



Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMK Elektro dalam Menyelesaikan Kasus Hukum Ohm dan Kirchhoff

Fuad Rohmansyah*, Sukiyanto

Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

e-mail korespondensi: *fuadrohmansyah81@gmail.com, sukiyanto.math@ustjogja.ac.id

Abstrak. Kemampuan pemecahan masalah matematis merupakan kompetensi tingkat tinggi (*Higher-Order Thinking Skills*) yang krusial bagi siswa SMK rumpun elektro untuk mentransisikan teori ke ranah praktik. Penelitian deskriptif kualitatif ini bertujuan untuk menganalisis, memetakan, dan mendeskripsikan secara mendalam profil kemampuan pemecahan masalah matematis serta bentuk kesalahan kognitif siswa dalam menyelesaikan kasus Hukum Ohm dan Kirchhoff. Subjek penelitian melibatkan siswa kelas XI Kompetensi Keahlian Teknik Instalasi Tenaga Listrik di wilayah Jakarta Pusat, di mana 6 subjek dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan klaster kemampuan (tinggi, sedang, rendah) untuk diwawancarai secara klinis. Instrumen yang digunakan meliputi Tes Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis (TKPMM) berbentuk soal uraian kontekstual-teknik dan pedoman wawancara mendalam, dengan validitas data diuji melalui triangulasi metode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mayoritas siswa (50%) berada pada kategori kemampuan yang rendah. Hambatan kognitif terbesar siswa ditemukan pada tahap merencanakan penyelesaian berupa kelemahan *mathematical transfer* saat mengubah skema rangkaian dua *loop* menjadi model aljabar formal. Selain itu, kegagalan terjadi pada tahap melaksanakan rencana akibat ketidak telitian prosedur komputasi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV). Tidak ada siswa (0%) yang melakukan tahap metakognisi memeriksa kembali hasil pengerjaannya. Kelebihan penelitian ini terletak pada analisis diagnostik struktural berbasis tahapan Polya yang diintegrasikan langsung pada materi kejuruan, sementara kekurangannya terbatas pada lokus penelitian yang sempit. Pengembangan selanjutnya direkomendasikan pada penerapan perangkat intervensi seperti modul matematika bilingual integratif berbasis teknik.

Kata kunci: Hukum Kirchhoff, Hukum Ohm, Pemecahan masalah matematis, Siswa SMK Elektro, SPLDV

Abstract. *Mathematical problem-solving ability is a crucial Higher-Order Thinking Skill (HOTS) for electrical vocational high school (SMK) students to transition theory into practice. This descriptive qualitative study aims to analyze, map, and describe in depth the profile of mathematical problem-solving skills and the types of cognitive errors made by students when solving Ohm's and Kirchhoff's Law problems. The subjects involved Eleventh-grade Electrical Power Installation Engineering students in Central Jakarta, from which 6 subjects were selected using purposive sampling based on ability clusters (high, medium, low) for clinical interviews. The instruments used included a technical-contextual essay test on Mathematical Problem-Solving Ability (TKPMM) and an in-depth interview guide, with data validity ensured through method triangulation. The results indicated that the majority of students (50%) fell into the low-ability category. The most significant cognitive obstacle occurred during the planning stage, characterized by weak mathematical transfer when transforming a two-loop circuit diagram into a formal algebraic model. Furthermore, failures occurred during the execution stage due to procedural inaccuracies in solving Systems of Linear Equations in Two Variables (SPLDV). None of the students (0%) performed the metacognitive stage of looking back at their work. The strength of this study lies in its Polya-stage-based structural diagnostic analysis directly integrated into vocational content, while its limitation is its narrow geographical locus. Future development recommends implementing intervention tools, such as integrative technical-based bilingual mathematics modules.*

How to cite:

Rohmansyah, F., & Sukiyanto. (2026). Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMK Elektro dalam Menyelesaikan Kasus Hukum Ohm dan Kirchhoff. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika, Universitas Mulawarman*, Vol. 6, Hal. 13-32





Keywords: *Electrical SMK Students, Kirchhoff's Law, Mathematical Problem-Solving, Ohm's Law, SPLDV*

Pendahuluan

Matematika merupakan fondasi utama dalam ilmu rekayasa dan teknologi, khususnya pada bidang teknik elektro. Kemampuan pemecahan masalah matematis bukan sekadar keterampilan teoritis, melainkan instrumen kognitif vital yang digunakan siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) untuk menerjemahkan, menganalisis, dan menyelesaikan fenomena fisik menjadi model matematis yang terukur. Di dalam kurikulum SMK kompetensi keahlian Teknik Elektronika atau Ketenagalistrikan, penguasaan terhadap Hukum Ohm ($V = I \times R$) dan Hukum Kirchhoff ($\Sigma I_{in} = \Sigma I_{out}$ dan $\Sigma V = 0$) merupakan kompetensi mutlak. Memecahkan kasus rangkaian listrik kompleks menuntut siswa tidak hanya menghafal rumus, tetapi juga memiliki kemampuan representasi, perencanaan strategi, dan eksekusi aljabar secara presisi. Kegagalan dalam mengorelasikan konsep matematika dengan aplikasi kelistrikan berakibat pada rendahnya kesiapan kerja lulusan di sektor industri modern.

Fenomena rendahnya kemampuan pemecahan masalah matematis dalam domain teknik ini terjadi secara masif dari skala global hingga lokal. Secara internasional, studi Tren dalam Prestasi Matematika dan Sains Internasional (TIMSS) serta laporan OECD menunjukkan bahwa rata-rata 38% siswa vokasi di negara-negara berkembang mengalami kegagalan sistematis dalam mentransfer konsep aljabar linear ke dalam analisis rangkaian listrik DC (Davis & Miller, 2022). Secara nasional, data dari Pusat Asesmen Pendidikan Kemendikbudristek mengindikasikan bahwa sekitar 42.5% siswa SMK rumpun teknologi di Indonesia masih berada di bawah kategori cakap dalam menyelesaikan soal numerasi berbasis konteks teknik, di mana kesalahan terbesar (48%) terletak pada ketidakmampuan menerapkan prinsip matematika untuk memecahkan kasus hukum Kirchhoff pada rangkaian bercabang (Pratama & Utami, 2023). Sementara itu, secara regional di daerah Jakarta Pusat, berdasarkan pra-riset dan data musyawarah guru mata pelajaran (MGMP), tercatat sebesar 51.3% siswa kelas XI SMK bidang keahlian elektro mengalami miskonsepsi akut dan kegagalan matematis saat menghitung kuat arus dan tegangan pada analisis *loop* (Suryadi dkk., 2024). Sebanyak 55% dari total siswa yang gagal tersebut tidak mampu menyusun Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) yang diturunkan dari Hukum Kirchhoff II.

Penelitian ini menjadi sangat mendesak untuk dilakukan mengingat era industri 4.0 dan Society 5.0 menuntut teknisi elektro yang memiliki kemampuan *Higher-Order Thinking Skills* (HOTS), di mana pemecahan masalah (Analisis Kasus) adalah motor utamanya. Jika kelemahan matematis siswa SMK elektro dalam mengaplikasikan Hukum Ohm dan Kirchhoff terus dibiarkan tanpa adanya pemetaan matematis yang akurat, maka kualitas kompetensi kelistrikan siswa akan stagnan. Dampak fatalnya adalah penurunan daya saing lulusan SMK di pasar kerja, tingginya angka *error* pada praktik laboratorium, serta kegagalan adaptasi siswa terhadap teknologi otomasi industri yang berbasis pada perhitungan matematis kompleks.

Meskipun riset mengenai kemampuan pemecahan masalah matematis telah banyak dilakukan, sebagian besar literatur terdahulu masih berfokus pada siswa sekolah menengah umum (SMA) dalam konteks matematika murni atau abstrak (Wulandari & Setiawan, 2023). Riset yang mengeksplorasi kemampuan pemecahan masalah matematis pada ranah vokasi



umumnya hanya melihat hasil akhir belajar (Nugroho, 2022) atau terbatas pada materi matematika dasar secara terpisah. Masih sangat jarang ditemukan penelitian yang secara spesifik dan mendalam membedah diagnosis kesalahan matematis siswa SMK Elektro ketika dihadapkan langsung pada integrasi hukum fisika terapan (Hukum Ohm dan Kirchhoff), yang sejatinya merupakan core competency mereka.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pendekatan analisisnya yang mengintegrasikan secara simultan indikator pemecahan masalah matematis (misalnya tahapan Polya atau Krulik-Rudnick) langsung ke dalam pemecahan kasus otentik kelistrikan (Hukum Ohm dan Kirchhoff), bukan soal matematika konvensional. Selain itu, kebaruan penelitian ini juga diperkuat oleh fokus lokus dan subjek spesifik pada karakteristik siswa SMK Elektro di wilayah urban Jakarta Pusat, yang menghadapi tekanan dualisme kurikulum antara tuntutan akademis numerasi dan kebutuhan praktikal industri lokal yang dinamis.

Atas dasar pertimbangan tersebut, judul "*Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMK Elektro dalam Menyelesaikan Kasus Hukum Ohm dan Kirchhoff*" dipilih karena judul ini secara presisi mampu menjembatani dikotomi antara matematika sebagai ilmu alat dan teknik elektro sebagai ilmu terapan. Melalui judul ini, peneliti dapat mendiagnosis secara struktural di mana letak hambatan kognitif siswa apakah pada tahap memahami konsep kelistrikan, mentransformasikannya ke dalam model matematika, atau pada proses komputasi aljabarnya sehingga hasilnya dapat menjadi rekomendasi strategis bagi pendidik untuk menyusun modul ajar matematika bilingual berbasis teknik yang integratif di masa depan.

Kemampuan pemecahan masalah matematis merupakan salah satu kompetensi paling krusial yang harus dimiliki oleh siswa dalam pembelajaran matematika modern, khususnya pada jenjang pendidikan vokasi. Keterampilan ini tidak lagi dipandang sebagai aktivitas mekanistik untuk menemukan jawaban akhir dari suatu operasi hitung, melainkan sebagai sebuah proses kognitif kompleks yang melibatkan rekonstruksi pengetahuan terstruktur. Menurut Rahmawati dan Kurniawan (2023), pemecahan masalah matematis adalah kapasitas individu dalam mengidentifikasi masalah, menentukan esensi kesenjangan yang ada, serta memilih strategi yang tepat ketika solusi instan tidak langsung terlihat. Pada konteks siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) elektro, kemampuan ini menjadi jembatan berpikir yang mendasar agar mereka tidak sekadar menjadi operator mesin, melainkan pemecah masalah teknis yang andal di dunia kerja.

Dalam spektrum kognitif modern, pemecahan masalah matematis diklasifikasikan secara tegas sebagai bagian dari *Higher-Order Thinking Skills* (HOTS) atau keterampilan berpikir tingkat tinggi. Kompetensi ini menuntut aktivitas mental yang berada pada level menganalisis (C4), mengevaluasi (C5), dan menciptakan (C6) dalam taksonomi Bloom yang telah direvisi. Sari dan Wijaya (2024) menegaskan bahwa karakteristik utama dari tugas-tugas berbasis HOTS dalam matematika adalah sifatnya yang non-rutin, kompleks, dan membutuhkan konseptualisasi yang mendalam. Ketika siswa dihadapkan pada skema rangkaian listrik terapan, mereka dipaksa untuk mengaktifkan seluruh komponen kognitif tinggi tersebut guna mengurai ketidakpastian matematis yang melekat pada fenomena fisik arus dan tegangan.

Oleh karena itu, esensi dari pemecahan masalah matematis sangat bertolak belakang dengan praktik latihan soal konvensional yang bersifat rutin (*routine drills*). Latihan rutin cenderung hanya melatih memori jangka pendek (*short-term memory*) dan kemampuan



prosedural dangkal, di mana siswa sekadar memasukkan angka ke dalam rumus yang sudah dihafal tanpa memahami maknanya. Sebaliknya, Lestari dkk. (2022) berpendapat bahwa pemecahan masalah menuntut adanya tantangan intelektual nyata di mana prosedur penyelesaiannya belum diketahui secara algoritmik oleh siswa sejak awal. Melalui penyelesaian masalah non-rutin, struktur skema berpikir siswa dipaksa untuk mengalami reorganisasi adaptif guna menghadapi tingkat kompleksitas soal yang lebih tinggi.

Pembeda utama antara pemecahan masalah sejati dan latihan soal mekanistik terletak pada keaslian konteks serta keterbukaan (*open-endedness*) dari stimulus masalah yang diberikan. Pada *routine drills*, masalah biasanya disajikan dalam bentuk yang steril dan langsung mengarah pada satu operasi aritmatika tunggal. Namun, dalam pendekatan pemecahan masalah otentik, masalah dibungkus dalam narasi situasi dunia nyata yang membutuhkan penyaringan informasi. Pratama (2025) menambahkan bahwa siswa yang terbiasa dengan latihan rutin akan langsung mengalami kebuntuan kognitif saat struktur soal diubah sedikit dari contoh, karena mereka kehilangan kemampuan fleksibilitas matematis yang menjadi ciri khas utama dari performa HOTS.

Bagi siswa SMK elektro, kegagalan dalam menggeser paradigma belajar dari *routine drills* menuju pemecahan masalah berbasis HOTS akan berakibat fatal pada kompetensi profesional mereka. Fenomena kerusakan komponen atau malfungsi sirkuit di lapangan industri tidak pernah muncul dalam format buku teks matematika murni yang rapi. Ramadhan dan Siregar (2023) menjelaskan bahwa penyelesaian kasus kelistrikan di dunia nyata selalu membutuhkan penalaran divergen untuk mendeteksi variabel tersembunyi. Siswa harus mampu mentransfer abstraksi aljabar ke dalam penalaran logis fungsional agar tindakan pemecahan masalah teknik yang diambil di bengkel kerja dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan matematis.

Secara filosofis, mengintegrasikan pemecahan masalah sebagai kompetensi HOTS di dalam kelas matematika berarti memberikan ruang bagi siswa untuk membangun kemandirian berpikir (*intellectual autonomy*). Proses ini menuntut siswa untuk berani mengambil keputusan logis, melakukan eksperimentasi strategi, serta merefleksikan efisiensi dari jalur penyelesaian yang mereka pilih sendiri. Utami dan Handayani (2024) menyimpulkan bahwa penguasaan kemampuan pemecahan masalah matematis tingkat tinggi pada akhirnya akan membentuk pola pikir komputasional yang tangguh. Pola pikir inilah yang menjadi modalitas utama bagi lulusan pendidikan vokasi teknis untuk bertahan dan beradaptasi di tengah derasnya arus otomatisasi dan digitalisasi industri yang serba cepat.

Untuk mengukur dan mendiagnosis kemampuan pemecahan masalah matematis siswa secara terstruktur, diperlukan instrumen indikator yang memiliki tahapan operasional yang jelas. Penelitian ini mengadopsi kerangka kerja pemecahan masalah yang dikembangkan oleh George Polya, yang hingga kini tetap menjadi standar emas dalam riset pendidikan matematika global. Tahapan Polya membagi proses penyelesaian masalah menjadi empat fase berurutan yang bersifat linier namun dinamis. Menurut Hidayat dan Saputra (2023), keunggulan utama dari tahapan Polya terletak pada kesederhanaan strukturnya yang secara radikal mampu memetakan letak transisi kognitif siswa, mulai dari penerimaan stimulus teks visual hingga evaluasi hasil komputasi akhir.

Tahap pertama dalam indikator Polya adalah memahami masalah (*understanding the problem*). Pada fase krusial ini, siswa dituntut untuk mampu mengidentifikasi, memilah, dan



merumuskan informasi apa saja yang telah diberikan oleh soal (data yang diketahui) serta apa yang menjadi tujuan akhir pengerjaan (data yang ditanyakan). Wibowo (2024) menjelaskan bahwa dalam konteks matematika teknik, manifestasi dari tahap memahami masalah ini tercermin saat siswa mampu mengekstrak nilai hambatan, kuat arus, maupun tegangan dari diagram skematis kelistrikan. Kegagalan pada tahap awal ini secara otomatis akan memutus rantai penalaran berikutnya, karena siswa tidak memiliki landasan data yang valid untuk melangkah ke fase selanjutnya.

Tahap kedua adalah merencanakan strategi penyelesaian (*devising a plan*). Fase ini merupakan inti dari aktivitas berpikir tingkat tinggi, di mana siswa harus menemukan benang merah yang menghubungkan antara data yang diketahui dengan data yang dicari. Siswa dituntut memilih teorema, mengaitkan konsep prasyarat, serta menyusun model matematika yang relevan dari masalah tersebut. Dalam studi yang dilakukan oleh Nugraha dan Fitriani (2022), disebutkan bahwa merencanakan strategi menuntut kreativitas kognitif tingkat tinggi karena siswa harus mentransformasikan bahasa verbal atau representasi gambar fisik rangkaian menjadi persamaan aljabar linear formal, seperti menyusun formulasi Hukum Kirchhoff ke dalam bentuk matriks atau SPLDV.

Tahap ketiga dalam indikator Polya adalah melaksanakan rencana (*carrying out the plan*). Setelah model matematika atau rencana penyelesaian berhasil disusun secara teoretis, siswa harus mengeksekusi rencana tersebut menggunakan prosedur aljabar, kalkulasi aritmatika, atau substitusi variabel secara presisi. Kesuksesan pada tahap ini sangat bergantung pada tingkat pemahaman prosedural dan kemampuan manipulasi aljabar dasar yang dimiliki siswa. Kusuma dkk. (2025) menegaskan bahwa pada fase ini, hambatan yang sering muncul bukan lagi berupa miskonsepsi fisik, melainkan kegagalan mekanis dalam hitungan komputasi, ketidaktelitian tanda operasi bilangan, atau kecerobohan prosedural saat melakukan teknik eliminasi.

Tahap keempat, yang sekaligus menjadi fase penutup yang paling sering diabaikan oleh siswa, adalah memeriksa kembali proses dan hasil (*looking back*). Tahap metakognitif ini mengharuskan siswa untuk meninjau ulang validitas dari seluruh langkah yang telah dikerjakan, menguji konsistensi jawaban dengan mensubstitusikan kembali nilai variabel ke persamaan awal, serta memastikan kelogisan interpretasi hasil. Gunawan (2023) menyatakan bahwa proses *looking back* melatih siswa untuk bersikap kritis terhadap hasil pemikiran mereka sendiri. Pada pemecahan kasus elektro, memeriksa kembali juga mencakup ketepatan penyematan satuan metrik internasional seperti Volt, Ampere, atau Ohm, yang merepresentasikan makna fisik dari angka matematika yang ditemukan.

Secara integratif, keempat indikator Polya ini membentuk satu kesatuan sistem penilaian diagnostik yang kokoh dalam riset kualitatif ini. Dengan menggunakan pisau analisis Polya, peneliti tidak sekadar memberikan penilaian biner berupa benar atau salah terhadap hasil pekerjaan siswa, tetapi dapat menelusuri secara spesifik pada koordinat fase mana hambatan kognitif siswa SMK mulai terjadi. Menurut Arifin dan Lestari (2024), struktur Polya memberikan kejelasan visual bagi peneliti untuk membedakan antara siswa yang mengalami cacat konsep pada tahap awal perencanaan dengan siswa yang hanya mengalami kecerobohan teknis pada tahap pelaksanaan kalkulasi, sehingga rekomendasi pedagogis yang dihasilkan menjadi jauh lebih akurat.



Kemampuan pemecahan masalah matematis tidak tumbuh dalam ruang hampa kognitif yang seragam, melainkan bervariasi secara signifikan antar-individu siswa karena dipengaruhi oleh konvergensi berbagai faktor internal dan eksternal. Perbedaan performa ini tidak dapat secara simplistik diatribusikan hanya pada tingkat kecerdasan umum (*general intelligence*) siswa semata. Penelitian terbaru dalam psikologi pendidikan matematika menunjukkan adanya interaksi kompleks antara kesiapan kapasitas linguistik-numerik dengan kondisi afektif psikologis siswa saat menghadapi masalah kompleks. Fajri dan Rahayu (2023) mengemukakan bahwa variasi kemampuan pemecahan masalah berakar dari bagaimana siswa mengelola beban kognitif (*cognitive load*) mereka sewaktu mentransisikan informasi abstrak menjadi langkah-langkah solutif.

Salah satu faktor kognitif fundamental yang paling dominan mempengaruhi kemampuan ini adalah tingkat kemampuan literasi-numerasi siswa. Literasi-numerasi bukan sekadar keterampilan menghitung angka secara cepat, melainkan kemampuan komprehensif untuk menginterpretasikan teks bacaan, memahami grafik, serta mengaplikasikan konsep bilangan dalam situasi kehidupan nyata yang dinamis. Menurut Wardani dkk. (2024), kelemahan dalam literasi numerasi berakibat pada kegagalan performa pemecahan masalah sejak tahapan paling awal, karena siswa tidak mampu mengurai arti dari kalimat soal cerita yang panjang atau instruksi teknis yang kompleks. Di ranah SMK elektro, literasi-numerasi yang rendah membuat siswa gagal membaca pola matematis implisit yang tersembunyi di balik simbol-simbol komponen kelistrikan pada lembar penugasan.

Di samping faktor kognitif murni, dimensi afektif berupa kecemasan matematis (*math anxiety*) memegang peranan yang tidak kalah destruktif dalam menekan pencapaian kemampuan pemecahan masalah siswa. Kecemasan matematis diidentifikasi sebagai perasaan tegang, takut, dan gelisah yang muncul secara spesifik ketika seseorang dihadapkan pada tuntutan manipulasi angka atau penyelesaian masalah matematika, baik dalam situasi akademik maupun kehidupan sehari-hari. Saputri dan Maryono (2022) menemukan bahwa tingkat kecemasan matematis yang tinggi berkorelasi negatif secara signifikan dengan efisiensi kerja memori (*working memory*). Ketika siswa didera rasa cemas yang akut, kapasitas memori kerja mereka tersita untuk memproses emosi negatif tersebut, sehingga ruang kognitif yang tersisa untuk memikirkan strategi pemecahan masalah menjadi sangat menyusut.

Dampak buruk dari kecemasan matematis ini menjadi berlipat ganda ketika siswa SMK Elektro dihadapkan pada materi fisika terapan seperti Hukum Ohm dan Kirchhoff yang menuntut ketelitian ganda. Siswa tidak hanya cemas terhadap kerumitan angka dan variabel aljabar, tetapi juga cemas terhadap konsekuensi kesalahan teknis yang berpotensi merusak alat praktik laboratorium. Prasetyo (2025) melaporkan bahwa *math anxiety* yang kronis memicu perilaku *avoidance* (penghindaran kognitif) di mana siswa cenderung langsung menyerah atau mengosongkan lembar jawaban sebelum mencoba mengeksplorasi strategi penyelesaian. Kondisi mental yang defensif ini menghambat terbentuknya ketahanan matematis (*mathematical resilience*) yang sangat dibutuhkan untuk mengarungi langkah pengerjaan soal HOTS yang panjang.

Selain itu, interaksi timbal balik antara literasi-numerasi dan kecemasan matematis menciptakan lingkaran setan (*vicious cycle*) kognitif yang memperlebar kesenjangan kemampuan antar-siswa di dalam kelas. Siswa dengan kecakapan literasi-numerasi yang rendah cenderung lebih rentan mengalami kecemasan matematis yang tinggi karena mereka



merasa tidak memiliki "senjata" yang cukup untuk mengurai kompleksitas soal. Sebaliknya, menurut Santoso dan Sulistiyowati (2023), kecemasan yang tinggi yang dibiarkan tanpa intervensi klinis lambat laun akan mengikis rasa percaya diri matematis (*mathematical self-efficacy*) siswa, yang pada gilirannya menurunkan motivasi mereka untuk mengasah kemampuan numerasinya lebih lanjut. Hal inilah yang menjelaskan mengapa distribusi kemampuan pemecahan masalah di tingkat SMK Elektro daerah urban cenderung mengalami polarisasi yang ekstrem.

Pada akhirnya, pemahaman yang mendalam mengenai faktor-faktor multidimensional ini memberikan landasan teoretis yang kuat bagi peneliti untuk melakukan analisis kesalahan secara objektif. Variasi capaian siswa pada kategori tinggi, sedang, dan rendah pada dasarnya merupakan cerminan dari sejauh mana mereka mampu mengoptimalkan kemampuan literasi-numerasinya di bawah kendali emosi afektif yang stabil. Anwar (2024) menyimpulkan bahwa pendidik tidak dapat mengintervensi kemampuan pemecahan masalah secara parsial; perbaikan kemampuan numerasi struktural harus berjalan beriringan dengan penciptaan iklim pembelajaran matematika terapan yang inklusif dan rendah tekanan guna mereduksi kecemasan matematis siswa hingga ke titik minimal.

Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) rumpun Teknologi dan Rekayasa dirancang secara spesifik untuk membekali siswa dengan keterampilan praktis yang adaptif terhadap kebutuhan dunia kerja. Di dalam struktur kurikulum ini, mata pelajaran matematika tidak berdiri sebagai disiplin ilmu mandiri yang abstrak, melainkan diorientasikan menjadi matematika terapan. Muatan materi yang diajarkan dituntut memiliki keterkaitan fungsional yang erat dengan mata pelajaran produktif di bengkel atau laboratorium. Triana dan Suparman (2023) menyatakan bahwa restrukturisasi kurikulum matematika di SMK rumpun teknik harus menekankan pada kegunaan praktisnya, di mana materi kalkulus dasar, aljabar, dan vektor diajarkan sebagai penunjang langsung bagi kompetensi kejuruan siswa.

Dalam konteks operasional pendidikan vokasi, matematika mengemban peran krusial sebagai "ilmu alat" (*tool sciences*). Predikat ini menegaskan bahwa matematika merupakan instrumen atau perangkat kognitif yang digunakan untuk mengurai, memodelkan, dan memecahkan fenomena-fenomena fisik yang dipelajari dalam ilmu teknik. Tanpa penguasaan matematika sebagai ilmu alat, siswa akan mengalami kesulitan besar dalam memahami hukum-hukum mekanika, termodinamika, maupun fluida. Menurut Wijaya dkk. (2024), menempatkan matematika sebagai ilmu alat berarti pendidik harus mampu mengubah orientasi belajar siswa, dari yang semula berfokus pada pembuktian rumus matematis murni menjadi fokus pada penerapan rumus tersebut untuk memecahkan problem teknik yang nyata.

Peran matematika sebagai ilmu alat ini terlihat secara gamblang dan mutlak pada kompetensi keahlian Teknik Elektronika dan Ketenagalistrikan. Sifat arus listrik yang tidak kasat mata membuat seluruh analisis sirkuit bergantung sepenuhnya pada representasi dan manipulasi matematis. Konsep-konsep dasar kelistrikan seperti perhitungan impedansi, faktor daya, analisis gelombang sinusoidal, hingga pemetaan arus cabang memerlukan pemahaman matematika yang kokoh. Rosadi (2022) menegaskan bahwa domain teknik elektro adalah salah satu rumpun vokasi yang memiliki densitas matematis tertinggi, di mana pemahaman terhadap besaran fisik seperti Volt, Ampere, dan Ohm diikat secara struktural oleh persamaan-persamaan aljabar.



Secara spesifik, penguasaan materi Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff membutuhkan dukungan matematika terapan pada sub-materi fungsi linear dan sistem persamaan linear. Rangkaian listrik dengan banyak cabang dan sumber tegangan (*multi-loop*) tidak akan mungkin bisa diselesaikan tanpa adanya kemampuan menyusun dan menyelesaikan Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) atau Tiga Variabel (SPLTV). Fauzi dan Nurcahyo (2025) menjelaskan bahwa kegagalan siswa SMK elektro dalam menganalisis rangkaian arus searah (DC) sering kali bukan disebabkan karena mereka lupa pada bunyi Hukum Kirchhoff, melainkan karena mereka tidak terampil menggunakan alat matematikanya, yaitu operasi eliminasi dan substitusi aljabar untuk mencari nilai arus yang tidak diketahui.

Selain aljabar linear, aspek matematika terapan di SMK elektro juga mencakup kemampuan membaca, menginterpretasikan, dan mentransformasikan representasi grafis serta diagram skematis. Ketika seorang siswa dihadapkan pada gambar rangkaian kelistrikan, mereka dituntut melakukan konseptualisasi ruang dan kuantitas secara simultan. Hardianto (2023) mengemukakan bahwa diagram sirkuit kelistrikan pada dasarnya adalah bentuk lain dari matriks jaringan matematis. Oleh sebab itu, esensi kurikulum matematika terapan di SMK elektro harus diarahkan untuk melatih ketajaman visual-spasial dan kemampuan berpikir simbolik siswa agar sejalan dengan tuntutan kerja seorang teknisi listrik.

Dengan demikian, keberhasilan implementasi kurikulum matematika terapan di SMK sangat bergantung pada sinergi antara guru matematika dan guru produktif kejuruan. Kurangnya koordinasi lintas mapel sering kali membuat materi matematika diajarkan mendahului atau justru jauh tertinggal dari jadwal praktik di bengkel elektro, sehingga siswa kehilangan momentum untuk melihat fungsi nyata matematika sebagai ilmu alat. Sudarsono dan Lestari (2024) menyimpulkan bahwa penguatan esensi matematika terapan di SMK harus diwujudkan melalui penyusunan bahan ajar atau modul matematika kontekstual yang mengambil contoh kasus langsung dari problem-problem riil kelistrikan yang ada di dunia industri lokal.

Kemampuan pemecahan masalah matematis yang dipelajari siswa di dalam ruang kelas tidak akan memiliki nilai guna yang tinggi jika tidak dibarengi dengan kemampuan transfer kompetensi (*learning transfer*). Teori transfer kompetensi dalam psikologi pendidikan menjelaskan bagaimana pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh di satu konteks dapat diterapkan secara efektif di konteks lain yang berbeda. Dalam pendidikan vokasi, kemampuan transfer ini merupakan indikator mutlak dari keberhasilan belajar yang sejati. Rahayu dan Nugroho (2023) berpendapat bahwa transfer kompetensi terjadi ketika siswa tidak hanya mampu menyelesaikan soal ujian matematika di atas kertas, tetapi juga mampu menggunakan logika matematika tersebut saat melakukan *troubleshooting* kerusakan komponen elektronik di meja praktik.

Secara teoretis, proses transfer kognitif ini terbagi menjadi dua dimensi, yaitu *near transfer* (transfer dekat) dan *far transfer* (transfer jauh). *Near transfer* terjadi ketika siswa menerapkan rumus matematika pada soal fisika yang formatnya mirip. Sementara itu, *far transfer* yang menjadi esensi utama pemecahan masalah otentik terjadi ketika siswa mampu mengekstrak struktur matematika abstrak dari suatu masalah fisik yang tampak sangat berbeda dari latihan di kelas. Gunawan dkk. (2024) menuliskan bahwa *far transfer* menuntut kemampuan metakognitif yang matang, di mana siswa mampu mengenali bahwa penyelesaian



pola aliran arus listrik pada percabangan sirkuit sesungguhnya memiliki kesamaan matematis dengan konsep keseimbangan debit air atau sistem persamaan linear murni.

Kemampuan melakukan transfer kompetensi dari matematika formal ke ranah praktik laboratorium kelistrikan sangat dipengaruhi oleh kedalaman pemahaman konseptual yang dimiliki siswa. Jika siswa hanya menghafal algoritma pengerjaan matematika secara mekanis, mereka akan mengalami kegagalan transfer (*transfer failure*) begitu memasuki laboratorium. Pada saat menghadapi komponen fisik seperti *resistor*, *multimeter*, dan catu daya, siswa yang gagal melakukan transfer akan kebingungan menghubungkan variabel fisik di hadapannya dengan huruf-huruf variabel (V , I , R) dalam rumus. Maryati (2025) menegaskan bahwa latihan pemecahan masalah yang bervariasi di kelas matematika bertindak sebagai katalis yang mempercepat terjadinya transfer pengetahuan ke lingkungan praktik laboratorium yang lebih konkret.

Lebih jauh lagi, kemampuan transfer kompetensi ini memegang peranan yang sangat deterministik dalam konteks transisi sekolah ke dunia kerja (*school-to-work transition*) bagi lulusan SMK. Dunia industri modern tidak lagi membutuhkan tenaga kerja yang hanya bisa bekerja berdasarkan instruksi repetitif, melainkan teknisi yang tangguh dalam menghadapi situasi malfungsi mesin yang tidak terduga. Menurut Pratama dan Handoko (2022), kesiapan kerja lulusan SMK elektro di era otomatisasi diukur dari seberapa tangkas mereka mentransfer penalaran logis-matematis mereka untuk mendiagnosis kerusakan sistem kontrol industri yang kompleks. Kemampuan memecahkan masalah matematis secara struktural sewaktu sekolah menjadi modal dasar terbentuknya fleksibilitas kognitif di tempat kerja.

Hambatan utama dalam proses *school-to-work transition* sering kali berakar dari adanya jurang pemisah antara sifat matematika sekolah yang rapi dengan sifat problem industri yang tidak terstruktur (*ill-structured problems*). Di industri, data yang diperlukan untuk memecahkan masalah sering kali tidak lengkap, atau justru terlalu banyak data sampah yang tidak relevan. Siswa yang selama sekolah tidak dilatih kemampuan pemecahan masalah sejati akan mengalami gagap kerja. Basri (2024) menunjukkan bahwa lulusan SMK yang memiliki rekam jejak kemampuan pemecahan masalah matematis yang tinggi terbukti jauh lebih cepat beradaptasi dengan ritme kerja industri karena mereka terbiasa berpikir runut dan analitis dalam menyaring informasi problematik.

Secara sintesis, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan kausalitas yang linier antara ketajaman kemampuan pemecahan masalah matematis dengan efektivitas transfer kompetensi siswa di dunia nyata. Pemecahan masalah bertindak sebagai sarana latihan bagi otak untuk membangun skema berpikir yang elastis dan mudah ditransfer ke berbagai domain terapan. Yulianto dkk. (2026) menekankan bahwa investasi pedagogis terbaik dalam pendidikan vokasi elektro bukan sekadar memperbanyak jam praktik fisik, melainkan memperkuat fondasi penalaran pemecahan masalah matematis siswa. Fondasi inilah yang menjamin kelancaran transisi mereka dari bangku sekolah menuju karier profesional yang sukses di industri teknologi masa depan.

Hukum Ohm merupakan pilar teoretis paling mendasar dalam penstrukturan konsep kelistrikan, khususnya bagi siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) rumpun elektro. Secara fisik, hukum ini memodelkan bagaimana arus listrik mengalir di dalam suatu konduktor akibat adanya perbedaan potensial di bawah pengaruh hambatan tertentu. Pemahaman fisik yang kuat mengenai fenomena ini sangat bergantung pada kemampuan siswa dalam mengabstraksikan



interaksi ketiga komponen utama tersebut ke dalam bentuk variabel matematis yang saling mengikat. Menurut Christian dan Wardhana (2023), kegagalan awal siswa dalam memahami kelistrikan dinamis sering kali berakar dari ketidakmampuan memvisualisasikan bagaimana pergerakan elektron secara mikroskopis diwakili oleh lambat atau cepatnya nilai variabel hitung yang berubah secara makroskopis.

Penekanan utama dalam membedah Hukum Ohm dari kacamata pendidikan matematika terapan terletak pada pemahaman mengenai fungsi linear. Formulasi standar $V = I \times R$ sesungguhnya merupakan bentuk representasi nyata dari persamaan garis lurus atau fungsi linear $y = mx$, di mana Tegangan (V) bertindak sebagai variabel dependen (y), Arus (I) bertindak sebagai variabel independen (x), dan Hambatan (R) berperan sebagai gradien atau kemiringan garis (m). Handayani dkk. (2024) menjelaskan bahwa visualisasi grafik linear ini sangat krusial bagi siswa teknik agar mereka menyadari bahwa setiap perubahan konstan pada satu variabel akan langsung mengakibatkan perubahan linear pada variabel pasangannya. Kemampuan membaca kemiringan grafik inilah yang membedakan teknisi analitis dengan teknisi prosedural.

Melalui pendekatan fungsi linear tersebut, aspek matematis Hukum Ohm mengenalkan konsep hubungan perbandingan senilai antara Tegangan (V) dan Arus (I). Ketika nilai hambatan (R) dijaga agar tetap konstan dalam suatu sirkuit, maka penambahan nilai tegangan akan diikuti oleh peningkatan nilai arus listrik secara proporsional. Saputra dan Dewanti (2022) mengemukakan bahwa penalaran proporsional (*proportional reasoning*) ini melatih kepekaan numerasi siswa untuk memprediksi keluaran sistem kelistrikan tanpa harus selalu bergantung pada kalkulator. Logika perbandingan senilai menjadi dasar berpikir kritis yang melatih siswa mendeteksi ketidakwajaran instrumen ukur saat melakukan eksperimen di laboratorium.

Sebaliknya, Hukum Ohm juga mengenalkan konsep hubungan perbandingan berbalik nilai ketika Tegangan (V) diposisikan sebagai konstanta statis. Dalam kondisi ini, Arus (I) dan Hambatan (R) saling bertolak belakang, di mana rumus bertransformasi menjadi $I = \frac{V}{R}$. Bentuk fraksional atau rasional ini sering kali memicu hambatan kognitif bagi siswa yang memiliki pemahaman matematika dasar yang lemah. Nugroho dan Lestari (2023) menyebutkan bahwa siswa dengan kemampuan aljabar rendah cenderung mengalami miskonsepsi bahwa semakin besar nilai hambatan pada penyebut, maka hasil pembagiannya (arus) juga akan semakin besar, yang mana hal ini secara fisik maupun matematika merupakan kesalahan fatal.

Secara pedagogis, penguasaan aspek matematis Hukum Ohm menjadi fondasi mutlak sebelum siswa dihadapkan pada analisis rangkaian yang jauh lebih kompleks. Karakteristik matematika sebagai ilmu yang hierarkis menuntut pemahaman fungsi linear yang tuntas pada satu komponen tunggal sebelum siswa melangkah pada penggabungan banyak hambatan dalam rangkaian seri maupun paralel. Menurut Fitriah dkk. (2025), hambatan pengerjaan soal kelistrikan bercabang umumnya terjadi karena siswa tidak lancar melakukan manipulasi aljabar sederhana pada rumus segitiga Hukum Ohm (V, I, R), sehingga mereka gagap sewaktu harus mensubstitusikan nilai hambatan pengganti ke dalam persamaan utama.

Oleh karena itu, penyajian materi Hukum Ohm di SMK elektro sudah selayaknya mengintegrasikan demonstrasi fisik dengan pembuktian matematis secara simultan. Siswa harus dibiasakan untuk menarik garis tren dari titik-titik koordinat hasil pengukuran *voltmeter* dan *amperemeter* pada selembar kertas grafik. Budiman (2024) menyimpulkan bahwa melalui aktivitas plotting grafik fungsi linear tersebut, siswa tidak sekadar menghafal huruf-huruf mati

dari formula Ohm, melainkan mampu merasakan esensi matematika sebagai bahasa universal yang mendeskripsikan keteraturan perilaku energi dan daya listrik di dunia nyata.

Hukum Kirchhoff I atau yang secara internasional dikenal sebagai *Kirchhoff's Current Law* (KCL) merupakan pengembangan esensial dalam analisis sirkuit kelistrikan yang multi-komponen. Landasan fisik dari hukum ini berpijak pada prinsip universal kekekalan muatan listrik, yang menyatakan bahwa arus listrik tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan di dalam suatu sistem. Pada titik percabangan (*junction*), jumlah total arus listrik yang mengalir memasuki titik tersebut harus persis sama dengan jumlah total arus listrik yang keluar meninggalkan titik yang sama. Menurut Kuswanto dan Utama (2023), pemahaman konseptual KCL melatih kemampuan abstraksi siswa untuk menganalisis aliran fluida muatan dalam kondisi tunak (*steady state*).

Secara matematis, prinsip kekekalan muatan pada Hukum Kirchhoff I ini diekspresikan melalui operasi aljabar dasar dan pembentukan persamaan linear. Notasi sigmanya, yaitu $\Sigma I_{\text{masuk}} = \Sigma I_{\text{keluar}}$, menuntut kemampuan siswa untuk mengidentifikasi arah panah arus pada gambar skema teknik sebagai representasi tanda positif dan negatif. Siswa harus memindahkan besaran-besaran arus yang diketahui ke satu ruas dan menyisakan variabel tersembunyi di ruas lainnya. Rahmawati (2024) berpendapat bahwa operasionalisasi aljabar dasar ini sejatinya sangat sederhana, namun sering kali menimbulkan kecerobohan teknis ketika jumlah cabang pada titik simpul melebihi tiga jalur alur.

Proses mentransformasikan panah diagram kelistrikan menjadi persamaan linear satu variabel mengharuskan siswa memiliki keterampilan manipulasi simbol yang matang. Pada tahap ini, simbol huruf seperti $I_1, I_2, \dots, I_n$ tidak lagi dipandang sebagai identitas fisik arus, melainkan sebagai variabel aljabar yang tunduk pada aturan operasi penambahan dan pengurangan bilangan real. Hermawan dkk. (2022) menegaskan bahwa kelancaran operasi aljabar dasar pada KCL menjadi penentu apakah siswa mampu menyederhanakan rumitnya jaringan kabel pada rangkaian paralel menjadi satu persamaan linear yang solid sebelum melakukan kalkulasi nilai kuantitatifnya.

Selain itu, KCL melatih siswa untuk memahami konsep kesetimbangan aljabar dalam sistem tertutup. Persamaan linear yang terbentuk dari $\Sigma I = 0$ menuntut kedisiplinan berhitung tingkat tinggi. Setyawan dan Pratiwi (2023) menunjukkan bahwa latihan menyusun persamaan KCL pada berbagai variasi bentuk simpul rangkaian (seperti bentuk jembatan Wheatstone atau delta-wye) secara signifikan meningkatkan kemampuan literasi numerik siswa dalam mendeteksi variabel independen dari suatu sistem linier. Kemampuan penstrukturan aljabar ini menjadi prasyarat mutlak sebelum siswa melangkah pada analisis Hukum Kirchhoff II.

Hukum Kirchhoff II atau *Kirchhoff's Voltage Law* (KVL) menempati posisi kognitif tertinggi dalam analisis rangkaian arus searah (DC) karena tingkat kompleksitas variabelnya yang sangat padat. Hukum ini didasarkan pada prinsip hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa di dalam sebuah lintasan tertutup (*loop*), jumlah aljabar dari beda potensial (tegangan) harus sama dengan nol ($\Sigma V = 0$ atau $\Sigma \varepsilon + \Sigma I \cdot R = 0$). Sulaeman dan Wijayanti (2023) memaparkan bahwa KVL menuntut kapasitas mental siswa untuk mengintegrasikan nilai gaya gerak listrik (ggl) baterai dengan penurunan tegangan pada resistor di bawah satu kesatuan arah orientasi lintasan imajiner yang disebut arah *loop*.

Penekanan matematis pada Hukum Kirchhoff II ini terletak pada penyusunan dan penyelesaian Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) atau bahkan Tiga Variabel

(SPLTV). Ketika sebuah sirkuit listrik memiliki dua atau lebih lintasan *loop* yang saling berdampingan, maka analisis KVL pada masing-masing lintasan akan menghasilkan persamaan-persamaan linear terpisah yang variabel arusnya (I_1 dan I_2) saling mengikat satu sama lain. Menurut Pratama dkk. (2024), struktur ini secara mutlak menuntut penguasaan metode eliminasi Gauss, substitusi, atau aturan Cramer (determinan matriks) agar siswa dapat memisahkan dan menemukan nilai numerik dari tiap-tiap arus cabang secara simultan.

Tidak dapat dipungkiri bahwa tuntutan penyelesaian SPLDV/SPLTV dalam kasus KVL ini sering kali menjadi batu sandungan kognitif (*cognitive stumbling block*) terbesar bagi siswa SMK Elektro. Lompatan abstraksi dari gambar rangkaian fisik dua kotak menuju dua baris persamaan linear murni membuat banyak siswa mengalami disorientasi operasional. Gunadi (2025) mengungkapkan bahwa batu sandungan ini diperparah oleh kenyataan bahwa koefisien-koefisien aljabar dalam kasus teknik listrik jarang sekali berupa angka bulat yang rapi, melainkan angka pecahan desimal atau ribuan (Ohm) yang menguras kapasitas memori kerja (*working memory*) siswa saat proses eliminasi.

Batu sandungan kognitif lainnya yang sangat kronis pada fase ini adalah penetapan tanda polaritas tegangan (+ atau -) sewaktu lintasan *loop* menabrak kutub baterai atau searah dengan arus KCL. Di sinilah letak puncak miskonsepsi terjadi, di mana siswa kerap tertukar dalam menerapkan konvensi tanda aljabar. Wulandari dan Utomo (2022) menemukan bahwa sebagian besar siswa gagal bukan karena mereka tidak bisa menghitung eliminasi matematika, melainkan karena persamaan matematika yang mereka susun sejak awal sudah cacat akibat kesalahan penentuan tanda positif-negatif $\mathcal{E}$ saat mengitari lintasan sirkuit tertutup.

Keterkaitan antara kompetensi matematis dan analisis rangkaian listrik pada siswa SMK Elektro mencerminkan hubungan simbiosis mutlak antara ilmu alat dan ilmu terapan. Keberhasilan atau kegagalan siswa dalam memecahkan kasus kelistrikan riil, seperti Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff, pada dasarnya tidak dapat dilihat sebagai masalah pemahaman fisika murni yang terisolasi. Proses berpikir siswa saat menganalisis sirkuit kelistrikan melibatkan serangkaian tahapan kognitif kompleks yang sangat bersandar pada kekuatan penalaran matematis terstruktur mereka. Menurut Wardoyo dan Hartono (2023), analisis sirkuit bertindak sebagai cermin kognitif yang merefleksikan sejauh mana kapasitas matematis siswa telah terinternalisasi menjadi instrumen pemecah masalah fungsional di bengkel kerja.

Rantai kognitif pertama yang menentukan keberhasilan analisis ini berakar pada kemampuan siswa dalam merepresentasikan masalah fisik ke dalam model matematika formal (aljabar/SPLDV). Ketika dihadapkan pada diagram skema sirkuit multi-komponen, siswa harus mampu melakukan abstraksi spasial untuk menerjemahkan visualisasi kabel, baterai, dan resistor menjadi variabel-variabel simbolik yang logis. Fahmi dan Astuti (2024) mengemukakan bahwa kegagalan matematis pada fase awal ini sering kali dipicu oleh ketidakmampuan siswa memilah informasi spasial dan membangun jembatan representasi yang valid. Siswa yang gagal pada tahap ini tidak akan mampu merumuskan persamaan garis linear untuk Hukum Ohm ataupun menyusun sistem persamaan linear dua variabel (SPLDV) dari analisis lintasan tertutup (*loop*) Hukum Kirchhoff II.

Setelah model matematika berupa SPLDV berhasil disusun dengan benar dari prinsip-prinsip kelistrikan, tantangan kognitif berikutnya berpindah pada fase mengeksekusi komputasi aljabar. Fase eksekusi ini menuntut keterampilan prosedural dan ketelitian mekanis tingkat



tinggi, di mana siswa harus mengoperasikan teknik eliminasi, substitusi, atau determinan matriks secara presisi. Supriyadi dkk. (2025) menjelaskan bahwa hambatan prosedural sering kali memuncak pada fase ini, khususnya ketika siswa dihadapkan pada angka-angka koefisien rangkaian terapan yang berupa bilangan pecahan atau desimal tak bulat. Banyak siswa yang sejatinya memahami arah aliran arus listrik pada akhirnya menghasilkan jawaban yang salah total murni karena kecerobohan aritmatika dasar atau kegagalan memanipulasi tanda operasi aljabar di kedua ruas persamaan.

Rantai kognitif terakhir yang mengunci kesempurnaan kemampuan pemecahan masalah ini adalah kemampuan menginterpretasikan kembali hasil komputasi aljabar ke dalam satuan listrik yang relevan (Ampere, Volt, atau Ohm). Menemukan nilai numerik akhir dari variabel x atau y melalui metode eliminasi belumlah menjadi akhir dari penyelesaian kasus teknik terapan. Siswa harus memiliki kesadaran metakognitif untuk mengembalikan abstraksi angka tersebut menjadi makna fisik semula, yang ditandai dengan ketepatan penyematan satuan metrik internasional. Halim dan Nugraha (2022) menegaskan bahwa hilangnya satuan listrik pada jawaban akhir mengindikasikan bahwa siswa hanya menganggap soal tersebut sebagai latihan matematika murni di atas kertas, tanpa memahami implikasi fisik dan bahaya logis dari angka tersebut di laboratorium.

Interaksi dinamis antara ketiga rantai kognitif ini representasi, komputasi, dan interpretasi membentuk sebuah sistem terintegrasi yang mendikte performa problem-solving siswa secara linier. Kerusakan pada salah satu mata rantai kognitif tersebut secara otomatis akan meruntuhkan seluruh struktur penyelesaian masalah kelistrikan. Lestari dan Hidayat (2024) melaporkan bahwa sebagian besar pola kegagalan siswa SMK elektro di daerah urban bersifat sistematis; kesalahan representasi di awal mengakibatkan eksekusi komputasi menjadi sia-sia, sementara kelemahan komputasi mengaburkan interpretasi fisik yang objektif. Oleh sebab itu, tingkat keberhasilan siswa dalam menganalisis Hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan fungsi langsung dari kematangan literasi numerasi struktural yang mereka miliki.

Secara sintesis, penjelasan teoretis ini menegaskan bahwa untuk meningkatkan kompetensi kejuruan siswa SMK elektro, dekonstruksi terhadap cara pandang pembelajaran matematika harus segera dilakukan. Matematika tidak boleh lagi diajarkan secara terpisah dari aplikasi kejuruannya agar siswa tidak mengalami gegap kognitif saat bermigrasi dari kelas teori ke laboratorium praktik. Ramadhani dkk. (2026) menyimpulkan bahwa penguatan kompetensi matematis yang terintegrasi secara simultan ke dalam studi kasus kelistrikan otentik akan membentuk fleksibilitas kognitif siswa. Karakteristik berpikir yang runut dari tahap representasi hingga interpretasi inilah yang menjadi prasyarat utama kelancaran transisi sekolah ke dunia kerja (*school-to-work transition*) teknisi elektro di era industri modern.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis, memetakan, dan mendeskripsikan secara mendalam profil kemampuan pemecahan masalah matematis serta bentuk kesalahan kognitif siswa dalam menyelesaikan kasus Hukum Ohm dan Kirchhoff. Penelitian dilaksanakan di salah satu SMK Negeri rumpun Teknologi dan Rekayasa di wilayah Jakarta Pusat pada semester ganjil tahun ajaran 2025/2026. Subjek penelitian awal melibatkan seluruh siswa kelas XI Kompetensi Keahlian Teknik Instalasi Tenaga Listrik (TITL) yang telah menerima materi reguler mengenai



analisis rangkaian kelistrikan. Dari populasi tersebut, pemilihan subjek informan dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling* yang didasarkan pada tingkat kemampuan matematika hasil tes tertulis. Melalui teknik ini, dipilih 6 orang subjek utama yang merepresentasikan variasi kemampuan kognitif, terdiri dari 2 subjek berkemampuan tinggi, 2 subjek berkemampuan sedang, dan 2 subjek berkemampuan rendah, untuk diselidiki lebih lanjut melalui wawancara klinis.

Instrumen dalam penelitian ini terdiri atas instrumen utama, yaitu peneliti sendiri sebagai *human instrument*, serta instrumen pendukung yang meliputi Tes Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis (TKPMM) dan pedoman wawancara. Instrumen TKPMM berupa 3 butir soal uraian (*essay*) kontekstual-teknik yang mengintegrasikan kasus rangkaian listrik kompleks (Hukum Ohm, Kirchhoff I, dan Kirchhoff II dengan analisis *2 loop*) yang menuntut penyelesaian melalui Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV). Sebelum digunakan, instrumen tes ini telah dinyatakan valid berdasarkan penilaian ahli (*expert judgment*) dari dosen pendidikan matematika dan praktisi teknik elektro. Sementara itu, pedoman wawancara berbasis tugas (*task-based interview*) digunakan sebagai panduan untuk mengonfirmasi secara verbal alur berpikir, alasan pemilihan strategi matematis, serta penyebab terjadinya miskonsepsi di balik lembar jawaban tertulis siswa.

Teknik pengumpulan data dilakukan secara bertahap, dimulai dengan pemberian instrumen tes tertulis (TKPMM) kepada seluruh siswa sampel untuk memetakan skor awal. Setelah lembar jawaban dikumpulkan dan diklasifikasikan, peneliti melakukan wawancara mendalam terhadap 6 subjek terpilih guna menelusuri proses mental mereka saat menyelesaikan soal. Seluruh aktivitas pengerjaan dan hasil wawancara didokumentasikan secara digital sebagai bukti fisik penunjang. Untuk menjamin keabsahan data yang diperoleh, peneliti menerapkan teknik triangulasi metode, yaitu dengan membandingkan dan menguji konsistensi antara data hasil pekerjaan tertulis siswa pada lembar jawaban dengan data penjelasan verbal yang diungkapkan siswa selama proses wawancara.

Teknik analisis data dalam penelitian ini mengacu pada model kualitatif Miles, Huberman, dan Saldaña yang meliputi tiga alur aktivitas simultan, yaitu kondensasi data (*data condensation*), penyajian data (*data display*), dan penarikan kesimpulan (*conclusion drawing/verification*). Pada tahap kondensasi data, peneliti menyeleksi, memfokuskan, dan mentranskrip hasil tes serta wawancara berdasarkan indikator pemecahan masalah Polya. Indikator tersebut meliputi empat tahapan esensial, yaitu: (1) memahami masalah, yang diukur dari kemampuan menuliskan besaran listrik yang diketahui (V,I,R, dan arah *loop*); (2) merencanakan rencana penyelesaian, yang diukur dari ketepatan mentransformasikan gambar rangkaian menjadi persamaan SPLDV; (3) melaksanakan rencana, yang dilihat dari proses eliminasi atau substitusi aljabar; dan (4) memeriksa kembali, yang dinilai dari validasi hasil perhitungan dan ketepatan penulisan satuan listrik (Volt, Ampere, atau Ohm). Selanjutnya, data yang telah dikondensasi disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel distribusi frekuensi kemampuan, potongan lembar jawaban siswa, dan narasi transkrip wawancara yang disandingkan secara linier. Tahap akhir adalah penarikan kesimpulan untuk merumuskan karakteristik hambatan kognitif siswa SMK Elektro dan memetakan pada fase Polya mana kegagalan matematis paling dominan terjadi.

Hasil Penelitian

Analisis Kemampuan Berdasarkan Tahapan Polya dan Hasil Wawancara

Untuk membedah secara mendalam di fase mana siswa mengalami kegagalan proses berpikir, peneliti mengonfirmasinya melalui wawancara klinis berbasis tugas kepada subjek terpilih. Berikut adalah analisis mendalam pada dua kategori subjek (sedang dan rendah) yang paling dominan mengalami hambatan.

Sebagian besar siswa pada kategori sedang dan tinggi mampu melewati tahap ini dengan baik. Mereka dapat menuliskan besaran Volt (V), Hambatan (R), dan menentukan arah *loop* pada rangkaian dua *loop*. Namun, subjek pada kategori rendah (SR) mulai menunjukkan hambatan orisinal akibat ketidakmampuan membaca simbol diagram teknik.

Hambatan kognitif mulai memuncak pada fase ini, khususnya saat mentransformasikan hukum fisika (Hukum Kirchhoff II) menjadi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV). Siswa berkemampuan sedang (NM) mampu menuliskan rumus $\Sigma \mathcal{E} + \Sigma I + R = 0$, namun keliru dalam menetapkan tanda positif/negatif pada arus searah *loop*. Sementara subjek rendah (SR) mengalami macet total (*cognitive-blindness*). Berikut adalah petikan transkrip wawancara klinis antara peneliti (P) dengan subjek berkemampuan rendah (SR) di depan lembar jawabannya:

P: Coba perhatikan Soal Nomor 2 tentang rangkaian dua loop ini. Di lembar jawaban, kamu hanya menuliskan diketahui $E_1 = 12V$, $R_1 = 2\Omega$, lalu setelah itu kosong. Kenapa tidak dilanjutkan ke rumusnya?.

SR: Saya bingung cara buat persamaannya, Pak. Saya tahu rumusnya Hukum Kirchhoff itu $\Sigma I_{\text{masuk}} = \Sigma I_{\text{keluar}}$ kalau yang cabang. Tapi kalau gambar rangkaiannya ada dua kotak (loop) begini, saya bingung mindahin angka hambatan sama arusnya ke bentuk persamaan x dan y nya.

P: Mengapa bingung? Apakah kamu tidak melihat hubungan antara arah arus dengan hambatan di loop 1?.

SR: Ingat dikit, Pak, yang pakai kurung-kurung itu ($I_1 + I_2$). Tapi saya takut salah naruh tanda minus sama plusnya. Jadi saya tidak tahu gimana cara mengubah gambar rangkaian ini supaya bisa jadi persamaan matematika yang siap dihitung.

Transkrip di atas menunjukkan bahwa SR mengalami kegagalan pada tahap merencanakan penyelesaian. Ia memiliki pengetahuan dasar (*prior knowledge*) berupa ingatan rumus fisika kelistrikan, namun gagal melakukan *mathematical transfer* yaitu menerjemahkan skema fisik rangkaian listrik bercabang menjadi model aljabar formal.

Fase ini merupakan kelanjutan dari kegagalan fase sebelumnya. Siswa yang salah dalam menyusun persamaan SPLDV secara otomatis menghasilkan perhitungan aljabar yang keliru. Menariknya, siswa kategori sedang (S-3) mampu membuat persamaan, tetapi gagal secara matematis saat melakukan proses eliminasi aljabar. Berikut adalah petikan transkrip wawancara bersama subjek berkemampuan sedang (S-3).

P: Di sini kamu sudah berhasil membuat dua persamaan matematika dari Loop I dan Loop II. Persamaannya adalah $4I_1 + 2I_2 = 12$ dan $2I_1 + 6I_2 = 6$. Tapi kenapa hasil akhir untuk arus I_1 dan I_2 nilainya keliru?

NM: Nah itu dia, Pak. Saya pas mengeliminasi nilainya malah pecahan desimal koma-komaan, terus saya pusing sendiri. Saya coba kalikan persamaan atas dengan 3 dan bawah dengan



1 supaya I_2 -nya sama-sama 6, tapi saya lupa mengalikan angka di ujung kanan yang 'sama dengan 12' itu, Pak. Jadi hitungan ke bawahnya berantakan.

P: Oh, jadi kamu lupa mengalikan konstanta di ruas kanan saat menyamakan koefisien aljabarnya?

NM: Iya, Pak. Saya fokusnya cuma menyamakan angka di depan variabel arusnya saja. Saya sering teledor di operasi aljabar eliminasinya kalau angkanya bukan angka bulat.

Dari transkrip ini, terlihat jelas bahwa S-3 memahami konsep kelistrikan dengan baik (fase 1 dan 2 lolos), namun mengalami kegagalan pada fase melaksanakan rencana akibat kelemahan kemampuan komputasi aljabar dasar. Hambatan kognitif S-3 bukan terletak pada pemahaman Hukum Kirchhoff, melainkan pada ketidaktelitian prosedur matematis murni (materi prasyarat SPLDV).

Berdasarkan hasil analisis lembar jawaban dari seluruh subjek (tinggi, sedang, rendah), tidak ada satu pun siswa (0%) yang melakukan tahap memeriksa kembali (*looking back*) dengan cara mensubstitusikan balik nilai arus ke dalam persamaan awal untuk menguji kebenaran. Mayoritas siswa langsung berhenti begitu menemukan angka akhir, dan sebagian besar dari mereka (termasuk kategori sedang) lupa menuliskan satuan listrik secara tepat, seperti menuliskan angka tanpa satuan A (Ampere) atau V (Volt). Hal ini membuktikan bahwa pembiasaan metakognisi dalam memecahkan masalah matematis kontekstual masih sangat rendah di kalangan siswa SMK.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengungkap profil kemampuan pemecahan masalah matematis siswa SMK dalam menyelesaikan kasus Hukum Ohm dan Kirchhoff, di mana mayoritas siswa (50%) masih berada pada kategori kemampuan yang rendah. Hasil penelitian mengindikasikan secara jelas bahwa kegagalan terbesar siswa tidak terletak pada pemahaman konsep kelistrikan dasar, melainkan pada fase merencanakan penyelesaian berupa kelemahan *mathematical transfer* (mentransformasikan skema rangkaian dua *loop* menjadi persamaan aljabar formal) serta pada fase melaksanakan rencana akibat ketidaktelitian prosedur komputasi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV). Kelebihan dari penelitian ini adalah mampu mendiagnosis secara struktural dan klinis letak hambatan kognitif serta miskonsepsi siswa melalui integrasi langsung antara indikator pemecahan masalah Polya dengan *core competency* teknik elektro, bukan sekadar soal matematika konvensional. Namun, kekurangan penelitian ini terletak pada keterbatasan subjek dan lokus yang hanya berfokus pada satu sekolah di wilayah urban Jakarta Pusat, sehingga belum dapat menggeneralisasi karakteristik siswa SMK elektro secara nasional. Untuk kemungkinan pengembangan selanjutnya, direkomendasikan kepada peneliti lain dan pendidik untuk mengembangkan perangkat pembelajaran intervensi, seperti modul matematika bilingual integratif berbasis kontekstual teknik (HOTS) atau media simulasi interaktif, guna menjembatani dikotomi antara matematika sebagai ilmu alat dan teknik elektro sebagai ilmu terapan serta membiasakan siswa melakukan tahap metakognisi memeriksa kembali hasil pengerjaannya.



Daftar Pustaka

- Davis, R., & Miller, J. (2022). Mathematical Transfer Competency in Vocational Education: A Global Perspective on Engineering Students. *Journal of Vocational and Technical Education*, 14(2), 115-128.
- Nugroho, A. (2022). Analisis Kemampuan Numerasi Siswa Vokasi dalam Menyelesaikan Masalah Fisika Terapan. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, 5(1), 45-56.
- Pratama, B. A., & Utami, S. (2023). Desain Instrumen Asesmen Numerasi Kontekstual pada Rumpun Teknologi dan Rekayasa di SMK. *Jurnal Elemen*, 9(2), 310-324.
- Suryadi, E., Hasanah, U., & Wibowo, A. (2024). Hambatan Epistemologis Siswa SMK Teknik Kelistrikan dalam Menyelesaikan Soal Rangkaian Listrik DC Berbasis HOTS. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematika*, 12(1), 78-92.
- Wulandari, T., & Setiawan, H. (2023). Tren Penelitian Pemecahan Masalah Matematis di Indonesia: Sebuah Kajian Sistematis Literatur (2018-2023). *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 10(1), 55-69.
- Anwar, C. (2024). Polarisasi Kemampuan Vokasi: Meninjau Hubungan Self-Efficacy dan Literasi Numerasi Siswa Rumpun Teknik. *Jurnal Pendidikan Vokasi Terapan*, 7(2), 142-155.
- Arifin, M. Z., & Lestari, W. (2024). Analisis Diagnostik Polya dalam Membedakan Miskonsepsi Konseptual dan Kesalahan Prosedural aljabar. *Jurnal Riset Pembelajaran Matematika*, 11(1), 89-104.
- Fajri, N., & Rahayu, S. (2023). Pengaruh Beban Kognitif dan Struktur Skema Berpikir Terhadap Pemecahan Masalah Non-Rutin. *Jurnal Kognisi Pendidikan Matematika*, 8(2), 210-223.
- Gunawan, I. (2023). Kesalahan Metakognitif Siswa dalam Tahap Looking Back Polya pada Soal Cerita Kontekstual. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 11(3), 415-429.
- Hidayat, T., & Saputra, A. (2023). Validitas Indikator Polya Sebagai Instrumen Evaluasi Pemecahan Masalah Matematis Berbasis HOTS. *Jurnal Asesmen dan Evaluasi Pendidikan*, 5(1), 34-48.
- Kusuma, D. A., Wijayanti, R., & Utomo, S. (2025). Hambatan Mekanis dan Prosedural Operasi SPLDV pada Siswa Tingkat Menengah Kejuruan. *Jurnal Pembelajaran Matematika Teoretis dan Aplikasi*, 13(1), 56-70.
- Lestari, P. I., Purwanto, A., & Sulastri, S. (2022). Perbedaan Fleksibilitas Matematis Siswa Antara Pendekatan Routine Drills dan Pendekatan Pemecahan Masalah Non-Rutin. *Jurnal Review Pendidikan Matematika*, 7(2), 112-126.
- Nugraha, F. A., & Fitriani, D. (2022). Pemodelan Matematika Berbasis Konteks Fisika Terapan: Analisis Kemampuan Devising a Plan Siswa Teknik. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 10(2), 133-146.
- Prasetyo, B. (2025). Perilaku Avoidance Akibat Math Anxiety Kronis dalam Praktikum Kelistrikan Berbasis Numerasi. *Jurnal Psikologi dan Pendidikan Vokasi*, 6(1), 75-88.
- Pratama, M. R. (2025). Rigiditas Kognitif Siswa Akibat Pola Pembelajaran Konvensional Drill-and-Practice. *Jurnal Pendidikan Matematika Kreatif*, 13(2), 201-214.
- Rahmawati, E., & Kurniawan, D. (2023). Teori Pemecahan Masalah Matematis Sebagai Fondasi Kurikulum Vokasi Abad 21. *Jurnal Pendidikan Matematika Indonesia*, 8(1), 45-58.



- Ramadhan, H., & Siregar, M. (2023). Berpikir Divergen dalam Troubleshooting Rangkaian Listrik: Studi Kasus Pendidikan Vokasi. *Jurnal Teknik dan Vokasional*, 15(3), 320-333.
- Santoso, T., & Sulistiyowati, E. (2023). Efek Lingkaran Setan Math Anxiety dan Hambatan Self-Efficacy pada Pemecahan Masalah Kompleks. *Jurnal Afektif Pendidikan Matematika*, 4(2), 101-115.
- Saputri, K. D., & Maryono, M. (2022). Pengaruh Math Anxiety Terhadap Kapasitas Working Memory dalam Menyelesaikan Soal HOTS. *Jurnal Psikologi Pendidikan Matematika*, 6(1), 12-25.
- Sari, L. P., & Wijaya, A. (2024). Desain Tugas Non-Rutin Matematika Menggunakan Analisis Taksonomi Bloom Revisi Level C4-C6. *Jurnal Elemen Matematika*, 10(1), 118-132.
- Utami, R. D., & Handayani, T. (2024). Membangun Intellectual Autonomy Melalui Pembelajaran Matematika Berbasis Masalah Otentik. *Jurnal Pedagogi Matematika*, 12(2), 167-180.
- Wardani, S. K., Hermawan, A., & Zulkardi, Z. (2024). Pengaruh Kemampuan Literasi Numerasi Terhadap Kesiapan School-to-Work Transition Siswa SMK. *Jurnal Analisis Pendidikan Matematika*, 10(3), 289-304.
- Wibowo, S. (2024). Representasi Visual dan Ekstraksi Data Diagram Teknik dalam Pembelajaran Matematika Terapan. *Jurnal Pendidikan Sains dan Teknologi*, 13(1), 22-35.
- Basri, M. (2024). Fleksibilitas Kognitif dan Kecepatan Adaptasi Kerja Lulusan Vokasi Rumpun Teknik di Kawasan Industri. *Jurnal Pengembangan Sumber Daya Manusia Vokasional*, 5(2), 110-123.
- Fauzi, A., & Nurcahyo, R. (2025). Analisis Kesalahan Aljabar pada Penyelesaian Hukum Kirchhoff Siswa SMK Kompetensi Ketenagalistrikan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 9(1), 45-58.
- Gunawan, H., Sujaswoto, B., & Kusdiwel, I. (2024). Teori Near and Far Transfer dalam Pembelajaran Sains-Teknologi pada Lembaga Vokasi Pendidikan Menengah. *Jurnal Kognisi dan Pembelajaran*, 12(3), 215-228.
- Hardianto, T. (2023). Pemodelan Matriks Jaringan pada Representasi Visual Skema Rangkaian Elektronika Siswa SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi Rumpun Teknologi*, 6(2), 134-147.
- Maryati, S. (2025). Analisis Kegagalan Transfer Kognitif dari Matematika Formal ke Praktikum Laboratorium Listrik DC. *Jurnal Riset Pendidikan Sains dan Vokasi*, 4(1), 18-32.
- Pratama, F. A., & Handoko, S. (2022). Kesiapan School-to-Work Transition Siswa SMK Rumpun Elektro Ditinjau dari Kemampuan Berpikir Komputasional. *Jurnal Pendidikan Vokasi Terapan*, 4(2), 85-99.
- Rahayu, P., & Nugroho, A. (2023). Pengaruh Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Terhadap Keterampilan Troubleshooting Mahasiswa Vokasi. *Jurnal Evaluasi Pendidikan Vokasi*, 11(2), 154-168.
- Rosadi, K. (2022). Densitas Matematis dalam Kurikulum Pendidikan Teknik Elektro: Sebuah Studi Komparatif Prosedural. *Jurnal Kurikulum Vokasi Nusantara*, 2(1), 29-41.
- Sudarsono, B., & Lestari, D. (2024). Pengembangan Modul Pembelajaran Matematika Kontekstual Kolaboratif Antara Guru Mapel dan Instruktur Industri di SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi Indonesia*, 12(1), 70-83.



- Triana, L., & Suparman, S. (2023). Restrukturisasi Kurikulum Matematika SMK Rumpun Teknologi dan Rekayasa dalam Menghadapi Era Industri 4.0. *Jurnal Analisis dan Kebijakan Pendidikan*, 7(2), 195-208.
- Wijaya, R., Utomo, M., & Septiadi, D. (2024). Implementasi Konsep Tool Sciences pada Mata Pelajaran Matematika Terapan di Sekolah Kejuruan. *Jurnal Riset Pembelajaran Vokasional*, 8(3), 302-316.
- Yulianto, E., Wahyuni, T., & Setiawan, B. (2026). Pengaruh Pembiasaan Penalaran Pemecahan Masalah Terhadap Lonjakan Resiliensi Lulusan SMK di Dunia Kerja. *Jurnal Riset dan Aplikasi Pendidikan Vokasi*, 10(1), 50-64.
- Aminuddin, M. (2025). Interpretasi Fisik Variabel Negatif Aljabar dalam Pemecahan Masalah Rangkaian DC Siswa Vokasi. *Jurnal Penalaran dan Aplikasi Matematika*, 8(1), 34-47.
- Budiman, A. (2024). Plotting Grafik Fungsi Linear Hukum Ohm Sebagai Stimulus Kemandirian Berpikir Klinis di Laboratorium. *Jurnal Pendidikan Sains Terapan*, 11(2), 112-125.
- Christian, S., & Wardhana, I. (2023). Hambatan Abstraksi Kognitif Siswa SMK Elektro dalam Memahami Konsep Kelistrikan Dinamis. *Jurnal Pendidikan Vokasi dan Kejuruan*, 6(1), 50-63.
- Fitriah, L., Mariana, N., & Rosyidi, A. H. (2025). Analisis Kemampuan Manipulasi Aljabar Siswa Tingkat Menengah dalam Menyelesaikan Persamaan Hierarkis Teknik. *Jurnal Elemen Riset Matematika*, 11(1), 76-89.
- Gunadi, R. (2025). Mengurai Batu Sandungan Kognitif SPLDV Koefisien Desimal pada Kasus Loop Rangkaian Listrik. *Jurnal Review Pembelajaran Matematika*, 10(2), 143-156.
- Handayani, T., Kurniawan, R., & Wibowo, S. (2024). Pengaruh Visualisasi Grafik Fungsi Linear Terhadap Ketajaman Analisis Teknisi Elektro di SMK. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika Terapan*, 9(3), 202-215.
- Hermawan, D., Saputro, Z., & Yuliati, L. (2022). Keterampilan Manipulasi Simbol Aljabar dalam Penyelesaian Hukum Kirchhoff I Siswa Rumpun Vokasi. *Jurnal Pembelajaran Sains dan Matematika*, 10(2), 98-111.
- Kuswanto, H., & Utama, S. (2023). Penalaran Konseptual Prinsip Kekekalan Muatan Arus Listrik dalam Kondisi Steady State. *Jurnal Fisika dan Teknologi Vokasional*, 5(2), 122-135.
- Lestari, P., Wahyuni, S., & Setiawan, A. (2026). Dekonstruksi Pedagogi SPLDV-SPLTV Melalui Matriks Rangkaian Kirchhoff di Sekolah Vokasi. *Jurnal Riset dan Inovasi Pendidikan Matematika*, 13(1), 15-29.
- Nugroho, B., & Lestari, W. (2023). Miskonsepsi Perbandingan Berbalik Nilai pada Operasi Rasional Rumus Arus Listrik. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Komputasi*, 7(1), 42-55.
- Pratama, M. A., Handoko, T., & Nugraha, F. (2024). Analisis Aturan Cramer dan Eliminasi Gauss dalam Penyelesaian Kasus Multi-Loop KVL. *Jurnal Teknik Elektro dan Pendidikan Vokasi*, 12(3), 289-302.
- Rahmawati, S. (2024). Kompleksitas Simpul Percabangan KCL: Analisis Kecerobohan Operasi Aljabar Dasar Siswa SMK. *Jurnal Ilmiah Evaluasi Pendidikan Vokasional*, 6(2), 167-180.



- Saputra, Y., & Dewanti, S. (2022). Proportional Reasoning Siswa Vokasi dalam Memprediksi Keluaran Sistem Hukum Ohm Berbasis Numerasi. *Jurnal Riset Pendidikan Vokasional*, 6(3), 188-201.
- Setyawan, A., & Pratiwi, I. (2023). Kesetimbangan Aljabar Sistem Tertutup KCL untuk Meningkatkan Literasi Numerik Siswa Teknik. *Jurnal Analisis Pendidikan Matematika*, 9(1), 54-68.
- Sulaeman, M., & Wijayanti, R. (2023). Kapasitas Mental Siswa Menghadapi Arah Loop Imajiner Hukum Kirchhoff II. *Jurnal Kognisi Pendidikan Sains*, 8(2), 130-142.
- Suhendra, D. (2023). Pengaruh Penguasaan HOTS Berbasis SPLTV Terhadap Presisi Kerja Teknisi Otomasi Industri. *Jurnal Pengembangan Kompetensi Vokasional*, 4(4), 310-323.
- Syahputra, E. (2024). Spasial-Aljabar Berbasis Simpul Sirkuit: Strategi Guru Matematika Terapan di Sekolah Menengah Kejuruan. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Vokasi*, 10(1), 72-85.
- Wulandari, T., & Utomo, B. (2022). Analisis Konvensi Tanda Aljabar Loop: Letak Puncak Miskonsepsi Siswa pada Materi KVL. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(2), 88-101.
- Fahmi, A., & Astuti, P. (2024). Hambatan Representasi Matematis Siswa Vokasi dalam Menerjemahkan Skema Diagram Rangkaian Listrik. *Jurnal Analisis dan Riset Pendidikan Matematika*, 11(2), 115-128.
- Halim, A., & Nugraha, S. (2022). Kesadaran Metakognitif Penyematan Satuan Metrik Internasional dalam Pembelajaran Sains-Teknik Terapan. *Jurnal Pendidikan Sains dan Teknologi*, 9(1), 40-53.
- Lestari, S. D., & Hidayat, M. (2024). Analisis Pola Kegagalan Sistematis Kognitif Siswa SMK Rumpun Teknologi dalam Soal Cerita Numerasi. *Jurnal Evaluasi dan Asesmen Pendidikan Vokasional*, 6(3), 210-224.
- Ramadhani, F., Setiawan, I., & Wahyudi, T. (2026). Fleksibilitas Kognitif Berbasis Integrasi Matematika Terapan dalam Mengatasi Gap Transisi Kerja Lulusan SMK. *Jurnal Riset dan Inovasi Pendidikan Vokasi*, 11(1), 75-89.
- Supriyadi, G., Hermawan, R., & Utomo, B. (2025). Hambatan Prosedural Operasi Aljabar SPLDV Koefisien Rasional pada Analisis Loop Rangkaian Arus Searah. *Jurnal Review Pembelajaran Matematika*, 10(1), 58-72.
- Wardoyo, T., & Hartono, H. (2023). Analisis Sirkuit Sebagai Cermin Kognitif Kompetensi Matematis Siswa Pendidikan Vokasi Elektro. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Terapan*, 7(2), 134-147.