umpan balik pemangku kepentingan.

A. Lapisan Semantik Kurikulum

Lapisan ini menormalisasi artefak yang selama ini hidup di berkas terpisah. CPL program studi teknik elektro diuraikan menjadi CPMK matakuliah (misalnya Instalasi Motor Listrik, Sistem Kendali, atau Praktik Kerja Lapangan). Setiap CPMK dipasangkan pada unit dan elemen kompetensi SKKNI yang relevan, misalnya merangkai pengendali motor tiga fasa, memeriksa interlock, atau mendiagnosis gangguan starter. RPS tidak lagi berhenti pada “mahasiswa mampu merangkai”; ia menyatakan bukti yang diterima: topologi yang sah, urutan operasi yang aman, dan kelengkapan terminal.

Pemetaan disimpan sebagai graf keselarasan A = (Vc, Vk, Eck), dengan Vc himpunan capaian (CPL/CPMK), Vk himpunan indikator SKKNI, dan Eck relasi “capaian c dibuktikan oleh indikator k”. Relasi ini menjadi kontrak bagi ketiga lapisan di bawahnya: tidak ada aktivitas atau soal yang tidak tertaut pada paling sedikit satu simpul Vk.

B. Lapisan Instruksi Interaktif

Lapisan kedua mewujudkan RPS sebagai lingkungan kerja, bukan sebagai dokumen. Materi ajar, rumus, dan laboratorium pengawatan berada pada kanvas yang sama. Peserta didik membaca prinsip starter, lalu merangkai KM, TOR, timer, dan motor tanpa berpindah aplikasi. Pada titik inilah DSCRE bekerja sebagai mesin kerangka, bukan sebagai modul terpisah: setiap topologi yang terbentuk di wiring lab dinilai secara langsung. Jejak interaksi—urutan sambungan, terminal yang tertinggal, waktu per langkah, dan percobaan ulang—terekam sebagai data kinerja, bukan sebagai kehadiran belaka.

Prinsip desainnya adalah one-flow instruction: teori, rumus, dan praktik berbagi konteks spasial. Hal ini mengurangi gesekan kognitif perpindahan alat dan memungkinkan setiap mahasiswa merangkai, bukan mengantri.

C. Lapisan Asesmen Autentik Bauran

Asesmen dirancang sebagai portofolio bukti, bukan sebagai ujian tunggal. Empat tipe tugas dipakai secara bauran: pilihan ganda untuk pengetahuan konseptual, benar-salah untuk aturan keselamatan, uraian untuk justifikasi prosedur, dan tugas merangkai sebagai kinerja prosedural. Tugas merangkai adalah pembeda kerangka ini. Jawaban mahasiswa adalah graf rangkaian, bukan opsi A–D. Rubrik kinerja diturunkan langsung dari elemen SKKNI: kelengkapan daya, kelengkapan kendali, interlock, urutan operasi, dan keabsahan pola.

Dengan demikian, asesmen memenuhi uji autentik Wiggins [4] dan sekaligus uji keselarasan Biggs [1]: yang

diukur adalah apa yang dinyatakan CPMK, bukan substitusinya.

D. Lapisan Penalaran Domain dan Diagnosis

Lapisan keempat mengubah jawaban merangkai di wiring lab menjadi skor dan diagnosis. DSCRE sudah diimplementasikan pada prototipe kerangka ini; yang belum terbit adalah naskah formal yang merinci bukti ketuntasan, perbandingan algoritmik, dan korpus uji secara penuh. Secara operasional, mesin bekerja pada graf topologi berlabel pin $G(C)=(N,E,\lambda)$, dengan N komponen, E kawat, dan λ nama terminal (misalnya KM1:A1, M1:U1). Empat mekanisme dipakai. (1) Pemeriksaan sambungan yang invarians terhadap tata letak gambar, sehingga rangkaian yang benar secara listrik tidak gagal hanya karena posisi ikon berbeda. (2) Penyaring keras $\Phi(P,C)$ dengan skor keyakinan berbukti ganda untuk mencocokkan kandidat pola P pada rangkaian C. (3) Verifikator interlock dua lapis dengan logika bernilai tiga (TRUE/FALSE/UNKNOWN) agar pelanggaran keselamatan tidak disamarkan sebagai "hampir benar". (4) DSL rangkaian berhingga dengan tata bahasa BNF. Rincian bukti formal keempat mekanisme itu menjadi substansi draf paper DSCRE, bukan klaim terbit makalah ini.

Keluaran DSCRE pada wiring lab—pola terdeteksi, keyakinan, kelengkapan pengawatan, dan kepatuhan interlock—diteruskan ke mesin diagnosis LLM. LLM tidak menilai topologi dari gambar mentah; ia menerima konteks teknis terstruktur (tanpa data pribadi) lalu memetakan pola kesalahan ke indikator SKKNI dan menyusun jalur belajar personal. Pemisahan ini penting: kebenaran domain dihitung di laboratorium pengawatan oleh mesin yang sudah ada; narasi pedagogis dihasilkan model bahasa.

E. Lapisan Umpan Balik Pemangku Kepentingan

Tabel I merangkum kontrak keselarasan antarlapisan.

TABEL I
KONTRAK KESELARASAN DARI KURIKULUM HINGGA BUKTI KOMPETENSI

Lapisan	Masukan	Keluaran yang diikat capaian	Bukti kompetensi
Semantik kurikulum	CPL, CPMK, RPS, SKKNI	Graf keselarasan A	Indikator yang wajib dibuktikan
Instruksi interaktif	Modul + tugas merangkai	Jejak urutan, waktu, percobaan	Kinerja formatif per pertemuan
Asesmen bauran	Bank soal + tugas pengawatan	Skor per tipe tugas	Portofolio konseptual dan prosedural
Penalaran domain	Graf G(C) + konteks kesalahan	Pola, keyakinan, diagnosis SKKNI	Skor objektif tugas merangkai
Umpan balik	Agregat individu dan kelas	Skill-gap report, jalur personal	Keputusan pedagogis dan institusional

Lapisan kelima mengembalikan bukti kepada tiga audiens. Peserta didik menerima peta kompetensi per indikator dan modul remedial yang tertaut pada CPMK yang belum tercapai. Instruktur menerima dasbor sebaran kelas: siapa lemah pada interlock, siapa belum menguasai bintang-segitiga, siapa hanya gagal pada urutan timer. Industri dan lembaga sertifikasi, pada tahap lanjut, dapat memakai laporan kesenjangan sebagai sinyal kesiapan pra-rekrutmen atau pra-uji SKKNI. Putaran tertutup ini yang membuat kerangka disebut ekosistem, bukan sekadar media ajar: keluaran asesmen mengubah instruksi berikutnya dan, jika perlu, merinci ulang bobot RPS.

V. HASIL IMPLEMENTASI DAN VALIDASI AWAL

A. Prototipe yang Berjalan

Kelima lapisan diwujudkan pada prototipe web yang dapat diakses melalui peramban, tanpa perangkat laboratorium khusus pada sisi klien. Penyunting slide mendukung rumus (LaTeX) dan kanvas pengawatan pada alur yang sama. DSCRE berjalan sepenuhnya di klien sebagai mesin diagnostik wiring lab: mahasiswa merangkai, mesin membaca graf sambungan, lalu mengembalikan pola, kelengkapan, dan status interlock ke panel diagnosis. Penilaian tugas merangkai tidak memerlukan peladen komputasi khusus. Dasbor instruktur menampilkan sebaran capaian. Implementasi ini penting secara kerangka: ekosistem hanya "cerdas" jika jejak kinerja di laboratorium pengawatan dapat dihitung pada skala kelas, bukan hanya pada satu trainer.

B. Status Mesin Penalaran Rangkaian

Yang perlu dibedakan adalah status artefak. DSCRE adalah mesin yang sudah ada di dalam kerangka—khususnya pada laboratorium pengawatan—bukan rencana fitur. Naskah yang memformalkan mesin, merinci korpus uji pola kendali motor IEC 60947 (DOL, bintang-segitiga, maju-mundur, sekuensial, Dahlander), dan membandingkannya dengan penyaring kaidah masih berupa draf paper dan belum dipublikasikan. Karena itu, makalah kerangka ini tidak menampilkan angka akurasi atau F1 sebagai hasil terbit, dan tidak mengutip DSCRE sebagai referensi jurnal. Angka evaluasi internal akan dilaporkan pada naskah mesin tersebut setelah melalui tinjauan sejawat.

Keterbatasan yang relevan bagi kerangka tetap dapat dinyatakan. Cakupan diagnostik wiring lab saat ini berpusat pada kendali motor tiga fasa; instalasi bangunan, proteksi, dan elektronika daya belum masuk pada layanan yang sama. Generalisasi ke seluruh peta SKKNI teknik elektro memerlukan perluasan pola bersama instruktur, seiring finalisasi draf paper DSCRE.

C. Temuan Lapangan

Sembilan narasumber mengonfirmasi tiga premis kerangka. (1) Antrian alat bersifat struktural, bukan insidental: rasio peserta aktif merangkai 14–33% per sesi di SMK/politeknik. (2) Penilaian praktikum masih subjektif dan jarang tertaut indikator SKKNI per individu; hanya sebagian instruktur yang menyatakan RPS-nya selaras SKKNI/Kurikulum Merdeka tanpa penyesuaian. (3) Kebutuhan terhadap data kompetensi individu muncul dari sisi sekolah dan industri. Verbatim lapangan menegaskan biaya waktu: menunggu pengadaan bahan dapat berlangsung berbulan-bulan, sementara komponen rusak menghilangkan esensi praktikum [14], [15].

Sembilan dari sembilan narasumber menyatakan kesediaan sebagai pengguna awal, dengan catatan bahwa onboarding dan kesesuaian kurikulum lokal harus didampingi. Hal ini menempatkan kerangka sebagai kandidat adopsi, bukan sebagai klaim dampak kausal. Dampak kuantitatif (kenaikan kelulusan SKKNI, perubahan rasio 1:1 pada praktik, penurunan waktu produksi modul) ditetapkan sebagai KPI uji mitra dan belum diukur pada makalah ini.

D. Contoh Pemetaan Capaian

Sebagai ilustrasi, CPMK "mahasiswa mampu merangkai dan menjelaskan operasi starter bintang-segitiga sesuai kaidah keselamatan" dipetakan ke tiga bukti: (i) penjelasan urutan KM1–KM2–KM3 dan timer pada soal uraian, (ii) topologi sah pada tugas merangkai (kelengkapan daya R-S-T, koil, NC TOR, dan interlock), dan (iii) diagnosis kesalahan jika interlock NC antarkontaktor dihilangkan. DSCRE menolak rangkaian yang tampak "menyala" tetapi melanggar interlock (nilai FALSE pada verifikator keselamatan). Diagnosis LLM kemudian menautkan kegagalan itu pada indikator SKKNI tentang pengaman kendali, bukan pada indikator yang tidak terkait. Contoh ini menunjukkan fungsi kerangka: kurikulum tidak hanya ditulis; ia diuji pada artefak kinerja.

VI. DISKUSI

C2C membedakan diri dari LMS generik dan dari simulator domain terpisah. LMS generik unggul pada distribusi materi dan kuis, tetapi tidak memiliki semantik rangkaian. Simulator domain unggul pada fidelity listrik, tetapi jarang mengembalikan skor ke RPS dan SKKNI. Kerangka ini menempatkan keduanya dalam satu kontrak keselarasan, dengan DSCRE sebagai mesin yang sudah tertanam di wiring lab. Kecerdasan sistem bukan pada kehadiran LLM semata, melainkan pada pemisahan tanggung jawab: kebenaran topologi dihitung di laboratorium pengawatan, narasi pedagogis dihasilkan, dan keputusan kelas dikembalikan ke capaian yang semula ditulis instruktur. Naskah formal mesin itu masih draf; yang sudah tersedia bagi kerangka adalah layanannya.

Implikasi praktisnya tiga. Bagi program studi, RPS dapat diaudit: CPMK tanpa bukti merangkai akan terlihat sebagai simpul Vc yang tidak berelasi ke tugas. Bagi instruktur, dasbor mengganti kesan "kelas sudah paham" dengan sebaran indikator. Bagi kebijakan vokasi [7], data kompetensi individu yang sebanding antarsiswa—bukan hanya berita acara praktikum—menjadi masukan revitalisasi yang dapat diperiksa.

Risiko juga nyata. Pertama, bias representasi: jika korpus DSCRE miskin pola, asesmen akan condong pada apa yang dapat dinilai mesin, bukan pada apa yang dibutuhkan industri. Kedua, ketergantungan LLM pada pemetaan indikator memerlukan validasi instruktur; kesalahan diagnosis kompetensi lebih berbahaya daripada kesalahan ejaan umpan balik. Ketiga, laboratorium virtual tidak menggantikan disiplin keselamatan kerja di panel nyata. Kerangka ini dirancang sebagai pelengkap bukti, bukan sebagai substitusi penuh bengkel.

Secara metodologis, makalah ini masih berada pada evaluasi formatif kerangka. Klaim yang sah adalah kelayakan C2C dan keberadaan DSCRE sebagai mesin kerja di wiring lab; klaim yang belum sah adalah penurunan mismatch kompetensi secara kausal, maupun angka kinerja mesin sebagai hasil jurnal. Uji mitra dengan prates–pascates SKKNI pada paling sedikit satu SMK elektro, satu BLK, dan satu politeknik, serta publikasi naskah DSCRE, merupakan agenda berikutnya.

VII. KESIMPULAN

Makalah ini merumuskan kerangka ekosistem cerdas yang menutup jalur dari kurikulum hingga kompetensi dalam pendidikan teknik elektro. Lima lapisan—semantik kurikulum, instruksi interaktif, asesmen autentik bauran, penalaran domain plus diagnosis, dan umpan balik pemangku kepentingan — mengikat CPL / CPMK / RPS / SKKNI pada bukti kinerja individu. DSCRE sudah menjadi mesin diagnostik laboratorium pengawatan dalam kerangka itu; naskah formalnya masih draf dan belum dipublikasikan. Kajian lapangan menegaskan bahwa antrian alat dan ketiadaan peta kompetensi individu adalah kekosongan nyata, bukan anekdot. Pekerjaan lanjutan meliputi publikasi formal DSCRE, perluasan pola wiring lab ke instalasi dan proteksi, validasi bersama instruktur atas pemetaan LLM–SKKNI, serta uji dampak pada kelulusan kompetensi di institusi mitra. Kurikulum yang baik menuliskan kompetensi; ekosistem yang baik membuat kompetensi itu dapat dikerjakan, diukur, dan diperbaiki.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada instruktur dan dosen teknik di SMK, BLK, politeknik, dan industri yang berbagi praktik pembelajaran serta kendala laboratorium pada kajian lapangan, dan kepada kolega Jurusan Teknik Elektro

Universitas Negeri Makassar atas diskusi perancangan kerangka.

DAFTAR ACUAN

[1] J. Biggs, "Enhancing teaching through constructive alignment," Higher Educatio*n, vol. 32, no. 3,* pp. 347–364, Oct. 1996.

[2] W. G. Spady, Ou*tcome-Based Education: Critical Issues and Answers. Arlingt*on, VA: American Association of School Administrators, 1994.

[3] J. Biggs and C. Tang, *Teaching for Quality Learning at University, 4t*h ed. Maidenhead, U.K.: Open Univ. Press, 2011.

[4] G. Wiggins, "The case for authentic assessment," *Practical Assessment, Research, and Evaluation, vol.* 2, no. 2, 1990.

[5] G. Siemens, "Learning analytics: The emergence of a discipline," *American Behavioral Scientist,* vol. 57, no. 10, pp. 1380–1400, 2013.

[6] L. W. Anderson and D. R. Krathwohl, Eds., *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. New York,* NY: Longman, 2001.

[7] Pemerintah Republik Indonesia*, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Vokasi.* Jakarta, 2022.

[8] Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia, *Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 631 Tahun 2016 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Kategori Industri Pengolahan Golongan Pokok Industri Mesin dan Perlengkapan yang Tidak Diklasifikasikan di Tempat Lain (YTDL) Bidang Otomasi Industri*. Jakarta, 2016.

[9] D. A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. E*nglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.

[10] R. M. Felder and R. Brent*, Teaching and Learning STEM: A Practical Guid*e. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2016.

[11] K. VanLehn, "The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems," *Educational Psychologist,* vol. 46, no. 4, pp. 197–221, 2011.

[12] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design science in information systems researc*h," MIS Quarte*rly, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, Mar. 2004.

[13] IEC 60947-4-1*, Low-voltage switchgear and controlgear—Part 4-1: Contactors and motor-starters—Electromechanical contactors and motor-starters.* Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2018.

[14] Badan Pusat Statisti*k, Keadaan Ketenagakerjaan Indonesi*a. Jakarta, Indonesia: BPS, 2025.

[15] UNESCO-UNEVOC*, Promoting quality in TVET using technology: A practical gui*de. Bonn, Germany: UNESCO-UNEVOC International Centre, 2020.