



**INVESTIGASI KESALAHAN SISWA MENYELESAIKAN SOAL
RANGKAIAN LISTRIK 2-LOOP DENGAN ATURAN CRAMER
BERBANTUAN METODE SARRUS**

SKRIPSI

Oleh

Az Zahra Lintang Kinanti

NIM 200210102111

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA

JEMBER

2024



**INVESTIGASI KESALAHAN SISWA MENYELESAIKAN SOAL
RANGKAIAN LISTRIK 2 LOOP DENGAN ATURAN CRAMER
BERBANTUAN METODE SARRUS**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh Sarjana pada
program studi Pendidikan Fisika*

SKRIPSI

Oleh

Az Zahra Lintang Kinanti

NIM 200210102111

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA

JURUSAN PENDIDIKAN MIPA

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS JEMBER

2024

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas limpahan rahmat dan karunia Allah SWT yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Keluarga tercinta saya, Bapak Muhammad Solihin, Ibu Ayu Puspitasari dan Kakak Muhammad Derryl Qinanda, yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan yang terbaik dalam setiap momen hidup saya.
2. Semua pendidik saya, mulai tingkat taman kanak – kanak hingga perguruan tinggi yang selalu mengarahkan, membimbing dan memberikan ilmu dengan penuh kesabaran.
3. Almamater saya, Program Studi Pendidikan Fisika Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

“Barang siapa tidak memahami cara mati yang baik, dia akan menjalani hidupnya dengan buruk”

(Ihwal Ketenangan Pikiran 11.4)*



*Seneca. 2019. *How To Die: Sebuah Panduan Klasik Menjelang Ajal*. Jakarta: PT. Gramedia

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Az Zahra Lintang Kinanti

NIM : 200210102111

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Investigasi Kesalahan Siswa Menyelesaikan Soal Rangkaian Listrik 2-Loop Dengan Aturan Cramer Berbantuan Metode Sarrus” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang saya gunakan sebelumnya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2024

Yang menyatakan,



Az Zahra Lintang Kinanti

NIM 200210102111

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “Investigasi Kesalahan Siswa Menyelesaikan Soal Rangkaian Listrik 2-Loop Dengan Aturan Cramer Berbantuan Metode Sarrus” telah diuji oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

hari : Senin

tanggal : 08 Januari 2024

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., M.C.E. (.....)

NIP : 196807101993021001

2. Pembimbing Anggota

Nama : Drs. Subiki, M.Kes., M.C.E. (.....)

NIP : 196307251994021001

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Dr. Rif`ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si. (.....)

NIP : 198102052006042001

2. Penguji Anggota

Nama : Drs. Maryani, M.Pd., M.C.E. (.....)

NIP : 196407071989021002

ABSTRACT

The 21st century signifies significant changes in education through the integration of technology and the enhancement of students' skills through various learning activities. Physics education, as a subject applying technology, particularly in the domain of electricity, poses challenges, especially in the topic of closed 2-loop electric circuits. This research aims to investigate student errors in solving problems related to these circuits. This study adopts a quantitative descriptive research design. The research findings discussed in this study present descriptive data on student errors categorized into four types: conceptual errors, data usage errors, strategy errors, and calculation errors. The conclusion drawn from this research highlights students' errors in solving simple 2-loop DC electric circuit problems using Cramer's rule assisted by the Sarrus method. The study, conducted descriptively following an assessment rubric, categorizes student errors into four types: conceptual errors (24%), data usage errors (5.33%), strategy errors (21.33%), and calculation errors (22.66%).

Keyword: Students errors, Sarrus, Cramer, 2-loop, electric circuits

RINGKASAN

Investigasi Kesalahan Siswa Menyelesaikan Soal Rangkaian Listrik 2-Loop Dengan Aturan Cramer Berbantuan Metode Sarrus; Az Zahra Lintang Kinanti; 200210102111; 2024; 34 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

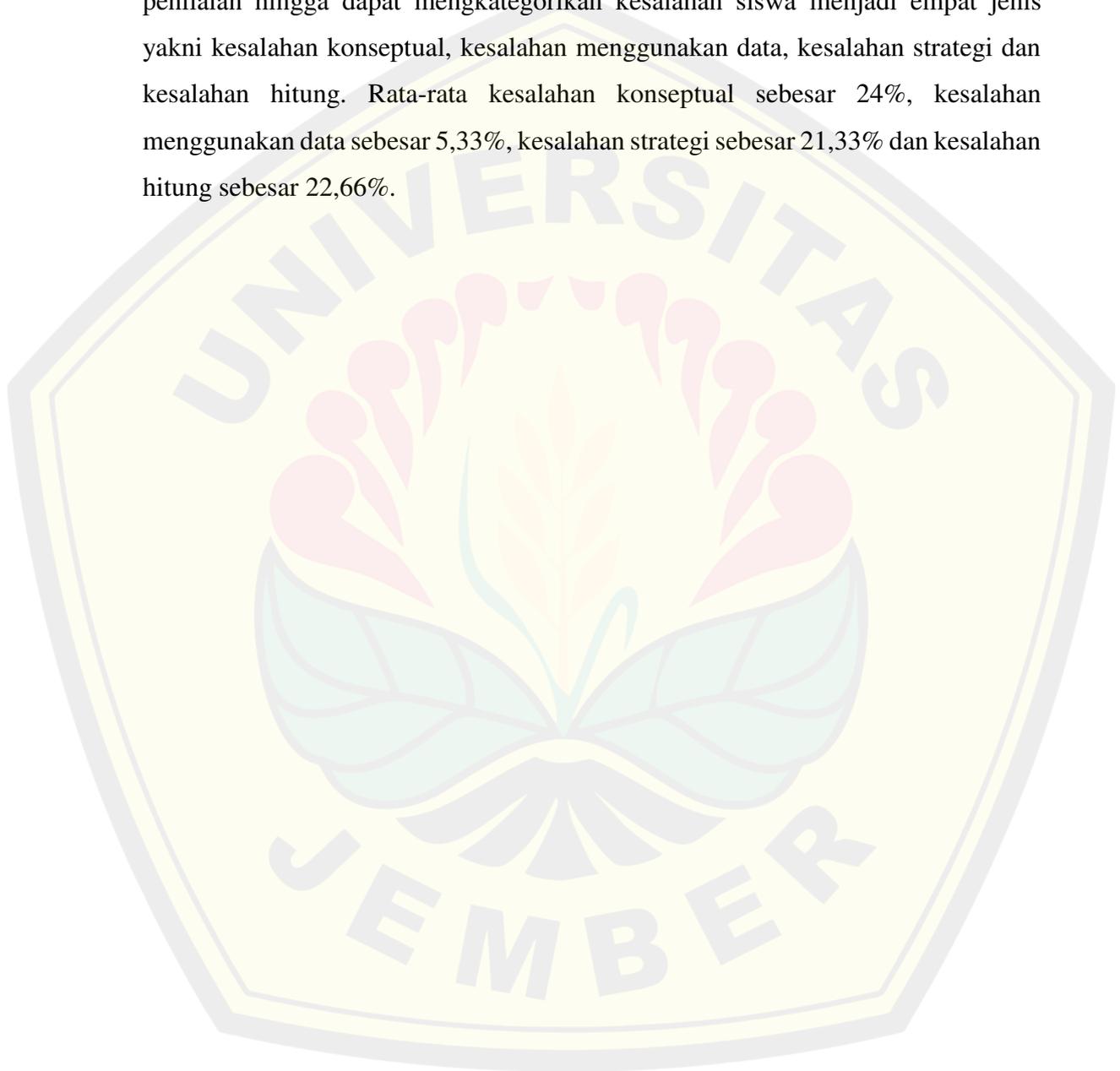
Abad 21 mengindikasikan perubahan besar dalam pendidikan dengan teknologi dan peningkatan keterampilan peserta didik melalui kegiatan pembelajaran. Pembelajaran fisika sebagai subjek yang menerapkan teknologi, khususnya mengenai kelistrikan yang menunjukkan tingkat kesulitan, terutama pada materi rangkaian listrik tertutup 2 loop. Saat ini, penyelesaian masalah pada rangkaian tersebut masih mengandalkan metode substitusi dan eliminasi yang memakan waktu lama, sehingga menyebabkan beberapa kesalahan. Upaya penyelesaian dari rangkaian listrik tertutup 2 loop dapat menggunakan metode matematis berupa aturan Cramer berbantuan metode Sarrus. Tujuan dari penelitian ini adalah menginvestigasi kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik tertutup 2 loop.

Penelitian ini menggunakan penelitian deskriptif kuantitatif. Pemilihan tempat penelitian menggunakan *purposive sampling area*, yakni memiliki kesamaan masalah terhadap topik riset serta kesediaan sekolah sebagai tempat berlangsungnya penelitian. Populasi pada penelitian ini adalah peserta didik kelas XII IPA di salah satu SMA Kabupaten Jember tahun ajaran 2023/2024. Kelas sampel yang digunakan adalah satu kelas eksperimen yakni kelas XII IPA 3. Data yang diperoleh akan diinvestigasi kesalahan siswa dalam penyelesaian soal rangkaian listrik tertutup 2 loop menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus.

Hasil penelitian yang dibahas dalam penelitian ini merupakan data deskriptif kesalahan siswa yang digolongkan 4 jenis yakni kesalahan konseptual, kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung. Kesalahan konseptual yakni tidak dapat menentukan arah loop dan membuat matriks dengan sesuai. Kesalahan menggunakan data yakni tidak menggunakan data yang benar.

Kesalahan strategi yakni tidak menuliskan rumus dengan rinci. Kesalahan hitung yakni kesalahan yang terjadi pada operasi perhitungan atau operasi matematis.

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik DC sederhana 2 loop menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus. Penelitian ini dilakukan secara deskriptif berpedoman pada rubric penilaian hingga dapat mengkategorikan kesalahan siswa menjadi empat jenis yakni kesalahan konseptual, kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung. Rata-rata kesalahan konseptual sebesar 24%, kesalahan menggunakan data sebesar 5,33%, kesalahan strategi sebesar 21,33% dan kesalahan hitung sebesar 22,66%.



PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas nikmat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Investigasi Kesalahan Siswa Menyelesaikan Soal Rangkaian Listrik 2-Loop Dengan Aturan Cramer Berbantuan Metode Sarrus” dengan lancar. Skripsi ini disusun guna memenuhi syarat kelulusan dalam menempuh Pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah menerbitkan surat permohonan izin penelitian;
2. Dr. Erfan Yudianto, S.Pd., M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember; Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memfasilitasi pengajuan ujian skripsi;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama; Drs. Subiki, M.Kes. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga dalam membimbing skripsi;
4. Dr. Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Penguji Utama; Drs. Maryani, M.Pd. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan masukan dan saran dalam perbaikan skripsi;
5. Sandi Suwandi, S.Pd. selaku Kepala SMAN 3 Jember yang telah memberikan izin penelitian;
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-per satu.

Penulis juga menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk semua pihak.

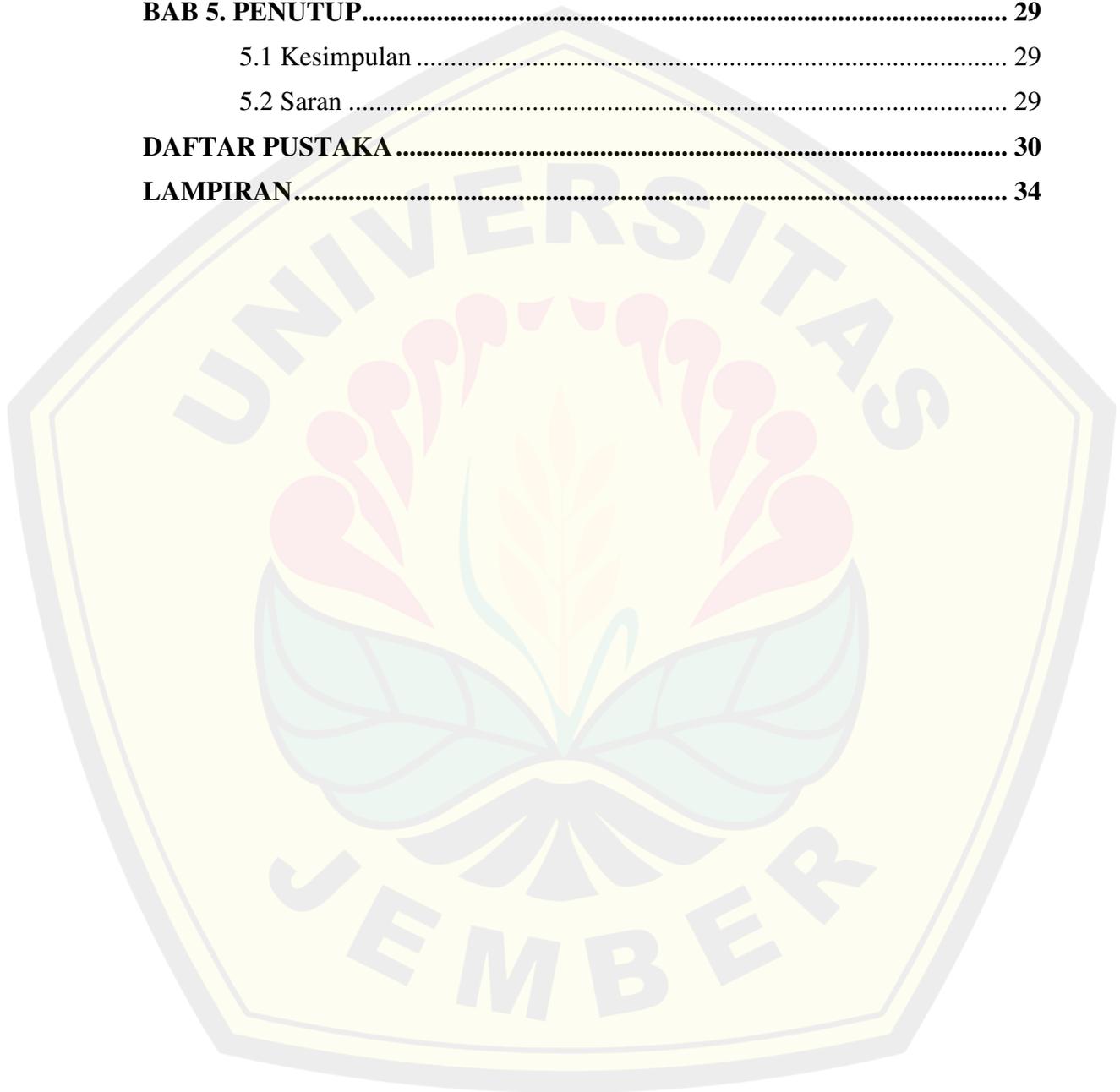
Jember, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
ABSTRACT	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Hakikat Fisika	5
2.2 Kesalahan Siswa	5
2.3 Aturan Cramer dalam Sistem Persamaan Linear	7
2.4 Metode Sarrus dalam Menentukan Determinan Matriks	8
2.5 Rangkaian Listrik Tertutup	8
2.6 Penelitian Relevan	11
2.7 Kerangka Berfikir	12
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Jenis, Tempat dan Waktu Penelitian.....	13
3.2 Subjek Penelitian	13
3.3 Definisi Operasional	13
3.4 Prosedur Penelitian	14

3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	14
3.6 Teknik Analisis Data.....	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Hasil Penelitian	16
4.2 Pembahasan.....	17
BAB 5. PENUTUP.....	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	34



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hukum pertama Kirchoff	9
Gambar 2.2 Rangkaian listrik 1 loop	10
Gambar 2.3 Rangkaian listrik 2 loop	11
Gambar 2.4 Kerangka berfikir	12
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian.....	14
Gambar 4.1 Contoh kesalahan konseptual oleh siswa RD.....	19
Gambar 4.2 Contoh tidak adanya kesalahan konseptual oleh siswa DPKA	19
Gambar 4.3 Contoh kesalahan konseptual oleh siswa RF	19
Gambar 4.4 Contoh tidak adanya kesalahan konseptual oleh siswa KPJD	20
Gambar 4.5 Contoh kesalahan menggunakan data oleh siswa ARF.....	21
Gambar 4.6 Contoh tidak adanya kesalahan menggunakan data oleh siswa AR	21
Gambar 4.7 Contoh kesalahan menggunakan data oleh siswa MAW	22
Gambar 4.8 Contoh tidak adanya kesalahan menggunakan data oleh siswa SNA	22
Gambar 4.9 Contoh kesalahan menggunakan data oleh siswa MK.....	23
Gambar 4.10 Contoh tidak adanya kesalahan menggunakan data oleh siswa HAD.....	23
Gambar 4.11 Contoh kesalahan strategi (a) oleh siswa PN (b) oleh siswa YWY	24
Gambar 4.12 Contoh tidak adanya kesalahan strategi oleh siswa NJK.....	24
Gambar 4.13 Contoh kesalahan hitung oleh siswa FSZD	25
Gambar 4.14 Contoh tidak adanya kesalahan hitung oleh siswa HAD	26
Gambar 4.15 Contoh kesalahan hitung (a) oleh siswa RAH (b) oleh siswa NANM	27
Gambar 4.16 Contoh kesalahan hitung oleh siswa SNA	27

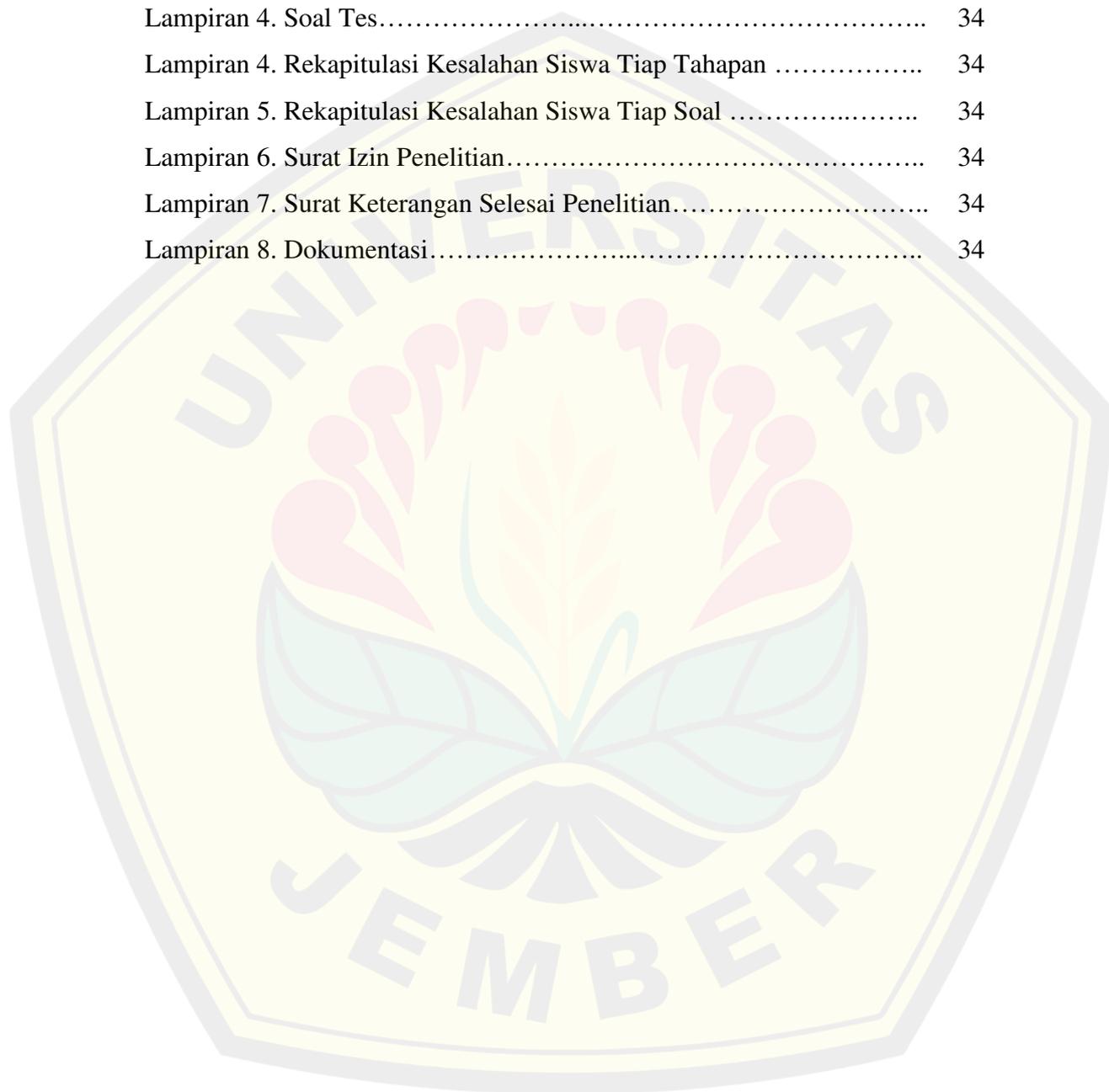
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kriteria Persentase Kesalahan Siswa 15
Tabel 4.1 Kesalahan Siswa dalam Menyelesaian Soal 16



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks Penelitian	34
Lampiran 2. RPP (Rencana Pelaksanaan Pembelajaran)	34
Lampiran 3. Kisi-Kisi, Rubrik Penilaian dan Kunci Jawaban Tes	34
Lampiran 4. Soal Tes.....	34
Lampiran 4. Rekapitulasi Kesalahan Siswa Tiap Tahapan	34
Lampiran 5. Rekapitulasi Kesalahan Siswa Tiap Soal	34
Lampiran 6. Surat Izin Penelitian.....	34
Lampiran 7. Surat Keterangan Selesai Penelitian.....	34
Lampiran 8. Dokumentasi.....	34



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Abad 21 mengindikasikan adanya transformasi besar dalam pembelajaran dengan melibatkan penerapan teknologi serta keterampilan peserta didik melalui aktivitas pembelajaran (Putri *et al.*, 2019; Rahayu *et al.*, 2022). Komisi bidang pendidikan UNESCO merekomendasikan salah satu landasan pendidikan perlu meliputi *learning to do*, yaitu belajar untuk melakukan suatu tindakan dan diarahkan pada pemecahan masalah (Sudarisman, 2015). Begitu pula pembelajaran fisika yang memiliki tujuan selaras dengan karakteristik pembelajaran abad 21 salah satunya adalah memecahkan masalah (Yuniani *et al.*, 2019). Kemampuan peserta didik memecahkan masalah dalam pembelajaran fisika yakni menyelesaikan persoalan fisika (F. W. Maharani *et al.*, 2018).

Pembelajaran fisika menjadi salah satu pembelajaran yang melibatkan penerapan teknologi dalam proses pembelajarannya. Pembelajaran tentunya melibatkan guru dalam menggunakan pengetahuannya secara profesional untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan oleh kurikulum (Suardi, 2018). Fisika dinyatakan juga sebagai salah satu mata pelajaran yang menjadi ilmu dasar bagi perkembangan teknologi (Dayana & Marbun, 2017). Mata pelajaran fisika yang tersaji di sekolah menengah atas (SMA) mengkaji secara luas mengenai kejadian alam dengan meliputi pengukuran serta menyajikan data secara matematis (Karlina *et al.*, 2017). Ilmu fisika tidak akan terlepas dari ilmu matematika, hal ini disebabkan sebagian besar teori dalam fisika dinyatakan dalam notasi matematis (Rhamim *et al.*, 2015). Konsep fisis dan matematis inilah yang menimbulkan anggapan bahwa fisika menjadi mata pelajaran yang sulit (Harefa, 2019). Pernyataan yang tersaji sebelumnya dapat diketahui bahwa pembelajaran fisika menjadi pembelajaran di bidang sains yang penyelesaian masalahnya berinteraksi langsung secara matematis.

Salah satu materi pembelajaran fisika yang memiliki tingkat kesulitan bagi peserta didik sehingga bernilai rendah yaitu kelistrikan (Subkan, 2020; Trisnawati *et al.*, 2020). Materi listrik dinamis menjadi salah satu pokok bahasan pada materi

kelistrikan tentang muatan listrik yang bergerak pada rangkaian listrik tertutup (loop). Analisa yang digunakan pada rangkaian listrik tertutup ini menggunakan Hukum Kirchoff (Giancoli, 2014). Wahyuni & Handhika (2018) menyatakan bahwa rata-rata persentase skor yang diperoleh pada peserta didik kelas XII pada Hukum Kirchoff kurang dari 65% dengan kategori rendah yang menunjukkan bahwa peserta didik mengalami kesulitan dalam belajar. Nofitasari & Sihombing (2017) memberikan penjelasan bahwa peserta didik mengalami kesulitan dengan persentase terbesar 71,42 pada pokok bahasan Hukum Kirchoff. Kesulitan belajar yang didapatkan oleh Cholis & Noortjahja (2013) serta Tulandi & Wejasu (2019) terjadi pada analisis konsep arus listrik terutama pada rangkaian listrik tertutup 2 loop. Perdana *et al.*, (2018) mengungkapkan bahwa sebanyak 48,6% siswa mengalami miskonsepsi dan 27,6% tidak menguasai konsep listrik dinamis. Sebesar 90% dari 30 responden melalui *google form* peserta didik di salah satu SMA Kabupaten Jember menyatakan bahwa materi kelistrikan pokok bahasan rangkaian listrik dinamis seperti Hukum Kirchoff pada rangkaian listrik majemuk tidak mudah untuk dipahami.

Secara umum, penyelesaian rangkaian listrik 2 loop masih menggunakan metode substitusi dan eliminasi yang membutuhkan waktu relatif lama karena membutuhkan analisis yang cukup panjang dan rumit serta memerlukan penjabaran lebih lanjut (Antoro *et al.*, 2020). Telah banyak penggunaan metode matematika didalam penyelesaian persoalan fisika terutama rangkaian listrik untuk menghemat waktu penyelesaian dengan menggunakan Gauss Gauss-Jordan, Gauss-Seidel, dan Cramer yang pada rangkaian listrik tertutup (Nurullaeli, 2020). Efisiensi penggunaan Aturan Cramer berbantuan metode minor-kofaktor didapatkan sebesar 66,99% yang masuk dalam kategor positif dengan artian memudahkan siswa dalam menganalisis rangkaian listrik tertutup 2 loop (Wahyudianti *et al.*, 2023). Maharani (2020) di dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa aturan Cramer lebih mudah dipahami oleh siswa dalam menyelesaikan rangkaian listrik 2 loop. Dari banyaknya metode matematika dalam penyelesaian persoalan fisika, maka peneliti ingin menggunakan metode matematis berupa aturan Cramer berbantuan metode Sarrus sebagai alternatif dalam penyelesaian persoalan rangkaian listrik tertutup 2 loop.

Proses pengerjaan peserta didik dalam menyelesaikan permasalahan dapat dijadikan sebagai parameter keberhasilan peserta didik dalam menguasai materi pelajaran (Rhamim *et al.*, 2015). Tiga hal yang paling utama dalam menyelesaikan permasalahan fisika yakni keterampilan berhitung, penguasaan konsep dan penerjemahan lambang fisika serta konversi satuan (Arief *et al.*, 2013). Hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti di salah satu sekolah menengah atas SMA didapatkan bahwa materi listrik dinamis termasuk materi yang sulit dikarenakan pada saat menyelesaikan suatu permasalahan diperlukannya prosesnya yang cukup panjang, sehingga terjadi beberapa kesalahan. Kesalahan siswa dalam menyelesaikan Hukum Kirchoff terjadi pada proses perhitungan sebesar 81,94% dengan faktor penyebabnya adalah ketidakteelitian dalam melakukan operasi matematis (Rahmat *et al.*, 2017). Melalui penelitiannya, Hidayatulloh (2020) menyimpulkan bahwa kesalahan peserta didik diakibatkan beberapa faktor meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian.

Berdasarkan pernyataan diatas, perlu dilakukan penelitian yang menginvestigasi kesalahan siswa dalam penyelesaian soal rangkaian listrik 2 loop menggunakan metode matematis berupa aturan Cramer berbantuan metode Sarrus pada materi rangkaian listrik. Dengan demikian, peneliti tertarik melaksanakan penelitian dengan judul “*Investigasi Kesalahan Siswa dalam Pengerjaan Aturan Cramer Berbantuan Metode Sarrus Pada Materi Rangkaian Listrik*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang yang telah disajikan, maka terdapat rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: “Bagaimana kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik DC sederhana 2 loop menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus?”.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah menginvestigasi kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik DC sederhana 2 loop menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari kepenulisan naskah ini adalah:

- a. Bagi siswa, dengan adanya aturan Cramer berbantuan metode Sarrus dapat dijadikan alternatif dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik DC sederhana 2 loop.
- b. Bagi guru, dengan adanya aturan Cramer berbantuan metode Sarrus dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk diterapkannya alternatif pengerjaan soal fisika yang disesuaikan dengan kurikulum
- c. Bagi peneliti lanjutan, kepenulisan naskah ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan, dasar penelitian lanjutan serta rujukan untuk peneliti berikutnya pada materi lain.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hakikat Fisika

Fisika adalah disiplin ilmu yang mempelajari dunia dan isinya dari bentuk nyata hingga abstrak atau bahkan teoretis yang dibahas melalui imajinasi para ilmuwan (Rizaldi *et al.*, 2020). Harefa (2019) menyatakan bahwa fisika adalah studi yang membahas mengenai apa yang ada di dalam alam semesta beserta sifat dan perilakunya. Fisika sebagai ilmu yang terstruktur serta pengalaman yang telah didapatkan dari percobaan dalam bentuk fakta, konsep, penilaian serta teori (Lusiani *et al.*, 2021). Fisika merupakan ilmu pengetahuan yang berisikan mengenai gejala alam dengan penyajian sederhana di dalam bahasa matematika serta mudah dipahami dari hasil penelitian, penyajian secara matematis (Pratama & Istiyono, 2015). Nurdin (2017) menyatakan bahwa matematika dan fisika memiliki tautan yang kuat yaitu penggunaan metode matematika di dalam fisika.

Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan (2014) di dalam kerangka Kurikulum 2013 menyatakan bahwa pembelajaran fisika memiliki tujuan yang harus dipenuhi berupa penguasaan konsep serta prinsip pada peserta didik untuk mengembangkan pengetahuan dengan memiliki keterampilan yang dapat digunakan untuk melanjutkan pendidikan selanjutnya. Hosnah *et al.*, (2017) mengungkapkan bahwa tujuan pembelajaran fisika adalah dengan mengembangkan kemampuan peserta didik untuk menganalisis secara induktif maupun deduktif dalam menyelesaikan permasalahan menggunakan persamaan matematis atau prinsip fisika. Tujuan pembelajaran fisika juga dijelaskan Yusuf *et al.*, (2020) yaitu meningkatkan kemampuan berfikir yang dimiliki oleh peserta didik tidak hanya secara psikomotorik dan kognitif, sehingga peserta didik memiliki pola pikir secara sistematis, objektif dan kreatif

2.2 Kesalahan Siswa

Kesalahan siswa merupakan suatu kesalahan yang dilakukan oleh siswa dalam menyelesaikan persoalan fisika dimana setiap proses belajarnya dipengaruhi oleh lingkungan atau kondisi belajar di dalam kelas. Hal itu terjadi disebabkan oleh

minimnya kemauan siswa dalam menekuni ilmu fisika serta keterbatasan waktu (Andiasari, 2015). Menurut Hastuti *et al.*, (2013) di dalam penelitiannya, terdapat lima tipe kesalahan siswa dalam menuntaskan persoalan fisika antara lain, (1) kesalahan konsep yakni kekeliruan mengenai konsep yang tidak sesuai dengan konsep yang disepakati oleh ahli. (2) kesalahan memakai data yakni kekeliruan akibat tidak menggunakan data yang sepatutnya digunakan. (3) kesalahan perhitungan yakni kekeliruan dalam aritmatika seperti penambahan, pengurangan, perkalian dan pembagian. (4) kesalahan strategi yakni kesalahan dalam menyelesaikan suatu masalah seperti kesalahan menggunakan rumus. (5) tidak dijawab yakni siswa tidak menuliskan jawaban dari soal yang diberikan. Juwariyah *et al.*, (2018) dalam penelitiannya menyatakan kesalahan siswa dalam menyelesaikan persoalan fisika terdapat empat jenis antara lain (1) kesalahan konseptual dimana siswa tidak dapat menuliskan data yang diketahui serta data yang ditanyakan soal dimasukkan dalam simbol fisika yang tepat. (2) kesalahan menggunakan data dimana siswa tidak dapat menanggapi soal melalui gambar serta kesalahan dalam mengkonversi ke satuan internasional (SI). (3) kesalahan strategi dimana siswa tidak dapat menuliskan rumus yang digunakan. (4) kesalahan hitung dimana peserta didik memiliki kesalahan dalam operasi matematika.

Kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal perlu adanya tindak lanjut, sebab seperti yang diungkapkan oleh Rahmat *et al.*, (2017) apabila tidak ada tindak lanjut untuk mengetahui jenis kesalahan siswa akan mengakibatkan kesalahan dalam menyelesaikan soal terus berlanjut. Menurut Handayani *et al.*, (2020) faktor yang mempengaruhi kesalahan siswa adalah faktor internal dan faktor eksternal. Dalam hal ini, peneliti fokus kepada faktor internal siswa yakni menginvestigasi kesalahan siswa dengan bagaimana cara siswa dapat menyelesaikan soal yang sedang dihadapi menggunakan soal tes dan diklasifikasikan pada 4 jenis kesalahan yakni kesalahan konseptual, kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung.

2.3 Aturan Cramer dalam Sistem Persamaan Linear

Sistem persamaan linear merupakan salah satu bentuk dan masalah matematis yang banyak ditemui di dalam beragam disiplin salah satunya termasuk penyelesaian permasalahan fisika (Putriatama & Yohanes, 2022). Dalam Ghodang (2021) sistem persamaan linear 3 variabel dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \dots\dots \text{sebagai persamaan 1} \quad (2.1)$$

$$a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \dots\dots \text{sebagai persamaan 2} \quad (2.2)$$

$$a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \dots\dots \text{sebagai persamaan 3} \quad (2.3)$$

Dalam permasalahan mengenai sistem persamaan linear, untuk menyelesaikan secara cepat dapat menggunakan salah satu metode secara langsung yaitu metode cramer. Aturan cramer adalah metode untuk menetapkan nilai variabel dari sistem persamaan linear menggunakan determinan matriks (Anam & Arnas, 2019). Aturan Cramer adalah suatu aturan yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan sistem persamaan linear yang ditemukan oleh matematikawan dari Swiss yang bernama Gabriel Cramer (Devita, 2022). Ghodang (2021) menyatakan apabila sistem persamaan linear memiliki 3 variabel dalam matriks berordo 3 x3 akan memiliki bentuk umum sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Untuk menentukan nilai dari variabel x, y dan z dapat menggunakan aturan Cramer sebagai berikut:

$$x = \frac{X}{A} \quad y = \frac{Y}{A} \quad z = \frac{Z}{A} \quad (2.5)$$

dengan,

$$A = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ b_2 & b_2 & c_2 \\ c_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}; X = \begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}; Y = \begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}; Z = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}$$

dan,

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \text{ merupakan bentuk determinan dari } \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

2.4 Metode Sarrus dalam Menentukan Determinan Matriks

Metode sarrus ditemukan oleh Piere Sarrus seorang matematikawan Perancis sebagai pengembangan atas definisi determinan matriks yang menggunakan ordo 2 dan 3 dengan menggunakan perkalian pada entri-entri matriks dengan mengikuti pola diagonal turun dan diagonal naik. Diagonal turun diberikan tanda positif dan diagonal naik diberikan tanda negatif (Zaini, 2018). Determinan matriks memiliki peranan dalam menyelesaikan soal mengenai sistem persamaan linear (Rahma *et al.*, 2019). Metode sarrus hanya dapat digunakan untuk mencari besar nilai determinan dari matriks dengan ordo maksimal adalah 3x3, berikut adalah penerapan pada ordo 3x3 menggunakan sarrus:

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccc|cc} a_1 & b_1 & c_1 & a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & a_3 & b_3 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{ccc|cc} a_1 & b_1 & c_1 & a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & a_3 & b_3 \end{array} \right. \end{array}$$

Besar dari nilai $|A|$ adalah $a_1b_2c_3 + b_1c_2a_3 + c_1a_2b_3 - a_3b_2c_1 - b_3c_2a_1 - c_3a_2b_1$ (Artini, 2017). Soebagyo *et al.*, (2020) menyatakan bahwa dalam kasus determinan yang memiliki ordo 3x3 dapat dihitung dengan penjumlahan dari perkalian produk diagonal kanan dikurangi dengan penjumlahan dari perkalian produk diagonal kiri sebagai berikut:

$$\begin{array}{c} \boxed{-} \quad \boxed{-} \quad \boxed{-} \\ \left| \begin{array}{ccc|cc} a_1 & b_1 & c_1 & a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & a_3 & b_3 \end{array} \right. \\ \boxed{+} \quad \boxed{+} \quad \boxed{+} \end{array}$$

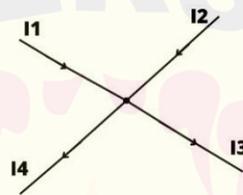
2.5 Rangkaian Listrik Tertutup

Rangkaian listrik merupakan rangkaian yang tersusun dari komponen listrik dengan cara dihubungkan dengan menerapkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff serta paling sedikit memiliki satu lintasan tertutup (Wartana, 2017). Sundaygara *et al.*, (2018) menyatakan bahwa George Simon Ohm sebagai penemu eksperimen mengenai arus listrik didapatkan pada suatu rangkaian dengan menambahkan beda potensial berupa baterai. Arus yang berada di kawat logam

akan memiliki besar yang sebanding dengan beda potensial yang mengalir pada setiap ujung-ujung dan dipengaruhi besar hambatan pernyataan matematis sering dikenal dengan Hukum Ohm yaitu:

$$V = IR \quad (2.6)$$

Gustav Robert Kirchoff merupakan fisikawan berasal dari Jerman yang berhasil mengemukakan Hukum Kirchoff yang terdiri dari 2 persamaan yaitu *Kirchoff Current Law* (KCL) dan *Kirchoff Voltage Law* (KVL) (Putra *et al.*, 2018). Hukum pertama Kirchoff atau Hukum arus menjelaskan bahwa besarnya arus yang masuk dan yang keluar adalah sama. Hukum pertama kirchoff dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Hukum pertama Kirchoff

Dari gambar diatas diartikan bahwa besarnya arus yang masuk pada I_1 dan I_2 akan memiliki nilai yang sama dengan besarnya arus yang keluar yaitu I_3 dan I_4 . Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\sum I \text{ masuk} = \sum I \text{ keluar} \quad (2.7a)$$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 \text{ (Soebyakto, 2017).} \quad (2.7b)$$

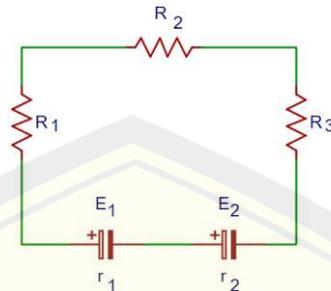
Hukum kedua Kirchoff atau hukum tegangan menjelaskan mengenai besar dari seluruh tegangan atau perubahan potensial di dalam lintasan rangkaian tertutup sama dengan 0 (Putra *et al.*, 2018). Soebyakto (2017) menyatakan bahwa pada rangkaian tertutup, jumlah dari gaya gerak listrik (ϵ) akan memiliki besar yang sama dengan jumlah dari perkalian arus dan hambatan (IR). Secara matematika akan dituliskan sebagai berikut:

$$\sum \epsilon = \sum IR \quad (2.8)$$

A. Rangkaian Listrik 1 Loop

Loop merupakan suatu wilayah di dalam rangkaian listrik secara tertutup. Di dalam rangkaian listrik, loop diibaratkan sebagai arah dari aliran arus listrik yang berada dalam satu rangkaian tertutup. Arah pada loop harus sesuai dengan arah arus

konvergensinya yaitu keluar dari kutub positif dari sumber tegangannya (Muskhir & Latif, 2021). Rangkaian listrik satu loop adalah rangkaian yang hanya memiliki 1 rangkaian tertutup dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Rangkaian listrik 1 loop

Dari gambar diatas maka untuk persamaan matematisnya dengan menggunakan persamaan (2.8) akan didapatkan sebagai berikut:

$$-\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = I(R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2) \quad (2.9)$$

B. Rangkaian Listrik 2 Loop

Rangkaian listrik dua loop adalah rangkaian majemuk yang tersusun atas 2 loop serta memiliki aturan yaitu (a) arah arus ditentukan pada masing-masing loop (b) arah searah dianggap bernilai positif dan berlawanan dianggap negatif (c) pada satu loop kuat arus adalah sama dari titik cabang ke titik berikutnya (d) nilai ε akan memiliki nilai positif bila searah dengan loop dan bernilai negatif bila berlawanan arah loop (e) bila hasil akhir adalah negatif, maka arah yang ditentukan adalah berlawanan.

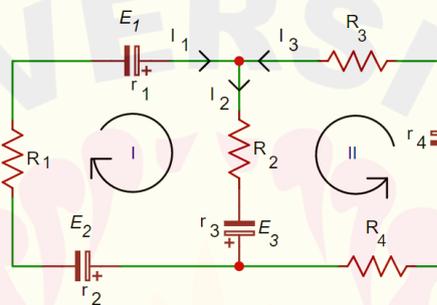
Penyelesaian rangkaian listrik 2 loop yang umum digunakan peserta didik adalah Hukum Kirchoff dimana dalam tahapan perhitungan melibatkan metode substitusi eliminasi dengan proses yang cukup panjang (Antoro *et al.*, 2020). Tahapan untuk menganalisis rangkaian listrik 2 loop sebagai berikut:

- a. Menentukan arah loop pada masing-masing lintasan tertutup menggunakan arah tertentu. Dasar penentuan arah loop adalah bebas, baik searah maupun berlawanan arah.
- b. Menganalisis rangkaian listrik tertutup 2 loop ini menggunakan Hukum Ohm yakni $V = IR$. Jika arah loop searah dengan arah arus, maka tegangan bernilai

postif. Jika arah loop berlawanan dengan arah arus, maka tegangan bernilai negatif.

- c. Memformulasikan persamaan pada setiap loop serta pada rangkaian menggunakan Hukum Kirchoff untuk dilakukannya metode substitusi.
- d. Untuk memperoleh besar kuat arus yang mengalir pada setiap cabangnya dapat dilakukan menggunakan metode eliminasi, sehingga memperoleh besar arus pada setiap cabangnya.

Penentuan arah loop pada rangkaian listrik dua loop dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Rangkaian listrik 2 loop

Pada persamaan loop 1 dan loop 2 dengan menggunakan persamaan (2.8) Hukum Kirchoff II (Hukum Tegangan) sehingga akan berlaku sebagai berikut:

Loop 1:

$$\varepsilon_2 - \varepsilon_1 + \varepsilon_3 = I_1 (R_1 + r_1 + r_2) + I_2 (R_2 + r_3) \quad (2.10)$$

Loop 2:

$$-\varepsilon_3 - \varepsilon_4 = I_2 (R_2 + r_3) + I_3 (R_3 + r_4 + R_4) \quad (2.11)$$

(Soebyakto, 2017)

Pada titik A berlaku Hukum Kirchoff I (Hukum Arus) sebagai berikut:

$$I_2 = I_1 + I_3 \quad (2.12)$$

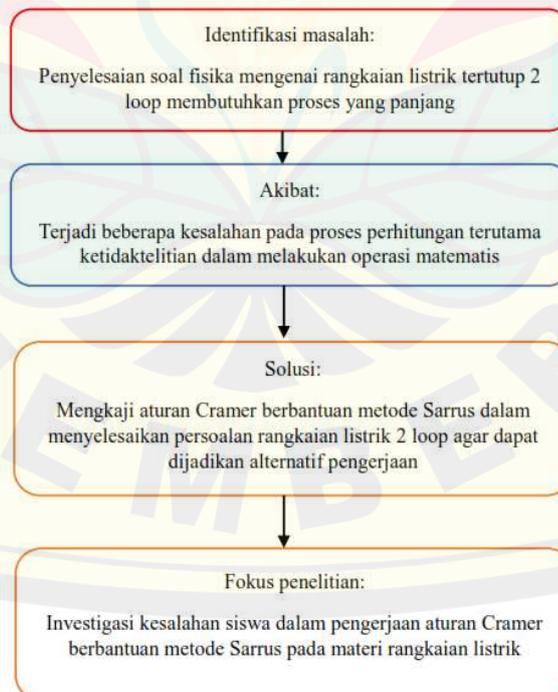
2.6 Penelitian Relevan

Berikut ini penelitian yang telah dilakukan yang memiliki korelevanan mengenai topik bahasan:

- a. Penelitian oleh Supriadi, B. *et al* pada tahun 2023 dengan judul “*Pythagorean Theorem for Solving Simple RLC Circuit Problems*” diperoleh hasil yaitu

- penyelesaian soal rangkaian listrik yang terdiri dari hambatan, inductor dan kapasitor menggunakan teorema pythagoras.
- Penelitian oleh Devita pada tahun 2022 dengan judul “Eksistensi Metode Cramer Sebagai Solusi Penyelesaian SPL Dalam Kasus Rangkaian Listrik” diperoleh hasil yaitu menerapkan hukum kirchoff hingga mendapatkan persamaan, ubah menjadi sistem persamaan, representasikan menjadi matriks dan hitung kuat arus dengan metode Cramer.
 - Penelitian oleh Anam dan Arnas pada tahun 2019 dengan judul “Metode Cramer Untuk Solusi Analisa Rangkaian Listrik Menggunakan Scilab” diperoleh nilai matriks A dan B, menghitung determinan matriks, mencari matriks A1 sampai An, mencari nilai masing-masing variabel dengan menggunakan program Scilab.
 - Penelitian oleh Misnawati *et al* pada tahun 2018 dengan judul “Metode Cramer Untuk Menentukan Solusi Sistem Persamaan Interval Linear” diperoleh matriks midpoint, menghitung gradient, menentukan elemen matriks baru.

2.7 Kerangka Berfikir



Gambar 2.4 Kerangka berfikir

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis, Tempat dan Waktu Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yakni deskriptif kuantitatif. Penelitian ini berisikan bermacam informasi serta data yang berhubungan dengan kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik 2 loop untuk diinvestigasi. Penelitian deskriptif memiliki tujuan untuk mendeskripsikan secara sistematis dari objek yang hendak diteliti. Pemilihan sekolah sebagai tempat penelitian menggunakan *purposive sampling area*, yakni memiliki kesamaan masalah terhadap topik riset serta kesediaan sekolah sebagai tempat berlangsungnya penelitian. Berdasarkan hal tersebut, peneliti akan melaksanakan penelitian di salah satu SMA Kabupaten Jember yang dilaksanakan pada semester gasal 2023/2024.

3.2 Subjek Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan populasi berupa peserta didik kelas XII MIPA di salah satu SMA Kabupaten Jember tahun ajaran 2023/2024. Pemilihan sampel menggunakan *purposive sampling*. Kelas sampel yang digunakan adalah satu kelas yakni kelas XII MIPA 3 dengan jumlah siswa sebanyak 30 orang.

3.3 Definisi Operasional

Definisi operasional variabel berisikan mengenai pengertian dari variable yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghindari pemahaman yang meluas dan berbeda pendapat. Operasi variable penelitian ini adalah:

a. Kesalahan siswa

Kesalahan siswa merupakan kesalahan yang dilakukan oleh siswa dalam menyelesaikan persoalan fisika. Indikator kesalahan siswa dalam penelitian ini adalah kesalahan konseptual, kesalahan kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung sesuai yang dijabarkan oleh Juwariyah *et al.*, (2018).

b. Aturan Cramer berbantuan Metode Sarrus

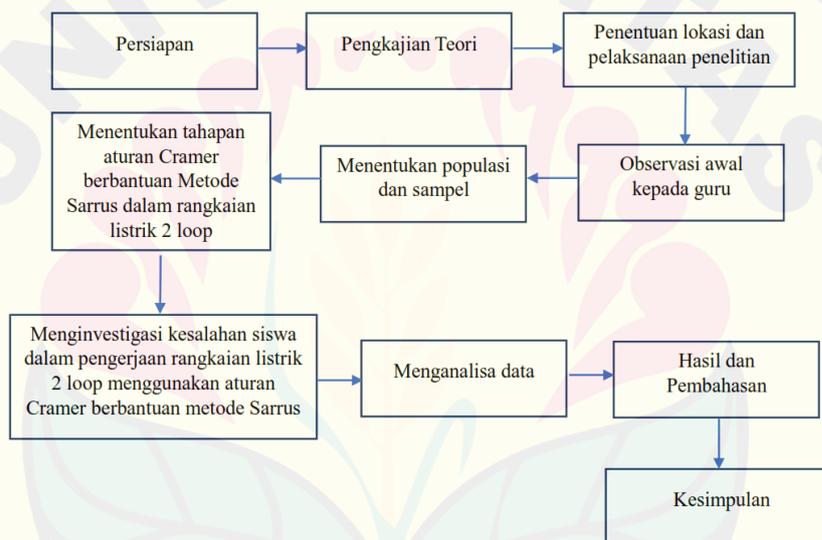
Aturan Cramer berbantuan metode Sarrus merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan rangkaian listrik 2 loop dengan menentukan nilai determinan sistem persamaan linear dari loop.

c. Rangkaian listrik 2-loop

Rangkaian listrik 2-loop adalah rangkaian listrik tertutup yang menerapkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff serta memiliki dua lintasan tertutup.

3.4 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian akan dijelaskan melalui skema penelitian sebagai gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Prosedur Penelitian

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, peneliti tentunya memerlukan pengumpulan data sebagai pelengkap. Salah satu teknik pengumpulan data adalah tes. Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini merupakan soal tes yang berisikan 5 soal uraian. Soal tes dirancang untuk keperluan menginvestigasi kesalahan siswa dalam proses pengerjaannya. Soal tersebut dikerjakan oleh peserta didik selama 45 menit.

3.6 Teknik Analisis Data

Analisis data berisikan proses pencarian dan penyusunan data yang diperoleh dari hasil pengumpulan data secara sistematis melalui soal tes. Hasil tes siswa akan dianalisis dan dikoreksi sesuai rubrik penilaian yang telah ditentukan. Tahapan selanjutnya menganalisis kesalahan siswa dengan dikelompokkan sesuai dengan kategori kesalahan siswa yakni kesalahan konseptual, kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung. Peneliti dapat menarik kesimpulan agar mendapatkan hasil untuk menjawab sebuah rumusan masalah. Analisis data dari penelitian ini dengan menghitung persentase bersumber dari jumlah siswa yang melakukan kesalahan dalam menyelesaikan soal rangkaian listrik 2 loop. Menurut Safitri *et al.*, (2019) kesalahan siswa dapat diketahui persentasenya dengan rumus yang digunakan adalah:

$$p = \frac{f}{n} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan keterangan:

p = persentase kesalahan siswa

f = frekuensi

n = jumlah totalitas siswa

Hasil persentase akan diinterpretasikan menggunakan kriteria tingkat kesalahan siswa sebagai berikut:

Tabel 3.1 Kriteria Persentase Kesalahan Siswa

Interpretasi	Kriteria
$0\% \leq p \leq 40\%$	Rendah
$40,1\% \leq p \leq 60\%$	Cukup
$60,1\% \leq p \leq 100\%$	Tinggi

Sumber: dimodifikasi dari Rohmah (2020)

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang dibahas dalam penelitian ini merupakan data deskriptif mengenai kesalahan siswa menyelesaikan soal rangkaian listrik 2-loop dengan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus. Penelitian dilaksanakan pada semester gasal tahun ajaran 2023/2024. Data yang telah terkumpul melalui hasil tes peserta didik akan diinvestigasi melalui pengelolaan data meliputi mengoreksi data sesuai rubrik yang ditetapkan dan menggolongkan kesalahan siswa dalam bagian yang lebih spesifik kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan dibahas untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini. Setelah itu peneliti dapat menyimpulkan untuk menjawab rumusan masalah mengenai investigasi kesalahan siswa menyelesaikan soal rangkaian listrik DC sederhana 2 loop menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus. Kesalahan siswa dengan 4 jenis akan dikelompokkan sesuai dengan tahapan mengerjakan rangkaian listrik DC sederhana 2 loop, kesalahannya antara lain kesalahan konseptual, kesalahan kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung. Berikut adalah hasil investigasi kesalahan siswa dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kesalahan Siswa dalam Menyelesaian Soal

Indikator Kesalahan	Frekuensi Siswa					Jumlah Siswa dan Persentase	Kategori
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Kesalahan konseptual	5	9	13	4	5	36 (24%)	Rendah
Kesalahan menggunakan data	1	3	2	1	1	8 (5,33%)	Rendah
Kesalahan strategi	4	3	15	6	4	32 (21,33%)	Rendah
Kesalahan hitung	5	4	15	6	4	34 (22,66%)	Rendah

Hasil penelitian pada indikator kesalahan konseptual disebabkan ketika siswa tidak menentukan arah loop pada setiap lintasan tertutup atau salah dalam menentukan arah loop serta kesalahan konsep dalam menyusun matriks terjadi pada siswa sebanyak 36 dari total keseluruhan soal yang berada dalam tes. Hasil penelitian pada indikator kesalahan menggunakan data disebabkan ketika siswa salah menggunakan data untuk persamaan loop 2 dimasukkan ke dalam persamaan loop 1 serta kesalahan siswa dalam menggunakan data untuk menentukan determinan matriks. Siswa yang melakukan kesalahan menggunakan data ini terjadi pada 8 anak dari total keseluruhan soal yang berada dalam tes. Hasil penelitian pada indikator kesalahan strategi disebabkan ketika siswa tidak dapat menuliskan rumus yang digunakan. Rumus yang dimaksud yakni rumus Hukum Kirchoff 1 dan 2 dalam menentukan sistem persamaan linear dan rumus untuk determinan matriks. Siswa yang melakukan kesalahan strategi ini terjadi pada 32 anak dari total keseluruhan soal yang berada dalam tes. Hasil penelitian pada indikator kesalahan hitung disebabkan ketika siswa tidak dapat melakukan operasi matematis secara tepat. Siswa yang melakukan kesalahan strategi ini terjadi pada 34 anak dari total keseluruhan soal yang berada dalam tes.

4.2 Pembahasan

Tentunya ilmu fisika tidak akan terlepas dari ilmu matematika dikarenakan sebagian besar teori dalam fisika dinyatakan dalam notasi matematis. Keterampilan berhitung menjadi salah satu hal yang paling utama dalam pembelajaran fisika. Namun, kesalahan siswa dalam menyelesaikan Hukum Kirchoff terjadi pada proses perhitungan dengan faktor penyebabnya adalah ketidaktelitian dalam melakukan operasi matematis serta metode substitusi eliminasi yang membutuhkan proses cukup panjang. Oleh karena itu, hasil penelitian ini akan membahas terkait aturan Cramer berbantuan metode Sarrus dalam menyelesaikan persoalan rangkaian listrik DC sederhana 2 loop dan menginvestigasi kesalahan siswa dalam mengerjakan persoalan fisika.

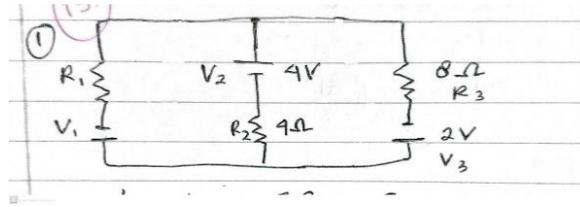
Kesalahan siswa merupakan suatu kesalahan yang dilakukan oleh siswa dalam menyelesaikan persoalan fisika dengan salah satu faktornya minimnya

kemauan siswa dalam menekuni ilmu fisika (Andiasari *et al.*, 2015). Kesalahan siswa pada penelitian ini digolongkan menjadi 4 jenis yakni kesalahan konseptual, kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung (Juwariyah *et al.*, 2018). Tujuan penelitian ini yaitu untuk menginvestigasi kesalahan siswa dalam pengerjaan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus pada materi rangkaian listrik. Adapun kesalahan siswa dapat ditinjau dari 4 jenis kesalahan pada pengerjaan 5 soal dengan tahapan menentukan arah loop disertai sistem persamaan linear, mengubah sistem persamaan linear ke dalam bentuk matriks disertai menentukan determinan matriks, menentukan matriks untuk arus yang dicari serta menentukan determinan matriks, menentukan besar arus menggunakan aturan Cramer.

Pada penelitian ini, kesalahan siswa diinvestigasi melalui hasil pengerjaan tes menggunakan 5 soal uraian dimana setiap jawaban siswa harus meliputi indikator tahapan penyelesaian yang digunakan. Namun, sebelum itu, peneliti memberikan pembelajaran mengenai aturan Cramer berbantuan metode Sarrus dalam rangkaian listrik DC sederhana 2 loop. Pembelajaran ini dilakukan sebanyak 2 kali pertemuan. Setelah dilaksanakan pembelajaran, peneliti memberikan sebuah tes yang berisikan 5 soal uraian. Berikut ini merupakan pembahasan hasil penelitian kesalahan siswa dalam pengerjaan soal.

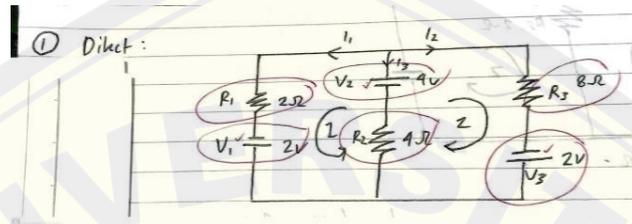
A. Kesalahan Konseptual

Kesalahan konseptual terjadi pada 36 siswa dari keseluruhan soal tes dengan persentase sebesar 24% yang masuk dalam kategori rendah dengan artian bahwa siswa tidak banyak melakukan kesalahan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, siswa dikatakan melakukan kesalahan konseptual apabila tidak adanya penggambaran loop pada setiap lintasan tertutup. Proses yang mencerminkan tidak adanya kesalahan adalah ketika siswa mampu menggambarkan ulang rangkaian dilengkapi dengan arah loop pada setiap lintasan tertutup. Berikut adalah contoh kesalahan siswa pada indikator pertama disajikan pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Contoh kesalahan konseptual oleh siswa RD

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan konseptual disajikan pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Contoh tidak adanya kesalahan konseptual oleh siswa DPKA

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan konsep pada indikator ini terjadi ketika siswa tidak dapat menggambarkan rangkaian secara lengkap dan tidak menggambarkan arah loop dan arah arus pada rangkaian. Berbeda dengan siswa yang tidak melakukan kesalahan pada indikator pertama. Siswa yang tidak melakukan kesalahan konseptual dapat menggambarkan rangkaian dengan lengkap dan menentukan arah loop pada setiap lintasan dengan sesuai. Setelah itu, siswa menyusun persamaan pada rangkaian tersebut.

Tidak hanya menentukan arah loop dalam setiap lintasan tertutup saja untuk kesalahan konseptual, namun terjadi juga pada siswa apabila tidak runtut dalam menyusun sistem persamaan linear pada matriks. Proses yang mencerminkan tidak terjadinya kesalahan adalah ketika siswa mampu menyusun matriks dengan lengkap. Berikut adalah contoh kesalahan konseptual siswa disajikan pada gambar 4.3 berikut.

$$A = \begin{bmatrix} 12 & 0 & 2 \\ 0 & 4 & 2 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

$$\det A = \begin{vmatrix} 12 & 0 & 2 \\ 0 & 4 & 2 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix} = 12 \cdot 0 - 2 \cdot 0 - 4 \cdot 4 = 48 - 8 - 24 = -80$$

Gambar 4.3 Contoh kesalahan konseptual oleh siswa RF

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan konseptual disajikan pada gambar 4.4 berikut.

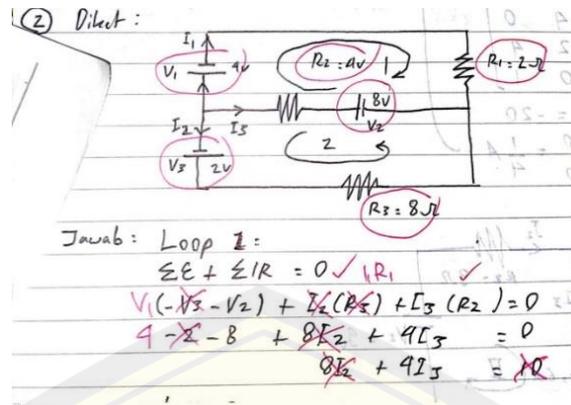
$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{c} 11 \quad 12 \quad 13 \\
 A = \begin{bmatrix} 12 & 0 & 2 \\ 0 & 4 & 2 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 11 \\ 12 \\ 13 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{array} \\
 \det A = \begin{vmatrix} 12 & 0 & 2 & 12 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 & 4 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \\
 \det A = -48 - 8 - 24 = -80
 \end{array}$$

Gambar 4.4 Contoh tidak adanya kesalahan konseptual oleh siswa KPJD

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan konsep terjadi ketika siswa tidak dapat menuliskan secara urut mengenai matriks yang didapatkan dari sistem persamaan linear. Siswa menuliskan matriks secara terbalik seperti matriks bujursangkar yang anggotanya adalah koefisien dari sistem persamaan linear lalu matriks kolom yang anggotanya adalah konstanta dari sistem persamaan linear dan yang terakhir matriks kolom dengan anggota variabel sistem persamaan yang hendak ditentukan nilainya. Siswa yang tidak melakukan kesalahan konseptual dapat menuliskan secara urut mengenai matriks yang didapatkan dari sistem persamaan linear yakni matriks bujursangkar dengan anggota koefisien dari persamaan linear lalu matriks kolom dengan anggota variabel sistem persamaan yang hendak ditentukan nilainya dan yang terakhir matriks kolom yang anggotanya adalah konstanta dari sistem persamaan linear.

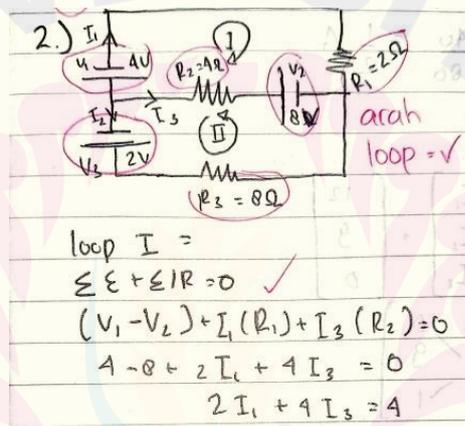
B. Kesalahan Menggunakan Data

Kesalahan menggunakan data terjadi pada 8 siswa dari keseluruhan soal tes dengan persentase sebesar 5,33% yang masuk dalam kategori rendah dengan artian bahwa siswa tidak banyak melakukan kesalahan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, siswa dikatakan melakukan kesalahan menggunakan data apabila menggunakan data yang tidak sesuai dalam membuat sistem persamaan linear loop. Proses yang mencerminkan tidak terjadi kesalahan adalah ketika siswa mampu menggunakan data dengan benar. Berikut adalah contoh kesalahan siswa pada indikator pertama disajikan pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Contoh kesalahan menggunakan data oleh siswa ARF

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan menggunakan data disajikan pada gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Contoh tidak adanya kesalahan menggunakan data oleh siswa AR

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan menggunakan data pada indikator ini terjadi ketika siswa menginput data untuk persamaan loop dua ke persamaan loop satu. Berbeda dengan siswa yang tidak melakukan kesalahan pada indikator pertama. Siswa yang tidak melakukan kesalahan menggunakan data telah sesuai dalam menginput data.

Kesalahan menggunakan data tentunya tidak terjadi pada saat penentuan sistem persamaan linear saja. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, siswa dikatakan melakukan kesalahan menggunakan data apabila determinan tidak sesuai dengan sistem persamaan linear. Proses yang mencerminkan tidak terjadinya kesalahan dalam menggunakan data yakni ketika siswa mampu menginput data sesuai dengan apa yang diperlukan. Berikut adalah contoh kesalahan menggunakan

data pada siswa saat menggunakan data untuk menentukan determinan matriks disajikan pada gambar 4.7 berikut.

The image shows a student's handwritten work on lined paper. At the top, a matrix equation is written: $A = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 12 \\ 0 & 12 & 12 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix}$. Below this, the determinant is calculated as $\det A = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 12 & 4 & 0 \\ 0 & 12 & 12 & 0 & 12 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$. The calculation is marked as incorrect with a red arrow and the word "salah!". The final result is $\det A = -48$. There are several red circles and lines crossing out parts of the determinant matrix, indicating errors in the student's work.

Gambar 4.7 Contoh kesalahan menggunakan data oleh siswa MAW

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan menggunakan data disajikan pada gambar 4.8 berikut.

The image shows a student's handwritten work on lined paper. At the top, a matrix equation is written: $A = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 12 \\ 0 & 12 & 12 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix}$. Below this, the determinant is calculated as $\det A = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 12 & 4 & 0 \\ 0 & 12 & 12 & 0 & 12 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$. The calculation is correct, and the final result is $\det A = -48 - 144 - 48 = -240$.

Gambar 4.8 Contoh tidak adanya kesalahan menggunakan data oleh siswa SNA

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan menggunakan data pada saat menentukan determinan matriks terjadi ketika siswa menginput konstanta dari sistem persamaan linear untuk menentukan determinan I_3 ke determinan A. Berbeda dengan siswa yang tidak melakukan kesalahan menggunakan data dalam menentukan determinan matriks. Siswa yang tidak melakukan kesalahan menggunakan data telah sesuai dalam menginput data.

C. Kesalahan strategi

Kesalahan strategi terjadi pada 32 siswa dari keseluruhan soal tes dengan persentase sebesar 21,33% yang masuk dalam kategori rendah dengan artian bahwa siswa tidak banyak melakukan kesalahan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesalahan ini terjadi ketika siswa tidak dapat menuliskan rumus yang digunakan. Siswa hanya menuliskan hasilnya tanpa menulis hasil tersebut dibangun dari rumus apa. Proses yang mencerminkan tidak terjadinya kesalahan strategi

adalah ketika siswa mampu menuliskan rumus secara rinci. Berikut adalah contoh kesalahan siswa pada indikator pertama disajikan pada gambar 4.9 berikut.

Handwritten student work for Gambar 4.9:

$$\sum \mathcal{E} + \sum IR = 0$$

$$(-V_3 - V_2) + I_2 (R_3) + I_3 (R_2) = 0$$

$$-2 - 4 + 8I_2 + 4I_3 = 0$$

$$8I_2 + 4I_3 = 6$$

Tuliskan rumus $\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$ dulu!

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 4 \\ 8 & 4 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 6 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.9 Contoh kesalahan menggunakan data oleh siswa MK

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan strategi disajikan pada gambar 4.10 berikut.

Handwritten student work for Gambar 4.10:

$$\sum \mathcal{E} + \sum IR = 0$$

$$(-V_1 - V_2) + I_1 (R_1) + I_3 (R_2) = 0$$

$$-2 - 4 + 2I_1 + 4I_3 = 0$$

$$2I_1 + 4I_3 = 6$$

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

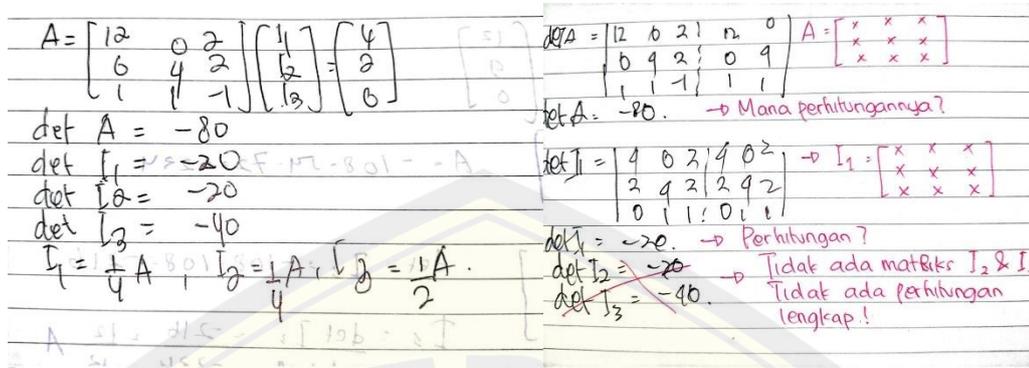
de

Gambar 4.10 Contoh tidak adanya kesalahan menggunakan data oleh siswa HAD

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan strategi terjadi ketika tidak menuliskan rumus secara lengkap mengenai rumus yang digunakan seperti penentuan sistem persamaan linear dengan menggunakan Hukum Kirchoff 1 dan 2. Berbeda dengan siswa yang tidak melakukan kesalahan strategi, siswa dapat menuliskan secara lengkap rumus apa yang dibutuhkan dalam menyusun sistem persamaan linear dengan menggunakan Hukum Kirchoff 1 dan 2.

Kesalahan strategi tentunya tidak terjadi pada saat penentuan sistem persamaan linear saja. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesalahan ini juga terjadi ketika siswa tidak dapat menuliskan rumus runtut yang digunakan pada saat menentukan besar arus menggunakan aturan Cramer dari determinan matriks yang ditentukan menggunakan metode Sarrus. Proses yang mencerminkan tidak adanya kesalahan adalah ketika siswa mampu menuliskan

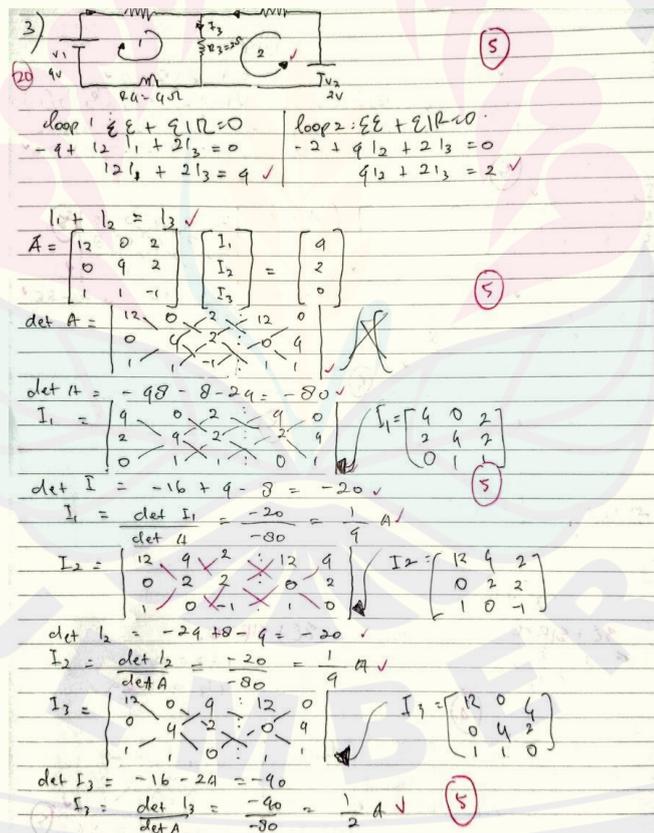
rumus secara rinci. Berikut adalah contoh kesalahan siswa pada indikator pertama disajikan pada gambar 4.11 berikut.



(a) (b)

Gambar 4.11 Contoh kesalahan strategi (a) oleh siswa PN (b) oleh siswa YWY

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan strategi disajikan pada gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Contoh tidak adanya kesalahan strategi oleh siswa NJK

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan strategi ketika siswa tidak menuliskan rumus determinan matriks A menggunakan metode sarrus secara

lengkap hanya menunjukkan saja hasil akhir dari determinan matriks A. Begitu pula dengan penentuan determinan matriks untuk I_1 , I_2 dan I_3 . Pada saat menentukan besar arus yang mengalir pada setiap cabangnya, siswa juga tidak mencantumkan rumus dari aturan Cramer, sehingga siswa menuliskan secara langsung hasil akhir yang didapatkan. Berbeda dengan siswa yang tidak melakukan kesalahan pada gambar 4.12.

D. Kesalahan Hitung

Kesalahan hitung pada indikator ini terjadi pada 34 siswa dari total keseluruhan soal yang berada dalam tes dengan persentase sebesar 22,66% yang masuk dalam kategori rendah dengan artian bahwa siswa tidak banyak melakukan kesalahan. Hasil penelitian pada indikator kesalahan hitung disebabkan ketika siswa tidak dapat melakukan operasi matematis secara tepat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesalahan hitung ini terjadi karena siswa tidak dapat melakukan operasi matematis atau operasi perhitungan dengan benar. Proses yang mencerminkan tidak terjadinya kesalahan hitung adalah ketika siswa mampu melakukan operasi matematis dengan benar. Berikut adalah contoh kesalahan hitung siswa pada saat menentukan sistem persamaan linear disajikan pada gambar 4.13 berikut.

$$\begin{aligned} \text{loop 1: } \sum E + \sum IR &= 0 \\ (V_1 - V_2) + I_1(R_1) + I_3(R_2) &= 0 \\ 9 - 0 + 2I_1 + 4I_3 &= 0 \\ 2I_1 + 4I_3 &= -12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{loop 2: } \sum E + \sum IR &= 0 \\ (-V_3 - V_2) + I_2(R_3) + I_3(R_2) &= 0 \\ -2 - 0 + 0I_2 + 4I_3 &= 0 \\ 0I_2 + 4I_3 &= -10 \end{aligned}$$

Gambar 4.13 Contoh kesalahan hitung oleh siswa FSZD

Adapun contoh jawaban yang tidak ada kesalahan hitung pada saat menentukan sistem persamaan linear disajikan pada gambar 4.14 berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Loop 1} &= \sum \varepsilon + \sum 1R = 0 \\
 (v_1 - v_2) + 1_1(R_1) + 1_3(R_2) &= 0 \\
 4 - 8 + 21_1 + 41_3 &= 0 \\
 21_1 + 41_3 &= 4 \\
 \text{Loop 2} &= \sum \varepsilon + \sum 1R = 0 \\
 (-v_3 - v_2) + 1_2(R_3) + 1_3(R_2) &= 0 \\
 -2 - 8 + 81_2 + 41_3 &= 0 \\
 81_2 + 41_3 &= 10
 \end{aligned}$$

Gambar 4.14 Contoh tidak adanya kesalahan hitung oleh siswa HAD

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan hitung pada saat menentukan sistem persamaan linear terjadi ketika salah dalam pengoperasian matematis. Nilai yang seharusnya tidak bernilai negatif ketika pindah ruas, siswa tetap menuliskan tanda negatif. Berbeda dengan siswa yang tidak melakukan kesalahan pada saat menentukan sistem persamaan linear, siswa telah melakukan perhitungan dengan benar.

Kesalahan hitung tentunya tidak terjadi pada saat penentuan sistem persamaan linear saja. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesalahan ini juga terjadi ketika siswa menentukan determinan dari suatu matriks. Proses yang mencerminkan tidak adanya kesalahan adalah ketika siswa mampu menuliskan hasil perhitungan dengan benar. Berikut adalah contoh kesalahan hitung siswa pada saat menentukan determinan matriks disajikan pada gambar 4.15.

$$\begin{aligned}
 &]_1 +]_2 =]_3. \\
 A \cdot \begin{bmatrix} 12 & 0 & 2 \\ 0 & 4 & 2 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1_1 \\ 1_2 \\ 1_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 \det A &= \begin{vmatrix} 12 & 0 & 2 & 12 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 & 4 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \\
 \det A &= 48 - 8 - 24 = 16
 \end{aligned}$$

(a)

$$\det I_1 = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 2 \\ 2 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & -1 \end{vmatrix} = -16 + 4 + 8 = -8$$

$$I_1 = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 2 \\ 2 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = \frac{\det I_1}{\det A} = \frac{-8}{-80} = \frac{1}{10} A$$

$$\det I_2 = \begin{vmatrix} 12 & 4 & 2 \\ 0 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -24 + 8 - 4 = -20$$

$$I_2 = \begin{bmatrix} 12 & 4 & 2 \\ 0 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$I_2 = \frac{\det I_2}{\det A} = \frac{-20}{-80} = \frac{1}{4} A$$

$$\det I_3 = \begin{vmatrix} 12 & 0 & 4 \\ 0 & 4 & 2 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = -16 - 24 = -40$$

$$I_3 = \begin{bmatrix} 12 & 0 & 4 \\ 0 & 4 & 2 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$I_3 = \frac{\det I_3}{\det A} = \frac{-40}{-80} = \frac{1}{2} A$$

(b)

Gambar 4.15 Contoh kesalahan hitung (a) oleh siswa RAH (b) oleh siswa NANM Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan hitung pada saat menentukan determinan matriks terjadi ketika salah dalam pengoperasian matematis. Nilai determinan A seharusnya adalah $-48 - (8 + 24) = -80$, namun kesalahan oleh siswa RAH adalah $48 - 8 - 24 = 16$. Kesalahan hitung terjadi juga pada saat menentukan determinan I_1 dimana hasil determinan I_1 seharusnya adalah $-16 + 4 - 8 = -20$, namun kesalahan oleh siswa NANM yakni $16 + 4 + 8 = 28$ dan terjadi kesalahan juga pada saat menentukan determinan I_2 dan I_3 .

Kesalahan hitung tentunya tidak terjadi pada saat penentuan sistem persamaan linear dan determinan saja. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesalahan ini juga terjadi ketika siswa menentukan besar arus menggunakan aturan Cramer. Proses yang mencerminkan tidak adanya kesalahan adalah ketika siswa mampu menuliskan hasil perhitungan dengan benar. Berikut adalah contoh kesalahan siswa saat menentukan besar arus menggunakan aturan Cramer pada gambar 4.16 berikut.

$$\det I_3 = -96 - 90 = -136$$

$$I_3 = \frac{\det I_3}{\det A} = \frac{-136}{-240} = \frac{15}{30} A ?$$

Gambar 4.16 Contoh kesalahan hitung oleh siswa SNA

Berdasarkan hasil penelitian, siswa yang melakukan kesalahan hitung pada saat menentukan besar arus menggunakan aturan Cramer terjadi ketika salah dalam pengoperasian matematis berupa pembagian. Untuk besar arus yang mengalir pada I_3 seharusnya adalah $\frac{-136}{-240} = \frac{17}{30} A$, namun siswa menuliskan hasil dari I_3 adalah $\frac{15}{30} A$.

Penyelesaian persoalan fisika mengenai rangkaian listrik DC sederhana 2 loop dapat menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus untuk menentukan besar arus pada setiap cabangnya. Penyelesaian ini tentunya menjadi alternatif pengerjaan tanpa perlu mengerjakan keseluruhan proses. Mayoritas siswa dalam menyelesaikan persoalan fisika mengenai rangkaian listrik DC sederhana 2 loop masih menggunakan metode substitusi eliminasi. Hasil penelitian Rahmat *et al.*, (2017) menjelaskan kesalahan siswa dalam menyelesaikan Hukum Kirchoff terjadi pada proses perhitungan sebesar 81,94% dengan faktor penyebabnya adalah ketidaktepatan dalam melakukan operasi matematis diakibatkan beberapa faktor meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian.

Penyelesaian persoalan fisika dengan menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus memiliki artian menyelesaikan sebuah soal dengan menggunakan bantuan determinan matriks. Marzuki *et al.*, (2021) menyebutkan bahwa penggunaan determinan matriks dalam tinkercad dapat meningkatkan pemahaman siswa pada konsep kelistrikan. Hasil penelitian Aida *et al.*, (2023) dijelaskan bahwa sebanyak 62,2% dalam menyelesaikan persoalan listrik lebih mudah menggunakan aturan Cramer.

Setiap penggunaan metode tentunya tidak akan terlepas dari kekurangan, namun perlu diingat bahwa kekurangan ini tidak mengubah esensi dari konsep fisika yang ada di dalamnya. Proses pengerjaan ini sangat ditentukan oleh keterampilan matematis peserta didik dalam menentukan determinan matriks, sehingga pendidik dapat mereview mengenai materi matriks. Selain itu, peneliti selanjutnya dapat menerapkan uji coba untuk menentukan keterampilan matematis peserta didik.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dianalisis dalam pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa kesalahan siswa dalam mengerjakan rangkaian listrik DC sederhana 2 loop menggunakan aturan Cramer berbantuan metode Sarrus dikategorikan menjadi empat jenis yakni kesalahan konseptual, kesalahan menggunakan data, kesalahan strategi dan kesalahan hitung. Rata-rata kesalahan konseptual sebesar 24%, kesalahan menggunakan data sebesar 5,33%, kesalahan strategi sebesar 21,33% dan kesalahan hitung sebesar 22,66%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini, terdapat beberapa saran yang diberikan sebagai berikut:

a. Bagi Siswa

Proses pengerjaan dalam penyelesaian persoalan fisika diperlukan jawaban yang runtut, sistematis dan ketelitian, sehingga dapat meminimalisir kesalahan.

b. Bagi Guru

Pada saat melakukan pembelajaran dapat melakukan peninjauan ulang materi matriks, dikarenakan pengerjaan rangkaian listrik 2 loop ini membutuhkan kemampuan matematis dalam menentukan determinan matriks.

c. Bagi Peneliti Lanjutan

Dapat menerapkan uji coba metode ini untuk menentukan keterampilan matematis pesera didik

DAFTAR PUSTAKA

- Aida, N., Verawati, N., Pratiwi, I., & Muttaqin, K. (2023). Implementasi metode cramer menggunakan microsoft excel dalam penyelesaian rangkaian listrik arus searah. *Jurnal Pendidikan Matematika Inovatif IKIP Siliwangi*, 6(5), 1781–1794.
- Anam, K., & Arnas, Y. (2019). Metode crammer untuk solusi analisa rangkaian listrik menggunakan scilab. *Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi*, 12(1), 61–68.
- Andiasari, L. (2015). Penggunaan model inquiry dengan metode eksperimen dalam pembelajaran IPA di SMPN 10 Probolinggo. *Jurnal Kebijakan Dan Pengembangan Pendidikan*, 3(1), 15–20.
- Antoro, B. H., Supriadi, B., Prihandono, T., Muttaqin, M. R., Azizah, N. H., & Epiningtiyas, S. (2020). Analysis of magic table in completin of closed flow circuits. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Arief, M. K., Handayani, L., & Dwijananti, P. (2013). Identifikasi kesulitan belajar fisika pada siswa RSBI: studi kasus di RSMABI Se Kota Semarang. *Unnes Physics Education Journal (UPEJ)*, 1(2), 5–10.
- Artini, D. P. (2017). *Matriks, Vektor dan Terapannya di Bidang Teknik*. Penerbit Andi.
- Cholis, N., & Noortjahja, A. (2013). Pembelajaran rangkaian listrik berbasis software proteus sebagai media pembelajaran di MAN Gresik 1. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*, 3(2), 157–161.
- Dayana, I., & Marbun, J. (2017). *Fisika Terapan*. CV Widya Puspita.
- Devita, R. (2022). Eksistensi metode cramer sebagai solusi penyelesaian spl dalam kasus rangkaian listrik. *Jurnal Syntax Fusion*, 2(10), 860–870.
- Ghodang, H. (2021). *Ekonometrika Dasar (Teori dan Konsep Pendekatan Matematika)*. Penerbit Mitra Grup.
- Giancoli, D. C. (2014). *Fisika Dasar: Teori dan Aplikasi Jilid 2 Edisi Ke Tujuh*. Erlangga.
- Handayani, T., Hartatiana, & Muslimahayati. (2020). Analisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal cerita materi barisan dan deret aritmatika. *Transformasi : Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 4(2).
- Harefa, A. R. (2019). Peran Ilmu Fisika dalam Kehidupan Sehari-hari. *Jurnal Warta Edisi : 60*.

- Hastuti, I., Surantoro, & Rahardjo, D. T. (2013). Analisis kesalahan dalam menyelesaikan soal materi pokok kalor pada siswa kelas X SMA. *Jurnal Materi Dan Pembelajaran Fisika*, 2(10), 1–11.
- Hidayatulloh, A. (2020). Analisis kesulitan belajar fisika materi elastisitas dan hukum hooke dalam penyelesaian soal-soal fisika. *Koppa Jurnal*, 1(4), 69–75.
- Hosnah, W. M., Sudarti, & Subiki. (2017). Pengaruh model pembelajaran inkuiri terbimbing terhadap hasil belajar fisika di SMA. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(2), 190–195.
- Juwariyah, S., Prihandono, T., & Sudarti. (2018). Analisis jenis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fisika materi listrik statis di MAN 6 Jombang. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 7(3), 255–262.
- Karlina, E., Bektiarso, S., & Lesmono, A. D. (2017). Penerapan model pembelajaran generative learning pada pembelajaran fisika di SMA. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(1), 89–93.
- Kebudayaan., K. P. dan. (2014). *Konsep dan Implementasi Kurikulum 2013*. [https://www.kemdikbud.go.id/kemdikbud/dokumen/Paparan/Paparan Wamendik.pdf](https://www.kemdikbud.go.id/kemdikbud/dokumen/Paparan/Paparan%20Wamendik.pdf)
- Lusiani, A., Muliawan, & Ratnadewi. (2021). *Fisika Terapan*. Zahir Publishing.
- Maharani, F. W., Bektiarso, S., & Prihandono, T. (2018). Kemampuan siswa SMA dalam menyelesaikan soal UN fisika berdasarkan tahapan model ideal pada materi listrik dinamis. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 154–161.
- Maharani, N. (2020). Perbandingan tingkat pemahaman mahasiswa stmik stikom indonesia pada metoda sarrus dan metoda cramer pada penyelesaian sistem persamaan linier. *PENDIPA Journal of Science Education*, 4(2), 66–73.
- Marzuki, Sukrisna, B., Sudiarta, I. W., & Handayana, I. G. (2021). Penguatan materi rangkaian listrik menggunakan tinkercad untuk siswa ponpes cendekia darul lutviyah murni nw aikmel marzuki. *Prosiding PEPADU*, 3(November), 66–73.
- Muskhir, M., & Latif, M. R. (2021). *Rangkaian Listrik*. UNP Press.
- Nofitasari, I., & Sihombing, Y. (2017). Deskripsi kesulitan belajar peserta didik dan faktor penyebabnya dalam memahami materi listrik dinamis kelas X SMA Negeri 2 Bengkayang. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 1(7), 44–53.
- Nurdin, A. N. (2017). Analisis hubungan kemampuan numerik dengan hasil belajar fisika peserta didik kelas XII IPA SMA Muhammadiyah di Makassar. *Jurnal Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Makassar*, 5(2), 193–204.

- Nurullaeli, N. (2020). Media analisis rangkaian listrik menggunakan pendekatan numerik Gauss-Jordan, Gauss-Seidel, dan Cramer. *Navigation Physics*, 2(1).
- Perdana, G. P., Suma, K., & Pujani, N. M. (2018). Pengaruh struktur teks terhadap penguasaan konsep dan penurunan miskonsepsi pada listrik dinamis. *Jurnal Pendidikan (Teori Dan Praktik)*, 3(1), 13.
- Pratama, N. S., & Istiyono, E. (2015). Studi pelaksanaan pembelajaran fisika berbasis higher order thinking (HOTS) pada kelas x di SMA negeri Kota Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 6(1), 104–112.
- Putra, D. R., Oktoricoento, J. S., Sahrudin, Mujirudin, M., Ramza, H., Heriyani, O., & Maddu, A. (2018). Energi Alternatif Melalui Getaran Bebas Mekanis. *Seminar Nasional TEKNOKA*, 3.
- Putri, C. S., Sesunan, F., & Wahyudi, I. (2019). Pengaruh penerapan model pembelajaran creative problem solving untuk meningkatkan kemampuan berpikir kreatif dalam pemecahan masalah fisika pada siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(7), 149.
- Putriatama, R. C., & Yohanes, R. S. (2022). Mengenalkan konsep sistem persamaan linier kepada siswa sekolah dasar (sebuah kajian secara teoritis). *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 5, 371–378.
- Rahayu, R., Iskandar, S., & Abidin, Y. (2022). Inovasi pembelajaran abad 21 dan penerapannya di Indonesia. *Jurnal Basicedu*, 6(2), 2099–2104.
- Rahma, A. N., Swandayani, K., & Marzuki, C. C. (2019). Determinan matriks bentuk 3×3 menggunakan metode salihu. *Jurnal Fourier*, 8(1), 27–34.
- Rahmat, A., Tandililing, E., & Oktaviany, E. (2017). Analisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal-soal pada materi hukum kirchoff di SMAN 1 Meranti. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Khatulistiwa*, 10(6), 2–16.
- Rhamim, E., Tandililing, E., & Mursyid, S. (2015). Hubungan keterampilan matematika dengan kemampuan menyelesaikan soal fisika terhadap miskonsepsi siswa pada impuls momentum. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Khatulistiwa (JPPK)*, 4(6), 1–9.
- Rizaldi, D. R., Jufri, A. W., & Jamaluddin. (2020). PhET: Simulasi interaktif dalam proses pembelajaran fisika. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(1), 10–14.
- Rohmah, A. S. (2020). Analisis Kesalahan Siswa MTs Dalam Menyelesaikan Soal pada Materi Teorema Pythagoras. *Jurnal Pembelajaran Matematika Inovatif*, 3(5), 433–442.

- Safitri, F. A., Sugiarti, T., & Hutam, F. S. (2019). Analisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal cerita bangun datar berdasarkan newman's error analysis (nea). *Jurnal Profesi Keguruan*, 5(1), 15–22.
- Soebagyo, J., Maarif, S., & Purwanto, S. E. (2020). *Matematika Teknik Aljabar Linear dan Matriks*. Manggu Makmur Tanjung Lestari.
- Soebyakto. (2017). *Fisika Terapan 2*. Badan Penerbit Universitas Pancasakti Tegal.
- Suardi, M. (2018). *Belajar dan Pembelajaran*. Deepublish.
- Subkan. (2020). Peningkatan prestasi belajar fisika dengan media laboratorium virtual PhET pada pokok bahasan listrik dinamis. *Jurnal Diklat Keagamaan*, 2(14), 103.
- Sudarisman, S. (2015). Memahami hakikat dan karakteristik pembelajaran biologi dalam upaya menjawab tantangan abad 21 serta optimalisasi implementasi kurikulum 2013. *Florea : Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 2(1), 29–35.
- Sundaygara, C., Pranata, K. B., & Sayadi, M. (2018). *Bahan Ajar Media Pembelajaran Percobaan Fisika Materi Listrik Magenet*. Media Nusa Cretive.
- Trisnawati, A., Erniwati., Eso, R., & Mustari. (2020). Analisis miskonsepsi terhadap materi rangkaian listrik searah (DC) pada siswa SMKN Kota Kendari menggunakan four-tier diagnostic test. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 4(5), 287–294.
- Tulandi, D., & Wejasu, C. (2019). Pengembangan perangkat lunak untuk pembelajaran listrik dinamis. *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online (JPFT)*, 3(7), 22–25.
- Wahyudianti, R., Supriadi, B., & Maryani, M. (2023). Penerapan metode minor-kofaktor matrik bujursangkar orde-3 dalam aturan cramer pada penyelesaian soal rangkaian listrik dc 2-loop. *Navigation Physics : Journal of Physics Education*, 5(2), 37–45.
- Wahyuni, S., & Handhika, J. (2018). Profil kesulitan belajar pokok bahasan listrik dinamis siswa SMK. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika*, 286–289.
- Wartana, I. M. (2017). *Rangkaian Elektrik 1*. Media Nusa Creative.
- Yuniani, A., Ardianti, D. I., & Rahmadani, W. . (2019). Era revolusi industri 4.0: peran media sosial dalam proses pembelajaran fisika di SMA. *Gravitasi Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 2(1), 18–24.
- Yusuf, M., Arafah, K., & Amin, B. D. (2020). Implementasi penilaian kognitif mata pelajaran fisika di sman 10 makassar. *Jurnal Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Makassar*, 8(3), 212–221.
- Zaini. (2018). *Determinan Matriks Persegi & Non Persegi*. Uwais Inspirasi Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks Penelitian

Lampiran 2. RPP (Rencana Pelaksanaan Pembelajaran)

Lampiran 3. Kisi-Kisi, Rubrik Penilaian dan Kunci Jawaban Tes

Lampiran 4. Soal Tes

Lampiran 4. Rekapitulasi Kesalahan Siswa Tiap Tahapan

Lampiran 5. Rekapitulasi Kesalahan Siswa Tiap Soal

Lampiran 6. Surat Izin Penelitian

Lampiran 7. Surat Keterangan Selesai Penelitian

Lampiran 8. Dokumentasi

