

MODEL PACE (PROJECT, ACTIVITY, COOPERATIVE, EXERCISE) BERBANTUAN TEKNOLOGI BERORIENTASI KEMAMPUAN ALGEBRAIC THINKING DAN RESPONSIBLE DECISION-MAKING BERDASARKAN GAYA BELAJAR SISWA

Widia Siti Prayudi¹, Poppy Yaniawati²

¹SMAN 3 Sukabumi, Sukabumi, Indonesia

²Magister Pendidikan Matematika Universitas Pasundan, Bandung, Indonesia

*widiaprayudi28@guru.sma.belajar.id

Received: 29 January 2022 | Revised: 1 August 2022 | Accepted: 14 September 2022 | Published Online: 12 December 2022

© The Author(s) 2022

Abstract

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas model pembelajaran PACE (*Project, Activity, Cooperative, Exercise*) berbantuan teknologi (GeoGebra dan NotebookLM) terhadap kemampuan *algebraic thinking* dan *responsible decision-making* siswa SMA, secara keseluruhan dan ditinjau dari gaya belajar, serta menguji korelasi kedua kemampuan. Penelitian menggunakan pendekatan campuran desain *embedded* dengan kuasi-eksperimen pretest-posttest nonequivalent control group. Sampel terdiri atas 80 siswa kelas XI SMAN Unggulan di Sukabumi (40 siswa kelas eksperimen dan 40 siswa kelas kontrol) pada materi Polinomial selama enam pertemuan. Data kuantitatif diperoleh dari tes uraian dan angket, dan dianalisis dengan uji-t, ANOVA dua jalur, korelasi, dan Cohen's d. Data kualitatif diperoleh dari observasi, wawancara, lembar jawaban, dan dokumentasi. Hasil menunjukkan bahwa kelas eksperimen lebih unggul pada *algebraic thinking* (56,15 berbanding 42,72; $p = 0,0115$; $d = 0,52$) dan *responsible decision-making* (103,02 berbanding 93,45; $p < 0,001$; $d = 0,77$). Gaya belajar tidak berpengaruh dan tidak berinteraksi dengan model pembelajaran. Kedua kemampuan tidak berkorelasi signifikan ($r = 0,076$; $p = 0,640$). Data kualitatif menunjukkan keunggulan terutama pada generalisasi, pengenalan pola, representasi aljabar, dan kerja sama kelompok, sedangkan pemecahan masalah dan pengambilan keputusan paling lambat berkembang. Model PACE berbantuan teknologi efektif mengembangkan kemampuan kognitif dan sosial-emosional melalui jalur yang relatif terpisah.

Keywords: Keywords: Innovative Learning; Algebraic Reasoning; Social-Emotional Learning; Technology Integration; Student Learning Characteristics.

Abstract

This study examined the effectiveness of the technology-assisted PACE (*Project, Activity, Cooperative, Exercise*) learning model, using GeoGebra and NotebookLM, on senior high school students' *algebraic thinking* and *responsible decision-making*, overall and by learning style (visual, auditory, kinesthetic), and tested the correlation between the two abilities. An embedded mixed-methods design was used, with a pretest-posttest nonequivalent control group quasi-experiment. The sample comprised 80 Grade XI students at high school in Sukabumi (40 experimental, 40 control) who studied Polynomials over six meetings. Quantitative data from an essay test and a questionnaire were analysed with t-tests, two-way ANOVA, correlation, and Cohen's d; qualitative data came from observation, interviews, student work, and documentation. The experimental class outperformed the control class in *algebraic thinking* (56.15 vs 42.72; $p = .0115$; $d = 0.52$) and *responsible decision-making* (103.02 vs 93.45; $p < .001$; $d = 0.77$). Learning style had no main effect and did not interact with the model. The two abilities were not significantly correlated ($r = .076$; $p = .640$). Qualitative data showed the largest advantages in generalisation, pattern recognition, algebraic representation, and group collaboration, while problem solving and decision

selection developed most slowly. The technology-assisted PACE model effectively develops cognitive and social-emotional abilities, apparently through relatively separate pathways.

Keywords: Keywords: Innovative Learning; Algebraic Reasoning; Social-Emotional Learning; Technology Integration; Student Learning Characteristics.

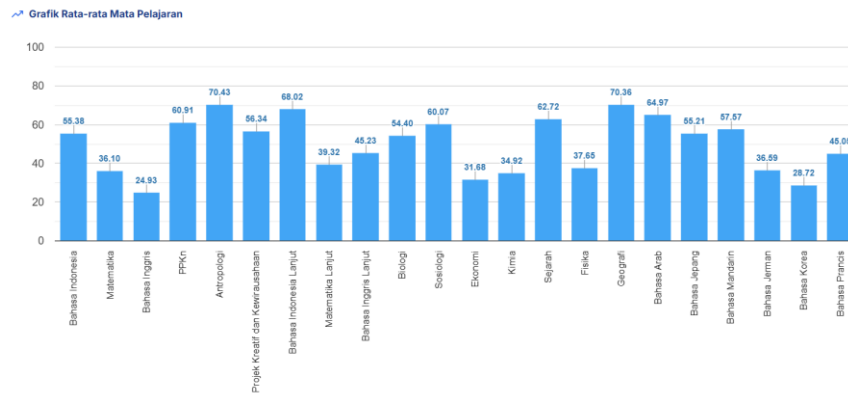
Abstract

Ieu panalungtikan mibanda tujuan pikeun manggihan tur nganalisis tingkat epektipitas tina modél pangajaran PACE (Project, Activity, Cooperative, Exercise) nu dibantu ku téknologi (GeoGebra jeung NotebookLM) kana kamampuh *algebraic thinking* katut *responsible decision-making* siswa SMA, boh sacara gembleng atawa ditilik tina gaya diajar, sarta nguji korelasi antara éta dua kamampuh. Panalungtikan ieu ngagunakeun pendekatan campuran (*mixed methods*) kalawan desain *embedded* kuasi-ékspérimén *pretest-posttest nonequivalent control group*. Sampel panalungtikan ngawakupan 80 siswa kelas XI SMAN Unggulan di Sukabumi (40 siswa kelas ékspérimén jeung 40 siswa kelas kontrol) dina materi Polinomial salami genep kali patepungan. Data kuantitatip dipayunkeun tina tés uraian jeung angkét, nu tuluy dianalisis ngagunakeun uji-t, ANOVA dua jalur, korelasi, sarta *Cohen's d*. Sedengkeun data kualitatip diala tina observasi, wawancara, lembar jawaban, jeung dokuméntasi. Hasil panalungtikan némbongkeun yén kelas ékspérimén langkung unggul dina kamampuh *algebraic thinking* (56,15 dibandingkeun 42,72; $p = 0,0115$; $d = 0,52$) sarta *responsible decision-making* (103,02 dibandingkeun 93,45; $p < 0,001$; $d = 0,77$). Gaya diajar teu méré pangaruh sarta teu mibanda interaksi jeung modél pangajaran. Dua kamampuh kasebut ogé teu mibanda korelasi nu signifikan ($r = 0,076$; $p = 0,640$). Data kualitatip némbongkeun keunggulan utamana dina widang generalisasi, ngawanohkeun pola, répréséntasi aljabar, sarta kerja sarua kelompok, sedengkeun widang ngaréngsékeun masalah jeung nyokot kaputusan jadi nu panglauna mekarna. Modél PACE nu dibantu téknologi éféktif pikeun ngamekarkeun kamampuh kognitif sarta sosial-émosional ngaliwatan jalur nu kawilang terpisah.

Keywords: Keywords: Innovative Learning; Algebraic Reasoning; Social-Emotional Learning; Technology Integration; Student Learning Characteristics.

INTRODUCTION

Pendidikan abad ke-21 menuntut pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, pemanfaatan teknologi, dan kompetensi sosial-emosional secara bersamaan (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022; Mongkau & Pangkey, 2024). Dalam matematika SMA, *algebraic thinking* merupakan kompetensi fundamental karena memuat generalisasi, pengenalan pola, dan pemahaman hubungan antarkonsep (Eriksson & Sumpter, 2021; Sibgatullin et al., 2022). Kemampuan ini penting bagi penalaran dan pemecahan masalah (Sarmasági et al., 2025), yang juga menjadi tuntutan Tes Kemampuan Akademik (Purnomo et al., 2022). Selain aspek kognitif, *responsible decision-making* merupakan salah satu kompetensi inti kerangka social and emotional learning (CASEL, 2020), yaitu kemampuan menganalisis situasi, mengevaluasi konsekuensi alternatif, dan memutuskan secara bertanggung jawab (Cavioni et al., 2024). Dalam pembelajaran matematika, kemampuan ini beririsan dengan proses mengidentifikasi masalah, memilih strategi, dan mengevaluasi hasil (Murtafiah et al., 2023; Tawfik & Gatewood, 2022).



Gambar 1. Capaian Nilai Siswa TKA 2025

Capaian matematika siswa Indonesia masih rendah, dengan rata-rata nilai TKA matematika sekitar 36 dari 100 (Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah, 2024; OECD, 2026). Salah satu penyebabnya adalah dominasi pembelajaran berpusat pada guru yang menekankan hafalan dan prosedur (Sutiawan et al., 2021), sementara teknologi sering hanya menjadi pelengkap metode konvensional (St Omer et al., 2025). Perbedaan gaya belajar juga sering dipandang memengaruhi efektivitas pembelajaran (Franco, 2025; Robiah Adawiah & Firmansyah, 2025), meskipun bukti bahwa menyesuaikan pengajaran dengan gaya belajar meningkatkan hasil belajar masih diperdebatkan (Pashler et al., 2008).

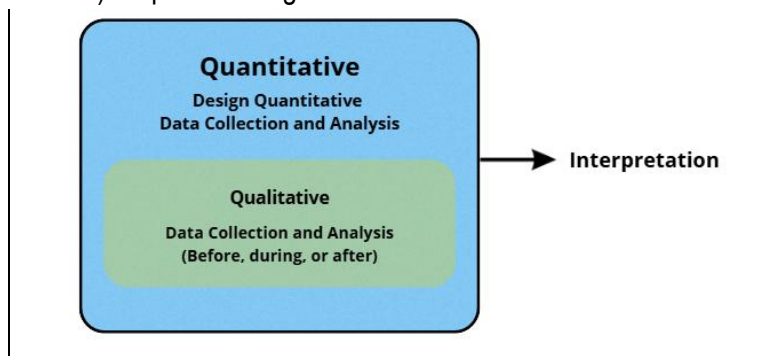
Model PACE yang dirancang Lee (1997) menawarkan alternatif berbasis konstruktivisme melalui empat tahap, yaitu project, activity, cooperative, dan exercise. Penelitian terdahulu melaporkan manfaat PACE bagi berpikir kreatif (Afrilianto et al., 2022), pemecahan masalah matematis (Khusuma, 2021), serta pemecahan masalah ditinjau dari gaya belajar (Dwiyaning et al., 2021). Teknologi dapat memperkuat tahap activity dan cooperative: GeoGebra menghubungkan representasi grafis dan aljabar secara dinamis (Handayani et al., 2022; Hohenwarter & Jones, 2007), sedangkan NotebookLM menyajikan materi dalam beragam representasi dan mendukung pembelajaran berbasis proyek (Rahman et al., 2025; Shor et al., 2025).

Namun, kajian PACE belum menelaah *algebraic thinking* dan *responsible decision-making* secara bersamaan, belum memadukan GeoGebra dan NotebookLM, dan belum meninjau perbedaan gaya belajar dalam satu rancangan. Hubungan antara kemampuan kognitif aljabar dan kompetensi pengambilan keputusan dalam pembelajaran matematika juga jarang diuji. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menjawab empat pertanyaan: (1) bagaimana *algebraic thinking* siswa pada model PACE berbantuan teknologi dibandingkan dengan pembelajaran konvensional, secara keseluruhan dan ditinjau dari gaya belajar; (2) bagaimana *responsible decision-making* siswa pada kedua kelas, secara keseluruhan dan ditinjau dari gaya belajar; (3) apakah kedua kemampuan berkorelasi pada siswa yang memperoleh model PACE berbantuan teknologi; dan (4) bagaimana efektivitas model tersebut terhadap kedua kemampuan.

METHODS

Penelitian memakai pendekatan campuran dengan desain embedded: data kuantitatif menjadi data utama, dan data kualitatif disematkan untuk menjelaskan serta memperdalam temuan kuantitatif (Creswell & Plano Clark, 2018). Komponen kuantitatif berupa kuasi-eksperimen pretest-posttest

nonequivalent control group (Shadish et al., 2002). Variabel bebas adalah model PACE berbantuan teknologi, variabel terikat adalah *algebraic thinking* dan *responsible decision-making*, dan gaya belajar (visual, auditori, kinestetik) berperan sebagai variabel moderator.



Gambar 2. Capaian Nilai Siswa TKA 2025

Sumber: Yaniawati & Indrawan (2024)

Pembelajaran materi Polinomial berlangsung enam pertemuan pada kedua kelas. Kelas eksperimen mengikuti model PACE berbantuan teknologi: (1) *project*, yaitu masalah kontekstual, dugaan awal, dan pembagian peran; (2) *activity*, yaitu eksplorasi konsep dengan GeoGebra dan NotebookLM; (3) *cooperative*, yaitu diskusi, presentasi, dan penyepakatan solusi; serta (4) *exercise*, yaitu latihan individu dan refleksi. Kelas kontrol mengikuti pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru, berupa ceramah, tanya jawab terbatas, dan latihan soal tanpa integrasi teknologi secara sistematis.

Subjek penelitian adalah siswa kelas XI SMAN Unggulan di Sukabumi yang dipilih secara *purposive* dengan kriteria: kelas diampu guru matematika yang sama, kemampuan awal relatif setara, jadwal memungkinkan jumlah dan durasi pertemuan yang sama, dan siswa memiliki akses perangkat serta jaringan. Terpilih kelas XI-A sebagai kelas eksperimen ($n = 40$) dan XI-C sebagai kelas kontrol ($n = 40$). Berdasarkan angket gaya belajar, kelas eksperimen terdiri atas 19 siswa visual, 10 auditori, dan 11 kinestetik, sedangkan kelas kontrol terdiri atas 17 visual, 11 auditori, dan 12 kinestetik.

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi Tes *algebraic thinking* terdiri atas enam soal uraian (skor maksimum 100), masing-masing mewakili satu indikator: berpikir relasional, pengenalan pola, generalisasi dan abstraksi, bilangan dan operasi, bahasa dan representasi aljabar, serta pemecahan masalah (Sarmasági et al., 2025). Setelah ditelaah ahli, tes diujicobakan pada 50 siswa di luar sampel dan dinyatakan valid serta reliabel ($Cronbach's \alpha = 0,793$). Angket *responsible decision-making* berisi 30 butir skala Likert lima pilihan dengan lima indikator (identifikasi masalah, evaluasi konsekuensi, kesejahteraan, kontribusi lingkungan, dan pengambilan keputusan), valid dan sangat reliabel ($\alpha = 0,912$); skor ordinal ditransformasi ke interval dengan *Method of Successive Interval*. Angket gaya belajar VAK (24 butir), lembar observasi (17 butir pada empat tahap PACE), dan pedoman wawancara semi-terstruktur divalidasi melalui *expert judgement*. Wawancara dilakukan pada enam siswa kelas eksperimen (dua per gaya belajar, masing-masing dengan kemampuan tinggi dan rendah), dan dokumentasi berupa LKPD, lembar jawaban, dan foto kegiatan.

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif dianalisis dengan SPSS 27. Kesetaraan kemampuan awal dan perbedaan kemampuan akhir diuji dengan uji-t sampel independen setelah uji normalitas (*Shapiro-Wilk*) dan homogenitas (*Levene*) terpenuhi, dengan uji satu pihak untuk *posttest*. Pengaruh model, gaya belajar, dan interaksinya diuji dengan ANOVA dua jalur. Korelasi kedua kemampuan pada kelas eksperimen diuji dengan Pearson (seluruh siswa) dan Spearman (tiap gaya belajar). Besar pengaruh dihitung dengan *Cohen's d* dan model dinyatakan efektif

apabila perbedaan signifikan dan $d \geq 0,50$. Data kualitatif dianalisis dengan model Miles dan Huberman, yaitu reduksi, penyajian, dan penarikan kesimpulan, disertai triangulasi antarsumber (Miles et al., 2014).

RESULTS AND DISCUSSION

Kesetaraan Kemampuan Awal

Kemampuan awal kedua kelas setara pada *algebraic thinking* (eksperimen 14,03; kontrol 15,78; Sig. 0,156) maupun *responsible decision-making* (91,11 dan 91,65; Sig. 0,835). Seluruh data berdistribusi normal dan homogen sehingga uji-t dapat digunakan.

Kemampuan Akhir dan Efektivitas

Table 1. Hasil Pengolahan Data Posttest dan Efektivitas

Variabel	Kelas	Mean	Standar Deviasi	t	Sig. (1-tailed)
<i>Algebraic thinking</i>	Eksperimen	56,15	27,54	2,312	0,0115
	Kontrol	42,72	24,28		
<i>Responsible decision-making</i>	Eksperimen	103,02	11,41	3,431	< 0,001
	Kontrol	93,45	13,46		

Hasil pengolahan uji rerata satu pihak pada nilai posttest menunjukkan bahwa kelas eksperimen lebih tinggi secara signifikan pada kedua kemampuan, dengan besar pengaruh sedang untuk *algebraic thinking* dan sedang mendekati besar untuk *responsible decision-making*; kriteria efektivitas ($d \geq 0,50$) terpenuhi.

Pengaruh Model Pembelajaran dan Gaya Belajar

Table 2. Hasil Statistik Data Anova dua Jalur dan Efektivitasnya

Sumber	<i>Algebraic thinking</i>	<i>Responsible decision-making</i>
Model pembelajaran	$F = 4,375$; Sig. 0,040; $\eta^2p = 0,056$	$F = 8,583$; Sig. 0,005; $\eta^2p = 0,104$
Gaya belajar	$F = 1,119$; Sig. 0,332	$F = 0,533$; Sig. 0,589
Model $\times$ gaya belajar	$F = 0,185$; Sig. 0,832	$F = 1,929$; Sig. 0,152

Dari tabel di atas dapat diperhatikan bahwa model pembelajaran berpengaruh signifikan pada kedua kemampuan, sedangkan gaya belajar dan interaksinya tidak signifikan. Secara deskriptif, kelas eksperimen unggul pada ketiga gaya belajar. Pada *algebraic thinking*, rata-rata eksperimen berbanding kontrol adalah 61,58 berbanding 46,06 (visual), 55,70 berbanding 40,82 (auditori), dan 47,18 berbanding 39,75 (kinestetik). Pada *responsible decision-making*, selisih terbesar pada siswa visual (14,50) dan terkecil pada siswa auditori (1,11).

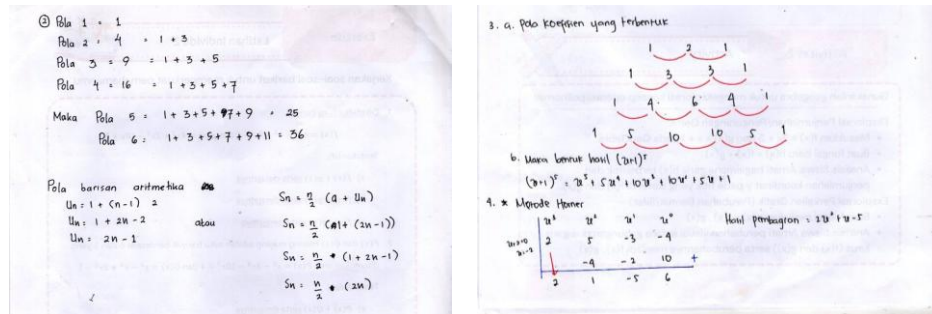
Sedangkan untuk uji korelas pada model pembelajaran terhadap kemampuan kognitif dan afektif menunjukkan bahwa pada kelas eksperimen, korelasi antara kedua kemampuan tidak signifikan, baik pada seluruh siswa (Pearson $r = 0,076$; Sig. 0,640) maupun pada siswa visual ($r_s = -0,162$; Sig. 0,509), auditori ($r_s = 0,036$; Sig. 0,920), dan kinestetik ($r_s = 0,391$; Sig. 0,235).

Temuan Kualitatif

Pada *algebraic thinking*, kelas eksperimen unggul pada lima dari enam indikator, terbesar pada generalisasi dan abstraksi (selisih 25,0 poin persentase), diikuti pengenalan pola (16,4), pemecahan

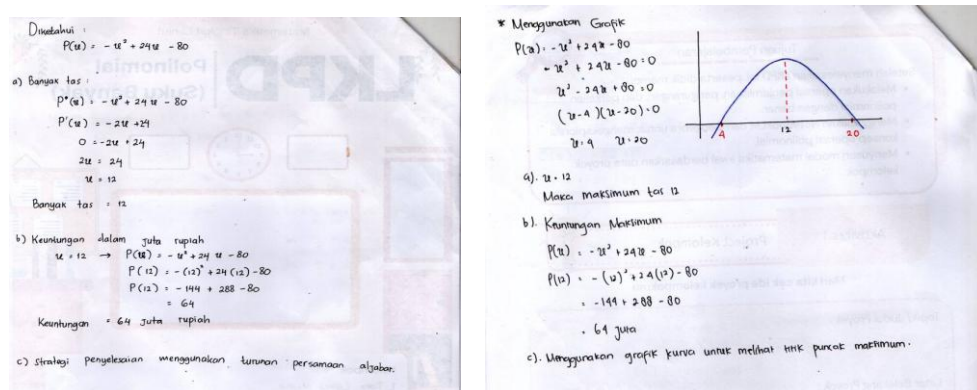
masalah (13,6), dan bahasa serta representasi aljabar (13,3); indikator bilangan dan operasi setara (68,2%). Sebanyak 57,5% siswa eksperimen memperoleh skor 0 pada soal pemecahan masalah, sehingga pencapaian pada indikator ini tidak merata. Skor aktivitas berpikir aljabar meningkat dari 36,5% menjadi 84,7% selama enam pertemuan. Wawancara menunjukkan bahwa gaya belajar membentuk cara menemukan pola (visual melalui grafik, auditori melalui verbalisasi, kinestetik melalui uji coba angka), sedangkan tingkat kemampuan menentukan sejauh mana pola menjadi rumus umum.

Pola jawaban siswa dapat dilihat pada lembar posttest siswa tentang bagaimana cara mereka menyelesaikan permasalahan aljabar.



Gambar 3. Lembar Jawaban Posttest Siswa

Lembar jawaban tersebut memperlihatkan tiga ciri berpikir aljabar yang kuat. Pertama, siswa menggeneralisasi pola menjadi bentuk umum, baik melalui barisan aritmetika pada soal 2 ($U_n = 2n - 1$ dan $S_n = n^2$) maupun melalui pola koefisien pada soal 3.



Gambar 4. Jawaban Siswa Pada Soal Mencari Keuntungan Maksimum dengan Strategi Turunan dan Strategi Grafik

Pada lembar jawaban lain, siswa memeriksa hasil dengan metode lain: pembagian polinomial dikerjakan dengan skema Horner dan pembagian bersusun, serta masalah keuntungan maksimum dikerjakan dengan turunan dan dengan grafik. Ketiga, siswa mengaitkan pengetahuan di luar materi (turunan dari kelas 12 dan barisan aritmetika) untuk menyelesaikan masalah.

Operasi Polinomial	Hasil Operasi	Derajat	Pengamatan
$f(x)$	$2x + 3$	1	Grafik dengan kemiringan (gradien) positif
$g(x)$	$x + 1$	1	Grafik dengan kemiringan yang lebih landai dari $f(x)$
$f(x) + g(x)$	$2x + 3 + x + 1$ $= 3x + 4$	1	Hasil Penjumlahan kedua y pada titik x yang sama menghasilkan garis yang lebih curam
$f(x) - g(x)$	$2x + 3 - (x + 1)$ $= x + 2$	1	Hasil Pengurangan dua y pada titik x yang sama menghasilkan garis yang lebih landai
$f(x) \cdot g(x)$	$(2x + 3)(x + 1)$ $= 2x^2 + 2x + 3x + 3$ $= 2x^2 + 5x + 3$	2	Pengaliran dua garis akan menghasilkan kurva (parabola)

Gambar 5. LKPD kelompok Mengenai eksplorasi grafik operasi polinomial

LKPD kelompok memperlihatkan proses generalisasi dari eksplorasi GeoGebra. Setelah menggambar grafik $f(x) = 2x + 3$, $g(x) = x + 1$, serta hasil penjumlahan, pengurangan, dan perkaliannya

1. Penjumlahan / pengurangan :
operasi pada dua fungsi linear (derajat 1) tetap menghasilkan garis lurus (derajat 1) hanya kemiringan dan titik potong berubah.
 2. Perkalian : Perkalian dua fungsi linear akan menghasilkan kurva parabola (derajat 2)
- Kesimpulan : Derajat hasil perkalian polinomial adalah jumlah dari derajat masing-masing polinomial yg dikalikan.

Gambar 6. Siswa berkelompok menarik kesimpulan tentang derajat hasil operasi polinomial

Lalu, kelompok menyimpulkan bahwa penjumlahan dan pengurangan dua fungsi linear dan membandingkannya dengan perkalian dua fungsi linear. Kesimpulan ini diperoleh dari pengamatan pola pada beberapa kasus, kemudian dinyatakan sebagai aturan umum.

Sedangkan, pada *responsible decision-making*, kelas eksperimen unggul pada kelima indikator, terbesar pada identifikasi masalah ($d = 0,65$) dan kontribusi lingkungan ($d = 0,63$), dan terkecil pada pengambilan keputusan ($d = 0,34$). Aktivitas terkait meningkat dari 40,0% menjadi 86,7%, dengan kontribusi lingkungan mencapai 100% sedangkan kebiasaan memeriksa ulang hasil hanya 46,7%. Siswa berkemampuan tinggi membandingkan beberapa metode dan memvalidasinya lintas representasi, sedangkan siswa berkemampuan rendah bertumpu pada satu cara atau patokan eksternal. Dokumentasi memperlihatkan siswa kelas eksperimen lebih berani menjawab dan maju, sedangkan siswa kelas kontrol enggan maju karena takut salah.

DISCUSSION

Pada kemampuan *Algebraic thinking*, Keunggulan kelas eksperimen (selisih 13,43 poin; $d = 0,517$) searah dengan penelitian PACE terdahulu (Afrilianto et al., 2022; Khusuma, 2021). Rancangan PACE yang berlandaskan konstruktivisme dan zona perkembangan proksimal (Vygotsky, 1978) mengarahkan siswa menduga, mengeksplorasi, menggeneralisasi, dan menjustifikasi, yang merupakan inti berpikir aljabar (Blanton & Kaput, 2005; Kaput, 2008; Kieran, 2004). GeoGebra menghubungkan grafik dan rumus secara langsung (Hohenwarter & Jones, 2007), sedangkan kemampuan berpindah antarrepresentasi menjadi syarat pemahaman matematika. Efek teknologi tetap bergantung pada rancangan tugas dan peran guru (Drijvers, 2015), sehingga keberhasilan ini tidak dapat dilepaskan dari struktur PACE. Keunggulan terutama muncul pada indikator konseptual dan representasional, tetapi tidak pada bilangan dan operasi yang dilatih di kedua kelas. Hubungan pengetahuan konseptual dan prosedural bersifat timbal balik (Rittle-Johnson et al., 2015), sehingga perubahan pada kelancaran

prosedural mungkin memerlukan waktu perlakuan lebih panjang. Pemecahan masalah masih rendah dan tidak merata. Siswa berkemampuan rendah berhenti pada pengamatan grafik, sejalan dengan perbedaan profil berpikir aljabar menurut kemampuan (Yusrina & Masriyah, 2019) dan kebutuhan pemula akan bimbingan memadai (Kirschner et al., 2006).

Ditinjau dari Gaya belajar, Tidak adanya pengaruh dan interaksi gaya belajar selaras dengan Dwiyani et al. (2021) serta Robiah Adawiah dan Firmansyah (2025), dan dengan tinjauan yang menyimpulkan bahwa bukti manfaat mencocokkan pengajaran dengan gaya belajar belum memadai (Pashler et al., 2008). Seluruh siswa memperoleh sajian multirepresentasi, sehingga tidak ada kelompok yang kekurangan jalur belajar. Wawancara menunjukkan bahwa gaya belajar memengaruhi cara siswa menemukan pola dan memeriksa keputusan, bukan hasil akhirnya. Ukuran kelompok yang kecil (10 sampai 19 siswa) membatasi daya uji (Button et al., 2013), sehingga ketiadaan interaksi tidak membuktikan interaksi pasti tidak ada.

Sedangkan pada *Responsible decision-making*, Keunggulan yang lebih besar pada kemampuan ini ($d = 0,767$) sejalan dengan bukti bahwa pembelajaran SEL dan kooperatif berteknologi membangun keterampilan sosial-emosional (Durlak et al., 2011; Low & Van Ryzin, 2023; Taylor et al., 2017). Tahap *cooperative* menuntut pembagian peran, penghargaan terhadap pendapat, dan pembuktian bersama, sesuai prinsip saling ketergantungan positif (Johnson & Johnson, 2009; Kyndt et al., 2013). Aspek sosial-kolaboratif berkembang cepat, sedangkan pengambilan keputusan dan pemeriksaan ulang hasil paling lambat. Pola ini konsisten dengan pandangan bahwa memilih dan memantau strategi adalah komponen pemecahan masalah yang paling menuntut (Schoenfeld, 1985) dan dengan temuan bahwa siswa yang kurang berhasil menyelesaikan soal terbuka kurang mampu mengevaluasi keputusannya (Murtafiah et al., 2023). Karena angket bersifat laporan diri (Podsakoff et al., 2003), dukungan observasi, wawancara, dan dokumentasi penting untuk menguatkan temuan.

Pada Korelasi yang tidak signifikan ($r = 0,076$) dapat dijelaskan oleh perbedaan konstruk (kognitif versus sosial-emosional; CASEL, 2020), perbedaan instrumen, dominasi indikator sosial-kolaboratif pada skor total RDM, dan kecilnya kelompok gaya belajar. Dengan demikian, kedua kemampuan tampak berkembang melalui jalur terpisah: eksplorasi GeoGebra dan NotebookLM untuk aspek kognitif, serta diskusi dan pembuktian bersama untuk aspek sosial-emosional. Model dinilai efektif karena kedua kriteria (signifikansi dan $d \geq 0,50$) terpenuhi, tetapi selang kepercayaan d untuk *algebraic thinking* lebar (Lakens, 2013), sehingga presisinya terbatas.

Penelitian ini menggunakan kelas utuh tanpa pengacakan di satu sekolah dengan 80 siswa dan hanya enam pertemuan pada satu materi (Shadish et al., 2002). Model pembelajaran dan teknologi diterapkan sebagai satu paket sehingga kontribusi masing-masing tidak dapat dipisahkan (Clark, 1983). Tes *algebraic thinking* hanya memuat satu butir per indikator, *responsible decision-making* diukur dengan laporan diri, dan analisis korelasi bersifat korelasional serta hanya pada kelas eksperimen. Penelitian lanjutan perlu memakai pengacakan, durasi lebih panjang, pemisahan komponen perlakuan, serta pengukuran yang lebih beragam.

CONCLUSION

Model pembelajaran PACE berbantuan teknologi meningkatkan *algebraic thinking* dan *responsible decision-making* siswa SMA secara signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional dengan besar pengaruh sedang ($d = 0,52$ dan $0,77$), dan keunggulan ini konsisten pada siswa visual, auditori, dan kinestetik. Kedua kemampuan tidak berkorelasi signifikan sehingga tampak berkembang melalui jalur yang berbeda. Keunggulan terutama pada generalisasi, pengenalan pola, representasi

aljabar, dan kerja sama kelompok, sedangkan pemecahan masalah dan pengambilan keputusan masih perlu penguatan.

Guru disarankan menerapkan sintaks PACE secara utuh, menyediakan *scaffolding* untuk menerjemahkan representasi visual menjadi simbol, melatih siswa membandingkan beberapa strategi dan memeriksa ulang hasil, serta tetap mempertahankan latihan prosedural manual. Peneliti selanjutnya disarankan memakai desain dengan pengacakan, durasi dan sampel lebih besar, pemisahan kontribusi model dan media, ANCOVA, serta pengukuran keputusan berbasis kinerja, termasuk analisis hubungan *algebraic thinking* dengan tiap indikator *responsible decision-making*.

REFERENCES

- Afrilianto, M., Rosyana, T., Linda, L., & Wijaya, T. (2022). Project-activity-cooperative learning-exercise model in improving students' creative thinking ability in mathematics. *Infinity Journal*, 11(2), 285-296. <https://doi.org/10.22460/infinity.v11i2.p285-296>
- Blanton, M. L., & Kaput, J. J. (2005). Characterizing a classroom practice that promotes algebraic reasoning. *Journal for Research in Mathematics Education*, 36(5), 412-446. <https://doi.org/10.2307/30034944>
- Button, K. S., Ioannidis, J. P. A., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S. J., & Munafò, M. R. (2013). Power failure: Why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(5), 365-376. <https://doi.org/10.1038/nrn3475>
- Cavioni, V., Broli, L., & Grazzani, I. (2024). Bridging the SEL CASEL Framework with European educational policies and assessment approaches. *International Journal of Emotional Education*, 16(1), 6-25. <https://doi.org/10.56300/ultx1565>
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53(4), 445-459. <https://doi.org/10.3102/00346543053004445>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Collaborative for Academic, Social, and Emotional Learning. (2020). CASEL's SEL framework: What are the core competence areas and where are they promoted? <https://casel.org/sel-framework/>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Drijvers, P. (2015). Digital technology in mathematics education: Why it works (or doesn't). In S. J. Cho (Ed.), *Selected regular lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_8
- Durlak, J. A., Weissberg, R. P., Dymnicki, A. B., Taylor, R. D., & Schellinger, K. B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions. *Child Development*, 82(1), 405-432. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01564.x>

- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1–2), 103–131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Dwiyani, S., Syaiful, S., & Haryanto, H. (2021). Pengaruh model pembelajaran PACE (project, activity, cooperative learning, exercise) terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis ditinjau dari gaya belajar peserta didik. *Jurnal Cendekia*, 5(2), 1675-1686. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v5i2.672>
- Eriksson, H., & Sumpter, L. (2021). Algebraic and fractional thinking in collective mathematical reasoning. *Educational Studies in Mathematics*, 108, 473-491. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10044-1>
- Franco, C. (2025). The influence of interest, motivation, and learning style on grade 6 pupils' mathematics performance. *International Journal of Instruction*, 18(4), 249-268. <https://doi.org/10.29333/iji.2025.18414a>
- González-Pérez, L., & Ramírez-Montoya, M. (2022). Components of education 4.0 in 21st century skills frameworks: Systematic review. *Sustainability*, 14(3), 1493. <https://doi.org/10.3390/su14031493>
- Handayani, E. D., Kusnawati, E., Sari, N. M., Yaniawati, P., & Zulkarnaen, M. I. (2022). Implementation of geogebra-assisted creative problem-solving model to improve problem solving ability and learning interest students. *Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika*, 13(1), 33-48. <https://doi.org/10.24042/ajpm.v13i1.11341>
- Hohenwarter, M., & Jones, K. (2007). Ways of linking geometry and algebra: The case of GeoGebra. *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, 27(3), 126–131. <https://eprints.soton.ac.uk/50742>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Kaput, J. J. (2008). What is algebra? What is algebraic reasoning? In J. J. Kaput, D. W. Carraher, & M. L. Blanton (Eds.), *Algebra in the early grades* (pp. 5–17). Lawrence Erlbaum Associates.
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2024). Hasil Tes Kemampuan Akademik (TKA). <https://tka.kemendikdasmen.go.id/hasiltka/>
- Khusuma, D. (2021). Model pembelajaran PACE dan self efficacy: Dampak terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis. *AdMathEdu: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Ilmu Matematika dan Matematika Terapan*, 11(2), 147-158. <https://doi.org/10.12928/admathedu.v11i2.22368>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1

- Kyndt, E., Raes, E., Lismont, B., Timmers, F., Cascallar, E., & Dochy, F. (2013). A meta-analysis of the effects of face-to-face cooperative learning. Do recent studies falsify or verify earlier findings? *Educational Research Review*, 10, 133–149. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.02.002>
- Lee, C. (1997). Promoting active learning in an introductory statistics course using the PACE strategy. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Mathematics Education*, 199-206. <https://people.se.cmich.edu/lee1c/carlee/pace-1.html>
- Low, S., & Van Ryzin, M. (2023). Student-centered instruction can build social-emotional skills and peer relations: Findings from a cluster-randomized trial of technology-supported cooperative learning. *School Psychology*, 39(1), 42-53. <https://doi.org/10.1037/spq0000589>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Mongkau, J., & Pangkey, R. (2024). Kurikulum merdeka: Memperkuat keterampilan abad 21 untuk generasi emas. *Journal on Education*, 6(4), 22018-22030. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i4.6323>
- Murtafiah, W., Lestari, N., Yahya, F., Apriandi, D., & Suprpto, E. (2023). How do students' decision-making ability in solving open-ended problems? *Infinity Journal*, 12(1), 133-150. <https://doi.org/10.22460/infinity.v12i1.p133-150>
- OECD. (2026). *PISA 2025 results (Volume I): Future-ready students*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/73451bc5-en>
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest*, 9(3), 105–119. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x>
- Purnomo, H., Sa'dijah, C., Hidayanto, E., Sisworo, S., Permadi, H., & Anwar, L. (2022). Development of instrument numeracy skills test of minimum competency assessment (MCA) in Indonesia. *International Journal of Instruction*, 15(3), 611-632. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15335a>
- Rahman, N., Zulkornain, L., Soon, G., Hamzah, N., & Chao, C. (2025). NotebookLM integrated project-based learning model development for writing among undergraduates. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(7), 5498-5503. <https://doi.org/10.47772/ijriss.2025.907000444>
- Rittle-Johnson, B., Schneider, M., & Star, J. R. (2015). Not a one-way street: Bidirectional relations between procedural and conceptual knowledge of mathematics. *Educational Psychology Review*, 27(4), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9302-x>
- Robiah Adawiah, E. E., & Firmansyah, E. (2025). Enhancing numeracy skills and learning resilience through differentiated instruction based on students' learning styles. *Pasundan Journal of Mathematics Education: Jurnal Pendidikan Matematika*, 15(2), 154–170. <https://doi.org/10.23969/pjme.v15i2.33605>

- Sarmasági, P., Rumbus, A., Bilbao, J., Margitay-Becht, A., Pluhár, Z., Rebollar, C., & Dagienė, V. (2025). Bridging algebraic and computational thinking: Impacts on student development in K–12 education. *Informatics in Education*, 24(2), 343-376. <https://doi.org/10.15388/infedu.2025.13>
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin.
- Shor, R., Greene, E., Sumberg, L., & Weingrad, A. (2025). AI tools in academia: Evaluating NotebookLM as a tool for conducting literature reviews. *Psychiatry: Interpersonal and Biological Processes*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/00332747.2025.2541531>
- Sibgatullin, I., Korzhuev, A., Khairullina, E., Sadykova, A., Baturina, R., & Chauzova, V. (2022). A systematic review on algebraic thinking in education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(1), em2065. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11486>
- St Omer, S., Evers, K., Wang, C., & Chen, S. (2025). Technology-enhanced mathematics learning: Review of the interactions between technological attributes and aspects of mathematics education from 2013 to 2022. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1-13. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05475-7>
- Sutiawan, I., Yaniawati, P., & Toharudin, U. (2021). Penggunaan pembelajaran creative problem solving (CPS) dalam upaya meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis dan self efficacy siswa SMP. *Garda Guru: Jurnal Satuan Pendidikan Guru*, 3(1), 49-61. <https://doi.org/10.23969/gardaguru.v3i1.3796>
- Tawfik, A. A., & Gatewood, J. (2022). Decision making and problem-solving: Implications for learning design. *The Journal of Applied Instructional Design*, 11(2), 7-23. <https://doi.org/10.51869/112/atig>
- Taylor, R. D., Oberle, E., Durlak, J. A., & Weissberg, R. P. (2017). Promoting positive youth development through school-based social and emotional learning interventions: A meta-analysis of follow-up effects. *Child Development*, 88(4), 1156–1171. <https://doi.org/10.1111/cdev.12864>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Yusrina, S., & Masriyah, M. (2019). Profil berpikir aljabar siswa SMP dalam memecahkan masalah matematika kontekstual ditinjau dari kemampuan matematika. *MATHEdunesa*, 8(3), 477–484. <https://doi.org/10.26740/mathedunesa.v8n3.p477-484>