



Optimalisasi Working Memory Siswa melalui Desain Worked Example Berbasis Cognitive Load Theory pada Materi SPLDV

Pratama Wahyu Purnama^{1,2,*}, Indah Nikmatul Hidayati²

¹Universitas Mataram

²Universitas Negeri Yogyakarta

p.w.purnama@staff.unram.ac.id

Abstract

Systems of Linear Equations with Two Variables (SPLDV) contain numerous symbols and present high complexity in their solution processes, which can create substantial cognitive demands for middle school students. Instructional design that minimizes irrelevant cognitive load while optimizing schema formation is essential to accommodate the limited capacity of working memory. Cognitive Load Theory (CLT) offers effective strategic alternatives for managing cognitive load during learning, particularly in reducing extraneous cognitive load. One recommended approach is the implementation of worked example strategies. This article focuses on developing a worked example design for SPLDV material based on CLT principles. The research comprises three phases: examining the cognitive load of SPLDV content, reviewing fundamental CLT principles, and constructing instructional design using worked example strategies. The research produces a worked example design featuring structured solution steps that eliminate split attention and redundancy effects, successfully reducing extraneous cognitive load and enhancing working memory effectiveness in learning SPLDV. These findings can serve as a foundation for further design development or empirical validation in broader educational contexts.

Keywords: worked example; design instructional; SPLDV; algebra;

Abstrak

Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) banyak memiliki simbol dan memiliki kompleksitas tinggi dalam menyelesaiannya sehingga berpotensi menimbulkan muatan kognitif tinggi bagi siswa SMP. Desain pembelajaran yang mampu meminimalkan muatan kognitif yang tidak relevan serta mengoptimalkan proses pembentukan skema untuk menjembatani kapasitas *working memory* yang terbatas. *Cognitive Load Theory* (CLT) memberikan alternatif strategi yang efektif untuk mengelola muatan kognitif selama proses belajar terutama untuk mengurangi *extraneous cognitive load*. Salah satu strategi yang ditawarkan adalah penggunaan strategi worked example. Artikel ini bertujuan mengembangkan desain worked example pada materi SPLDV berdasarkan prinsip-prinsip CLT. Penelitian ini terdiri dari tiga tahap: analisis muatan kognitif materi SPLDV, telaah prinsip dasar CLT, dan penyusunan desain pembelajaran dengan menggunakan strategi worked example. Hasil penelitian menghasilkan desain worked example dengan langkah penyelesaian yang terstruktur, menghindari *split attention* dan *redundancy*, mampu meminimalkan *extraneous cognitive load* dan meningkatkan efektivitas *working memory* dalam mempelajari SPLDV. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan desain lanjutan maupun validasi empiris pada konteks pembelajaran yang lebih luas.

Kata Kunci: worked example, desain instruksional; SPLDV; aljabar

1. PENDAHULUAN

Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) merupakan salah satu materi penting dalam pembelajaran aljabar di tingkat SMP yang menuntut kemampuan berpikir simbolik dan prosedural siswa. Dalam menyelesaikan permasalahan SPLDV, siswa tidak hanya dituntut untuk melakukan perhitungan, tetapi juga harus mampu menerjemahkan permasalahan kontekstual ke dalam model matematika yang sesuai. Kompleksitas representasi simbolik dan prosedur yang panjang tersebut sering kali menjadi sumber kesulitan bagi siswa dalam memahami konsep SPLDV secara utuh. Oleh karena itu, diperlukan desain pembelajaran yang dapat membantu siswa dalam memproses informasi agar lebih terstruktur dan mudah dipahami.

Soal cerita pada materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena menuntut siswa untuk melakukan beberapa proses kognitif secara simultan, yaitu memahami konteks masalah, menerjemahkan informasi ke dalam model matematika berupa dua persamaan linear, serta menentukan solusi dari sistem persamaan tersebut. Banyaknya simbol, prosedur penyelesaian, dan keterkaitan antar langkah berpotensi memicu *extraneous cognitive load* apabila penyajian materi tidak dirancang secara terstruktur.

Intrinsic cognitive load merupakan jenis *cognitive load* yang muncul akibat kompleksitas materi yang dipelajari(Sweller et al., 2011). Misalnya materi matriks memiliki *intrinsic cognitive load* yang tinggi ketika dipelajari oleh anak SD, namun rendah ketika dipelajari oleh mahasiswa jurusan matematika. Sweller et al. (2011) menambahkan penjelasan bahwa *extraneous cognitive load* adalah muatan kognitif yang muncul akibat dari desain pembelajaran yang diberikan. Materi yang mudah akan memiliki *extraneous cognitive load* yang tinggi ketika disajikan dengan desain yang buruk. Strategi *worked example* menjembatani guru dalam membuat desain yang baik yang dapat mengurangi *extraneous cognitive load* dan meningkatkan efektivitas dari *working memory* siswa.

Efektivitas *working memory* dalam memroses informasi serta memahami suatu konsep sangat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya muatan kognitif yang ada pada informasi tersebut. semakin tinggi muatan kognitif, maka semakin tidak efektif *working memory* dalam memroses sebuah informasi. Oleh karena itu, saat mendesain pembelajaran sebaiknya memerhatikan dan meminimalkan muatan kognitifnya.

Working memory manusia memiliki kapasitas yang terbatas baik dari segi jumlah informasi maupun durasi penyimpanan (Miller, 1956). Kondisi ini menuntut adanya strategi pembelajaran yang mampu mengelola muatan kognitif agar tidak melampaui kapasitas siswa. *Cognitive Load Theory* menawarkan kerangka teoretis untuk merancang pembelajaran yang mempertimbangkan keterbatasan kapasitas *working memory*, salah satunya melalui penerapan strategi *worked example* (Sweller et al., 2011).

Worked example merupakan strategi pembelajaran yang menyajikan contoh penyelesaian masalah secara lengkap, terstruktur, dan sistematis, yang umumnya diikuti dengan penyajian soal-soal isomorfis(O. Chen et al., 2020). Penyajian contoh yang terstruktur memungkinkan siswa mempelajari langkah-langkah penyelesaian tanpa harus secara mandiri membangun seluruh prosedur sejak awal. *Worked example* berperan sebagai sumber bantuan berupa pinjaman kognitif yang dapat menurunkan muatan kognitif selama proses belajar. Muatan kognitif yang lebih terkendali memungkinkan kapasitas *working memory* dimanfaatkan secara lebih efektif untuk memahami struktur penyelesaian masalah. Selain itu, penyajian soal isomorfis setelah worked example bertujuan untuk melatih proses internalisasi dan otomatisasi skema dalam mempelajari informasi baru(Sweller et al., 2011).

Berdasarkan kompleksitas pembelajaran Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) serta pentingnya pengelolaan muatan kognitif dalam desain pembelajaran, artikel ini bertujuan untuk mengkaji dan merumuskan desain worked example berbasis Cognitive Load Theory pada materi SPLDV di tingkat SMP. Artikel ini membahas bagaimana prinsip-prinsip Cognitive Load Theory dapat diintegrasikan ke dalam penyajian contoh penyelesaian soal secara terstruktur untuk membantu siswa memahami konsep dan prosedur SPLDV.

Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi guru dalam merancang pembelajaran aljabar yang mampu mengelola muatan kognitif siswa secara lebih efektif serta mengoptimalkan pemanfaatan kapasitas *working memory* dalam proses belajar. Kontribusi utama artikel ini adalah menyajikan desain worked example SPLDV yang secara eksplisit dipetakan ke prinsip Cognitive Load Theory, sehingga dapat digunakan sebagai model desain pembelajaran aljabar berbasis muatan kognitif tanpa memerlukan data empiris.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Penelitian ini tidak melibatkan subjek secara langsung di lapangan, melainkan berfokus pada pengkajian teori dan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan Cognitive Load Theory, worked example, dan pembelajaran aljabar khususnya pada materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) di tingkat SMP. Desain teoretis digunakan untuk merumuskan rancangan worked example yang disusun berdasarkan prinsip-prinsip pengelolaan muatan kognitif dalam pembelajaran.

Penelitian ini menggunakan artikel ilmiah yang diperoleh dari basis data Scopus dan Google Scholar untuk menjadi sumber data penelitian. Artikel yang digunakan dipilih berdasarkan kriteria: (1) relevansi dengan topik pembelajaran matematika, khususnya aljabar, (2) membahas konsep muatan kognitif, *worked example*, atau *working memory*. Artikel-artikel yang terpilih selanjutnya dianalisis sebagai dasar dalam penyusunan desain *worked example* berbasis Cognitive Load Theory pada materi SPLDV.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis isi (*content analysis*) terhadap artikel-artikel terpilih untuk mengidentifikasi prinsip-prinsip utama dalam Cognitive Load Theory serta karakteristik strategi *worked example*. Prosedur perancangan desain *worked example* dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) mengidentifikasi karakteristik materi SPLDV yang berpotensi menimbulkan muatan kognitif tinggi, (2) memetakan unsur-unsur muatan kognitif berdasarkan Cognitive Load Theory, (3) menyusun contoh *worked example* yang disajikan secara bertahap dan terstruktur, serta (4) melakukan analisis teoretis terhadap potensi pengelolaan muatan kognitif dan optimalisasi *working memory* melalui desain yang disusun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Muatan Kognitif pada Materi SPLDV

Materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) termasuk kategori topik dengan interaktivitas elemen yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya komponen yang harus diproses secara simultan oleh siswa, mulai dari memahami konteks soal cerita, menerjemahkan informasi verbal ke dalam representasi simbolik, membangun model matematika, memilih metode penyelesaian, hingga melakukan verifikasi hasil. Dalam terminologi *Cognitive Load Theory* (CLT), kondisi ini menunjukkan bahwa materi SPLDV memiliki *intrinsic cognitive load* yang tinggi.

Kapasitas *working memory* yang terbatas membuat proses-proses ini sulit dilakukan secara bersamaan. Ketika siswa diminta untuk sekaligus memodelkan situasi dan memilih metode penyelesaian, disaat yang sama mereka juga dipaksa melakukan strategi default problem solving yakni *means end analysis* yang menghabiskan banyak kapasitas *working memory* (Bhattacharya et al., 2010; Purnama & Retnowati, 2020; Sweller & Levine, 1982). Kompleksitas pemrosesan meningkat ketika soal melibatkan relasi umur, karena siswa harus mempertahankan dua garis waktu: usia sekarang dan usia di masa depan/masa lalu. Tingginya *element interactivity* menyebabkan *working memory* mudah mengalami kelebihan muatan sehingga siswa tidak dapat fokus pada prinsip aljabar yang seharusnya mereka pelajari (Sweller, 2010).

Karena karakteristik bahan ajar SPLDV memang kompleks secara alami, tugas pendidik bukan mengurangi kompleksitas matematikanya, tetapi memastikan bahwa desain pembelajaran tidak menambah *extraneous cognitive load* yang tidak perlu. Proses pembelajaran memerlukan desain yang mampu mengelola muatan kognitif secara sistematis, khususnya dengan meminimalkan muatan yang tidak relevan dan mengarahkan pemrosesan kognitif siswa pada aspek-aspek esensial dari penyelesaian SPLDV. Analisis muatan kognitif ini menjadi landasan utama dalam pengembangan desain *worked example* berbasis *Cognitive Load Theory*.

3.2. Prinsip Desain Worked Example Berdasarkan CLT

Strategi *worked example* merupakan salah satu strategi instruksional yang dapat

mengurangi extraneous cognitive load secara efektif, terutama untuk materi yang kompleks seperti aljabar. Karakteristik aljabar seperti banyaknya penggunaan simbol, variabel, dan permodelan matematika cukup berat dipelajari oleh siswa pemula terutama jika desainnya memiliki extraneous cognitive load yang tinggi. Oleh karena itu, desain worked example perlu memperhatikan sejumlah prinsip dari Cognitive Load Theory agar mampu mengoptimalkan working memory siswa dalam mempelajari informasi baru.

Terdapat beberapa prinsip dalam menyusun *worked example* terutama dalam materi aljabar. Prinsip ini digunakan agar worked example benar-benar berfungsi secara maksimal. Langkah-langkah tersebut dijabarkan sebagai berikut.

(1) Langkah penyelesaian disajikan secara terstruktur dan diberi penjelasan eksplisit.

Worked example terbentuk dari Contoh soal dengan beberapa langkah penyelesaian yang disertai penjelasan rasional untuk setiap langkahnya. Dalam konteks aljabar, siswa dihadapkan pada sejumlah elemen yang harus diproses secara simultan seperti simbol, aturan operasi, relasi antar ekspresi, dan permodelan yang dapat meningkatkan *element interactivity*. Dengan menyajikan solusi secara terstruktur, tugas *working memory* dalam memproses dan mengoordinasikan elemen-elemen tersebut sebagian “dipinjamkan” kepada siswa melalui contoh.

Mekanisme ini mampu menurunkan *extraneous cognitive load* dan mengalihkan kapasitas *working memory* untuk aktivitas yang lebih penting seperti pembuatan koneksi konseptual dan pembentukan skema prosedural. Penjelasan eksplisit juga meminimalkan terjadinya inferensi yang tidak perlu, sehingga mempercepat integrasi pengetahuan baru ke dalam *long term memory*. *Long-term memory* memiliki kapasitas dan durasi yang tidak terbatas.

(2) Pemisahan Lokasi antara Contoh dan Soal Latihan untuk Mendorong Recall dan Automatisasi

Dalam menggunakan strategi *worked example*, contoh soal dan soal berada di halaman yang berbeda. Hal ini digunakan untuk melatih fokus siswa agar tidak terdistraksi/terganggu. Ketika mempelajari soal, mereka hanya memusatkan perhatiannya untuk mempelajari langkah penyelesaian dan membangun pengetahuan dari contoh yang diberikan. Ketika siswa mengerjakan soal yang isomorfis, siswa dilarang melihat contoh soal yang telah dipelajari. Pemisahan ini bukan untuk meningkatkan kesulitan, namun untuk mendorong *retrieval practice* ketika siswa mengerjakan soal tanpa melihat kembali contoh.

Proses mengingat kembali langkah penyelesaian dan struktur masalah merupakan komponen penting dalam penguatan skema terutama untuk siswa pemula. Ketika contoh dan soal ditempatkan terlalu dekat, siswa cenderung meniru langkah secara mekanis, yang secara tidak langsung menghambat perkembangan pemahaman

konseptual dan otomatisasi prosedural. Skema ini mengurangi potensi siswa untuk hanya menghafalkan teknis penyelesaiannya.

(3) Menghindari split attention.

Split attention merupakan kondisi ketika ada dua informasi yang harus dipelajari secara simultan, namun disajikan secara terpisah. Kondisi ini menuntut siswa untuk membagi perhatian dan mengalokasikan kapasitas *working memory* untuk menyatukan kedua sumber informasi tersebut, sehingga meningkatkan *extraneous cognitive load*.

Untuk menghindari ini, kita bisa mengintegrasikan dua informasi tersebut. Misalnya, pernyataan “*Umur Andi x tahun lebih tua dari Bayu. Apabila tiga tahun lagi jumlah umur mereka 19 tahun dan nilai x = 3, maka berapakah umur Andi tujuh tahun lalu?*” sebaiknya langsung ditulis “*Umur Andi 3 tahun lebih tua dari....*”. Integrasi informasi yang terpisah sangat diperlukan dan dianjurkan untuk mengurangi *extraneous cognitive load*. Selanjutnya kalimat “*nilai x = 3*” dihapus agar tidak menciptakan *redundancy effect*. Integrasi seperti ini menghilangkan kebutuhan siswa untuk melakukan substitusi tambahan yang hanya menambah muatan kognitif, tanpa menambah nilai pembelajaran. Selain itu, penggunaan *signaling* dapat membantu siswa mengidentifikasi informasi kunci dan mengurangi upaya pencarian informasi yang tidak perlu.

(4) Menghindari redundancy effect

Redundancy effect adalah kondisi ketika ada dua atau lebih informasi yang diberikan bermakna sama. Dalam pembelajaran aljabar, redundansi sering ditemukan dalam bentuk repetisi verbal, penggunaan simbol dan kalimat naratif yang memberikan informasi identik, atau representasi ganda yang tidak menambah nilai konseptual.

Memroses informasi yang berlebihan dengan makna yang sama akan menyebabkan *extraneous cognitive load* yang tinggi. Misalnya, pernyataan “*Andi lebih tua dari Bayu. Bayu berumur tiga tahun lebih muda dari Andi. Selisih umur Andi dan Bayu adalah tiga tahun. Apabila tiga tahun lagi jumlah umur mereka 19 tahun, berapa umur Andi 7 tahun lalu?*”. Dalam kasus tersebut, kita bisa memperbaiki menjadi “*Umur Andi tiga tahun lebih tua dari Bayu. Apabila tiga tahun lagi*”. Dengan menghilangkan informasi berulang, instruksi menjadi lebih efisien dan fokus siswa diarahkan pada inti struktur matematis yang harus dipahami.

3.3. Desain Worked Example dalam Materi Aljabar

Desain worked example pada penelitian ini dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip dalam *Cognitive Load Theory* yang bertujuan untuk mengelola muatan kognitif siswa pada materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV). Desain ini berfokus pada penyajian soal cerita dengan konteks umur yang diterjemahkan secara bertahap ke dalam model matematika, disertai dengan penyelesaian yang terstruktur dan anotasi

prosedural pada setiap langkah. Worked example yang dikembangkan juga dilengkapi dengan satu soal isomorfis sebagai sarana latihan untuk memperkuat skema penyelesaian yang telah dipelajari siswa. Salah satu contoh dari worked example materi SPLDV yang dirancang dengan solusi bertahap untuk meminimalkan *extraneous cognitive load* dapat dilihat pada Gambar 1. Sebagai contoh masalah SPLDV dengan konteks umur: "Umur Andi lebih tua 3 tahun dari Bayu. Apabila 3 tahun lagi jumlah umur mereka adalah 19, berapakah umur Andi 7 tahun lalu?".

Desain *worked example* diawali dengan penyajian satu contoh soal utama yang bersifat kontekstual dan diikuti oleh satu soal isomorfis. Contoh soal disusun untuk merepresentasikan karakteristik SPLDV yang kompleks, yaitu kebutuhan menerjemahkan bahasa verbal ke dalam model matematika, penggunaan simbol, serta penyelesaian masalah melalui beberapa langkah berurutan. Struktur desain ini bertujuan untuk mengelola muatan kognitif siswa sejak tahap awal pemrosesan informasi.

Gambar 1. *worked example* SPLDV yang dirancang dengan solusi bertahap untuk meminimalkan *extraneous cognitive load*.

Langkah pertama dalam worked example adalah pemisalan variabel. Siswa diarahkan untuk memisalkan umur Andi dan Bayu sebagai dua variabel yang berbeda. Penyajian langkah ini disertai penjelasan singkat mengenai tujuan pemisalan variabel, yaitu

untuk menyederhanakan informasi verbal menjadi representasi simbolik yang lebih mudah diolah. Tahap ini berfungsi mengurangi muatan kognitif dengan membatasi jumlah informasi yang harus diproses secara simultan oleh *working memory*.

Langkah kedua adalah penyusunan model matematika berdasarkan informasi dalam soal. Informasi kontekstual diterjemahkan secara langsung menjadi dua persamaan linear tanpa menggunakan simbol tambahan yang tidak diperlukan. Model matematika disajikan secara eksplisit dan terintegrasi dengan penjelasan singkat pada setiap persamaan. Integrasi ini bertujuan menghindari *split attention* antara teks dan simbol, sehingga siswa dapat memahami hubungan antara konteks dan representasi matematis secara bersamaan.

Langkah ketiga adalah penyederhanaan persamaan yang telah dibentuk. Pada tahap ini, desain *worked example* menekankan proses transformasi persamaan secara sistematis dan bertahap. Setiap operasi aljabar disajikan dalam satu langkah yang jelas, disertai penjelasan singkat mengenai alasan dilakukannya operasi tersebut. Penyajian bertahap ini membantu siswa membangun pemahaman prosedural tanpa harus menebak atau mencari langkah selanjutnya secara mandiri, sehingga *extraneous cognitive load* dapat ditekan.

Langkah keempat adalah pemilihan metode penyelesaian SPLDV. Dalam desain ini, metode substitusi dipilih dan dijelaskan sebagai metode yang paling efisien berdasarkan bentuk persamaan yang diperoleh. Penjelasan pemilihan metode tidak disajikan secara panjang, tetapi cukup untuk menunjukkan alasan strategisnya. Pendekatan ini bertujuan membantu siswa memahami bahwa pemilihan metode merupakan bagian dari strategi penyelesaian masalah, bukan sekadar prosedur mekanis.

Langkah kelima adalah verifikasi solusi. Siswa diajak untuk memeriksa kembali solusi yang diperoleh dengan cara substitusi solusi ke dalam model matematika awal. Tahap verifikasi ini dirancang untuk memperkuat konsistensi logis solusi dan mendorong kebiasaan reflektif dalam pemecahan masalah. Langkah ini mendukung penguatan skema tanpa menambah muatan kognitif yang signifikan karena dilakukan setelah solusi utama diperoleh.

Setelah *worked example* disajikan, siswa diberikan satu soal isomorfis yang memiliki struktur matematika yang sama tetapi dengan konteks dan nilai yang berbeda. Soal ini ditempatkan pada halaman terpisah dan siswa diarahkan untuk mengerjakannya tanpa melihat kembali contoh yang telah dipelajari. Desain ini bertujuan mendorong proses *recall* dan penerapan skema penyelesaian yang telah terbentuk, sekaligus mendukung proses otomatisasi skema dalam *long-term memory*.

Secara keseluruhan, desain *worked example* pada materi SPLDV ini menunjukkan implementasi konkret prinsip *Cognitive Load Theory*. Desain ini tidak hanya berfokus pada penyajian solusi, tetapi juga pada pengelolaan muatan kognitif siswa melalui

pengurangan informasi yang tidak relevan, integrasi representasi, serta penguatan skema melalui soal isomorfis. Dengan demikian, *worked example* yang dikembangkan berpotensi menjadi alternatif desain pembelajaran yang efektif untuk membantu siswa mempelajari SPLDV secara lebih terstruktur dan efisien dari sisi kognitif.

3.4. Implikasi Praktis untuk Guru

Desain *worked example* berbasis *Cognitive Load Theory* yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki implikasi langsung terhadap praktik pembelajaran aljabar di tingkat SMP, khususnya dalam cara guru merancang, menyajikan, dan memfasilitasi pembelajaran SPLDV. Implikasi ini tidak hanya bersifat konseptual, tetapi operasional dan dapat langsung diterapkan dalam konteks kelas.

(1) Cara guru menggunakan desain

Desain *worked example* yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat diterapkan secara efektif dalam pembelajaran SPLDV. Dalam satu pertemuan, guru dapat memulai dengan memberikan satu contoh *worked example* yang terstruktur dan meminta siswa menganalisis setiap langkah. Guru perlu memandu siswa membaca bukan hanya persamaannya, tetapi juga penjelasan langkah demi langkah agar pemahaman terarah.

Setelah contoh diberikan, guru memberikan soal isomorfis dengan larangan untuk melihat contoh sebelumnya. Instruksi ini penting untuk mendorong siswa melakukan pemanggilan ulang skema penyelesaian. Guru bisa memberikan waktu khusus untuk *recalling* sebelum siswa mulai menulis solusi. Selain itu, pemisahan halaman antara *worked example* dan soal isomorfis memberikan implikasi penting terhadap strategi pembelajaran di kelas. Pendekatan ini mencegah kebiasaan siswa meniru secara langsung tanpa memahami proses penyelesaian, sekaligus mendorong penggunaan contoh sebagai sumber pembelajaran, bukan sekadar referensi jawaban.

Selain itu, guru dapat menerapkan *faded example* secara bertahap, yakni mengurangi bagian-bagian tertentu dari contoh pada pertemuan berikutnya sehingga siswa mulai mengambil alih proses berpikir. Strategi ini dapat lebih memfasilitasi siswa yang bukan pemula namun juga belum ahli atau menguasai materi (Kusuma & Retnowati, 2021b, 2021a; Oktaviani & Retnowati, 2018; Retnowati, 2017). Guru dapat memulai dengan menghilangkan penjelasan, kemudian menghilangkan beberapa langkah, hingga siswa bisa menyelesaikan masalah SPLDV secara mandiri.

Desain *worked example* ini juga kompatibel dengan berbagai metode pengajaran lain seperti diskusi kelompok, belajar mandiri, atau kerja berpasangan. Hal ini memberi fleksibilitas tinggi untuk diterapkan di kelas yang beragam. Berbagai desain *worked example* pernah diuji dalam metode yang lain (O. Chen et al., 2020; X. Chen et al., 2016, 2020; Ginns et al., 2016; McLaren & Isotani, 2011; Retnowati et al., 2010; Wu et al., 2022).

(2) penguatan pemahaman aljabar

Desain ini dapat memfasilitasi penguatan pemahaman aljabar siswa, khususnya dalam memahami hubungan antara konteks masalah dan representasi simbolik. Tahap pemisalan variabel dan pembentukan model matematika yang disajikan secara eksplisit membantu siswa melihat aljabar sebagai alat representasi, bukan sekadar manipulasi simbol.

Penyajian langkah penyederhanaan dan pemilihan metode penyelesaian secara terstruktur membantu siswa membangun pemahaman prosedural yang bermakna. Siswa tidak hanya mengetahui bagaimana menyelesaikan SPLDV, tetapi juga memahami alasan di balik setiap langkah yang dilakukan. Hal ini penting untuk mencegah pembelajaran aljabar yang bersifat mekanis.

Penggunaan soal isomorfis berperan dalam memperkuat skema penyelesaian SPLDV. Dengan mengerjakan masalah yang memiliki struktur serupa, siswa dilatih untuk mengenali pola dan menerapkan strategi yang sama pada konteks yang berbeda. Proses ini mendukung pembentukan skema aljabar yang lebih stabil dan fleksibel, yang menjadi fondasi penting untuk mempelajari materi aljabar lanjutan.

(3) Dampak pada efisiensi belajar

Desain worked example ini dapat meningkatkan efektivitas siswa dalam mempelajari baik dari segi waktu mempelajarinya ataupun kapasitas *working memory*. Desain yang meminimalkan *extraneous cognitive load* dapat membantu siswa untuk memproses informasi esensial secara lebih optimal (Sweller et al., 2011). Akibatnya, waktu belajar tidak dihabiskan untuk kebingungan menentukan langkah penyelesaian, tetapi difokuskan pada pemahaman konsep dan hubungan antar representasi.

Efisiensi ini juga berdampak pada perbedaan kemampuan awal siswa. Siswa pemula yakni siswa dengan kemampuan aljabar yang rendah cenderung sangat terbantu oleh desain ini karena mereka mendapatkan panduan eksplisit dalam menyelesaikan masalah. Sementara itu, siswa dengan kemampuan lebih tinggi tetap memperoleh manfaat melalui penguatan dan otomatisasi skema, terutama saat mengerjakan soal isomorfis.

Bagi guru, peningkatan efisiensi belajar ini berarti pembelajaran SPLDV dapat dilakukan secara lebih terarah dan terkontrol. Guru dapat mengalokasikan waktu kelas secara lebih efektif, mengurangi kebutuhan penjelasan ulang yang berulang, serta meminimalkan kesalahan konseptual yang muncul akibat pemahaman prosedural yang tidak utuh.

Secara keseluruhan, implikasi desain worked example berbasis Cognitive Load Theory ini menegaskan bahwa pengelolaan muatan kognitif merupakan aspek krusial dalam pembelajaran aljabar. Dengan menerapkan desain yang terstruktur, terintegrasi, dan

berorientasi pada pembentukan skema, guru dapat meningkatkan kualitas pembelajaran SPLDV sekaligus efisiensi belajar siswa. Desain ini memberikan alternatif praktis bagi guru dalam menghadapi kompleksitas materi aljabar.

3.5. Keterbatasan Desain dan Arah Pengembangan

Meskipun efektif, penerapan *worked example* tidak bebas dari risiko. Salah satu risiko utama adalah *expertise reversal effect*. Ketika siswa sudah memiliki pengetahuan yang memadai, *worked example* justru dapat menghambat pembelajaran mereka karena mereka sudah tidak membutuhkan contoh yang lengkap. Pada siswa yang lebih mahir, strategi yang lebih tepat adalah penggunaan problem solving (O. Chen et al., 2017).

Risiko berikutnya adalah desain *worked example* yang terlalu padat. Jika penjelasannya panjang atau langkahnya terlalu banyak, siswa dapat tetap mengalami muatan kognitif yang berlebih. Selain itu, kesalahan dalam membuat soal isomorfis juga dapat menyebabkan kegagalan otomatisasi skema. Jika struktur matematis tidak benar-benar isomorfis, siswa justru akan kebingungan dan kembali melakukan pencarian solusi. Implementasi desain *worked example* bergantung pada kemampuan guru untuk membuat desain yang memenuhi prinsip CLT. Jika guru tidak memahami prinsip dari CLT, efektivitas *worked example* akan berkurang.

4. SIMPULAN

Artikel ini bertujuan mengembangkan desain *worked example* berbasis *Cognitive Load Theory* untuk membantu siswa SMP mempelajari materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV). Berdasarkan analisis karakteristik materi dan keterbatasan *working memory* siswa, SPLDV dikategorikan sebagai materi yang memiliki *element interactivity* yang tinggi sehingga memerlukan desain pembelajaran yang mampu mengelola informasi secara efektif.

Hasil pengembangan menunjukkan bahwa *worked example* yang dirancang dengan langkah penyelesaian terstruktur, integrasi representasi verbal dan simbolik, menghindari *split attention* dan *redundancy effect*, serta penyajian soal isomorfis dapat mengarahkan pemrosesan kognitif siswa pada informasi esensial. Desain ini membantu siswa memahami prosedur dan konsep aljabar tanpa harus melakukan pencarian strategi yang kompleks.

Implikasi dari desain ini menegaskan bahwa peran guru dalam pembelajaran aljabar tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga merancang pengalaman belajar yang selaras dengan cara kerja struktur kognitif manusia. Dengan menerapkan *worked example* berbasis *Cognitive Load Theory*, guru dapat meningkatkan efisiensi belajar, memperkuat pemahaman aljabar, serta membantu pembentukan skema penyelesaian SPLDV secara lebih sistematis.

Sebagai penelitian desain teoretis, artikel ini belum melibatkan uji empiris di kelas.

Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji efektivitas desain worked example pada materi SPLDV ini secara eksperimental, baik dari sisi hasil belajar maupun perbedaan dampaknya terhadap siswa dengan kemampuan awal yang beragam.

5. REFERENSI

- Bhattacharya, S., Wang, Y., & Xu, D. (2010). Beyond simon's means-ends analysis: Natural creativity and the unanswered 'why' in the design of intelligent systems for problem-solving. *Minds and Machines*, 20(3), 327–347. <https://doi.org/10.1007/s11023-010-9198-7>
- Chen, O., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2017). The expertise reversal effect is a variant of the more general element interactivity effect. *Educational Psychology Review*, 29(2), 393–405. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9359-1>
- Chen, O., Retnowati, E., & Kalyuga, S. (2020). Element interactivity as a factor influencing the effectiveness of worked example–problem solving and problem solving–worked example sequences. *British Journal of Educational Psychology*, 90(S1), 210–223. <https://doi.org/10.1111/bjep.12317>
- Chen, X., Mitrovic, A., & Mathews, M. (2016). *Do Erroneous Examples Improve Learning in Addition to Problem Solving and Worked Examples?* (pp. 13–22). https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_2
- Chen, X., Mitrovic, A., & Mathews, M. (2020). Learning From Worked Examples, Erroneous Examples, and Problem Solving: Toward Adaptive Selection of Learning Activities. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(1), 135–149. <https://doi.org/10.1109/TLT.2019.2896080>
- Ginns, P., Hu, F. T., Byrne, E., & Bobis, J. (2016). Learning By Tracing Worked Examples. *Applied Cognitive Psychology*, 30(2), 160–169. <https://doi.org/10.1002/acp.3171>
- Kusuma, I. A., & Retnowati, E. (2021a). Designs of faded-example to increase problem solving skills and procedural fluency in algebraic division. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1), 012109. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012109>
- Kusuma, I. A., & Retnowati, E. (2021b). Faded-example effects in individual or group work settings. *2021 10th International Conference on Educational and Information Technology, ICEIT 2021*, 204–208. <https://doi.org/10.1109/ICEIT51700.2021.9375528>
- McLaren, B. M., & Isotani, S. (2011). When is it best to learn with all worked examples? *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6738 LNAI, 222–229. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9_30
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Oktaviani, K. N., & Retnowati, E. (2018). Faded-examples for learning contextual mathematics problem-solving skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1097, 012114. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012114>
- Purnama, P. W., & Retnowati, E. (2020). The effectiveness of goal-free problems for studying triangle similarity in collaborative groups. *JRAMathEdu (Journal of Research and Advances in Mathematics Education)*, 6(1), 32–45. <https://doi.org/10.23917/JRAMATHEDU.V6I1.11198>

- Retnowati, E. (2017). Faded-example as a Tool to Acquire and Automate Mathematics Knowledge. *Journal of Physics: Conference Series*, 824(1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/824/1/012054>
- Retnowati, E., Ayres, P., & Sweller, J. (2010). Worked example effects in individual and group work settings. *Educational Psychology*, 30(3), 349–367. <https://doi.org/10.1080/01443411003659960>
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. In *Educational Psychology Review* (Vol. 22, Issue 2, pp. 123–138). <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory: Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and Performance Technologies Series Editors*. Springer. <http://www.springer.com/series/8640>
- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(5), 463–474. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.8.5.463>
- Wu, C., DeBoer, J., Rhoads, J. F., & Berger, E. (2022). Use of worked-example videos to support problem-solving: An analysis of student behavior. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(1), 195–221. <https://doi.org/10.1002/CAE.22451>