

Penggunaan *Desmos Graphing Calculator* untuk Meningkatkan Kemampuan Komunikasi Matematis dan Kemandirian Belajar Mahasiswa pada Materi Integral Kalkulus II

Diana Astria Gultom^{1*}, Izwita Dewi², Kms Amin Fauzi³

Universitas Pelita Harapan, Indonesia¹

Universitas Negeri Medan, Indonesia^{2,3}

Email: astria.g12@gmail.com*

Keywords:

Desmos Graphing Calculator; mathematical communication; learning independence; integral; Calculus II

Abstract

This research aims to describe the improvement of students' mathematical communication skills and learning independence through the use of the Desmos Graphing Calculator on integral material in the Calculus II course. The research employed a classroom action research design involving undergraduate Mathematics Education students in the even semester. Data were collected through observation, mathematical communication ability tests, learning independence questionnaires, and documentation of learning activities. The results show that the use of the Desmos Graphing Calculator significantly improved students' ability to represent integral concepts, communicate mathematical ideas both orally and in writing, and promote independence in exploring and verifying concepts. These findings are supported by documentary evidence of students actively using Desmos to visualize integral regions, examine integration boundaries, and graphically verify analytical calculations. The integration of Desmos technology in Calculus II instruction proved effective as an innovative learning medium that increased student engagement and conceptual understanding.

Kata Kunci:

Desmos Graphing Calculator; komunikasi matematis; kemandirian belajar; integral; Kalkulus II

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan kemampuan komunikasi matematis serta kemandirian belajar mahasiswa melalui pemanfaatan Desmos Graphing Calculator pada materi integral dalam perkuliahan Kalkulus II. Penelitian menggunakan pendekatan penelitian tindakan kelas (*classroom action research*) yang dilaksanakan dalam dua siklus pembelajaran. Subjek penelitian adalah mahasiswa yang mengikuti mata kuliah Kalkulus II pada program studi terkait. Teknik pengumpulan data meliputi observasi aktivitas pembelajaran, tes kemampuan komunikasi matematis, angket kemandirian belajar, serta dokumentasi proses pembelajaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *Desmos Graphing Calculator* dalam proses pembelajaran mampu meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam merepresentasikan konsep integral secara grafis, menjelaskan ide matematika secara tertulis maupun lisan, serta menumbuhkan kemandirian dalam melakukan eksplorasi konsep. Mahasiswa memanfaatkan Desmos untuk memvisualisasikan daerah integrasi, mengeksplorasi perubahan batas integrasi secara dinamis, serta memverifikasi hasil perhitungan analitik melalui representasi grafis. Dengan demikian, penggunaan teknologi Desmos dapat menjadi alternatif media pembelajaran inovatif yang mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa sekaligus memperkuat pemahaman konseptual pada materi integral.

PENDAHULUAN

Kalkulus merupakan salah satu mata kuliah inti dalam kurikulum pendidikan matematika yang menuntut kemampuan berpikir logis, analitis, dan konseptual. Pada mata kuliah Kalkulus II, mahasiswa mempelajari berbagai konsep integral yang tidak hanya berkaitan dengan prosedur perhitungan, tetapi juga menuntut pemahaman terhadap makna geometris dan aplikatif dari integral tersebut. Oleh karena itu, mahasiswa perlu memiliki kemampuan untuk mengkomunikasikan ide dan proses matematis secara jelas melalui berbagai bentuk representasi.

Kemampuan komunikasi matematis menjadi salah satu kompetensi penting yang harus dimiliki oleh calon pendidik matematika. NCTM (2014) menegaskan bahwa komunikasi matematis merupakan bagian esensial dari pembelajaran matematika karena memungkinkan siswa untuk mengorganisasi dan mengkonsolidasikan pemahaman mereka. Melalui komunikasi matematis, mahasiswa dapat menjelaskan prosedur penyelesaian masalah, menafsirkan representasi simbolik maupun grafis, serta menghubungkan konsep matematika dengan situasi yang relevan (Maharani et al., 2019). Namun demikian, berbagai temuan di lapangan menunjukkan bahwa kemampuan komunikasi matematis mahasiswa pada materi integral masih relatif rendah. Mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan daerah integrasi, mengaitkan grafik fungsi dengan bentuk integral, serta menjelaskan langkah-langkah penyelesaian secara sistematis menggunakan bahasa matematika yang tepat (Klymchuk et al., 2010).

Selain itu, rendahnya kemampuan komunikasi matematis sering kali berkaitan dengan tingkat kemandirian belajar mahasiswa. Zimmerman (2008) mendefinisikan kemandirian belajar sebagai proses di mana individu secara aktif mengatur kognisi, motivasi, dan perilaku mereka dalam mencapai tujuan pembelajaran. Sebagian mahasiswa masih menunjukkan ketergantungan yang tinggi terhadap penjelasan dosen dan kurang terbiasa melakukan eksplorasi konsep secara mandiri. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembelajaran menjadi kurang aktif dan kurang memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk mengembangkan pemahaman konseptual secara mendalam.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran matematika dapat meningkatkan kemampuan komunikasi matematis dan kemandirian belajar mahasiswa. Penelitian oleh Drijvers et al. (2016) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi grafis interaktif mampu meningkatkan kemampuan representasi dan komunikasi matematis melalui visualisasi konsep yang lebih jelas. Selain itu, penelitian Polly dan Orrill (2016) menyatakan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa dan mendorong pembelajaran yang lebih aktif. Chechan et al. (2023) secara khusus membuktikan bahwa penggunaan Desmos berpengaruh signifikan terhadap pemahaman siswa dalam materi fungsi, dengan peningkatan yang bermakna pada aspek representasi visual. Sementara itu, Zhang et al. (2023) melalui meta-analisis dua dekade penelitian menyimpulkan bahwa perangkat lunak visualisasi dinamis menghasilkan efek positif besar terhadap capaian belajar matematika (Hedges's $g = 0,653$). Hasil penelitian Septian et al. (2020) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi grafis pada materi integral secara efektif meningkatkan kemampuan representasi matematis mahasiswa. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan media berbasis teknologi mampu membantu mahasiswa

menghubungkan representasi simbolik dan grafis secara lebih efektif, sehingga meningkatkan pemahaman konseptual (Borba et al., 2016; Engelbrecht et al., 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan teknologi secara umum dalam pembelajaran matematika dan belum secara spesifik mengkaji penggunaan aplikasi tertentu seperti Desmos Graphing Calculator dalam konteks pembelajaran integral di Kalkulus II. Zulnaidi et al. (2020) meskipun telah mengkaji efektivitas perangkat lunak dinamis dalam pembelajaran matematika, namun penelitian tersebut berfokus pada GeoGebra dan belum menyentuh konteks materi integral kalkulus tingkat universitas. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan aspek kemampuan komunikasi matematis dan kemandirian belajar secara simultan masih relatif terbatas (Istiqomah & Fajri, 2021). Hal ini menunjukkan adanya research gap terkait bagaimana pemanfaatan teknologi interaktif secara spesifik dapat meningkatkan kedua aspek tersebut secara bersamaan dalam pembelajaran integral.

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi dalam pembelajaran matematika. Teknologi grafis interaktif memungkinkan mahasiswa untuk mengeksplorasi konsep matematika secara visual sehingga memudahkan mereka dalam memahami hubungan antara representasi simbolik dan representasi grafis (Jupri et al., 2015). Salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut adalah *Desmos Graphing Calculator*, yaitu kalkulator grafis berbasis web yang memungkinkan pengguna memvisualisasikan fungsi matematika secara interaktif.

Melalui Desmos, mahasiswa dapat menampilkan grafik fungsi secara langsung, memvisualisasikan daerah di bawah kurva, serta mengamati perubahan grafik ketika parameter tertentu diubah. Fitur-fitur tersebut sangat relevan dengan pembelajaran integral karena mahasiswa dapat melihat secara langsung interpretasi geometris dari konsep luas daerah di bawah kurva. Dengan demikian, penggunaan Desmos berpotensi meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus mendorong mahasiswa untuk lebih aktif dalam proses belajar.

Berdasarkan uraian tersebut, kebaruan (novelty) dalam penelitian ini terletak pada integrasi penggunaan Desmos Graphing Calculator sebagai media pembelajaran interaktif yang secara khusus difokuskan pada peningkatan kemampuan komunikasi matematis dan kemandirian belajar mahasiswa pada materi integral Kalkulus II. Penelitian ini tidak hanya mengkaji penggunaan teknologi, tetapi juga menekankan pada bagaimana teknologi tersebut digunakan sebagai alat eksplorasi konseptual dan penguatan komunikasi matematis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk Mendeskripsikan peningkatan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa pada materi integral melalui penggunaan Desmos Graphing Calculator, Menganalisis peningkatan kemandirian belajar mahasiswa setelah penerapan Desmos dalam pembelajaran Kalkulus II, Menggambarkan prosedur pemanfaatan Desmos sebagai media pembelajaran yang mendukung pemahaman konsep integral. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara teoretis maupun praktis. Secara teoretis, penelitian ini dapat memperkaya kajian dalam bidang pendidikan matematika, khususnya terkait integrasi teknologi digital dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis dan kemandirian belajar mahasiswa. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang mengkaji penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi dalam konteks pembelajaran kalkulus. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi dosen dalam merancang pembelajaran yang lebih inovatif dan

interaktif dengan memanfaatkan teknologi seperti Desmos, sehingga mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran. Bagi mahasiswa, penggunaan Desmos diharapkan dapat membantu memahami konsep integral secara lebih visual dan mandiri, serta meningkatkan kemampuan dalam mengkomunikasikan ide matematika secara lebih efektif.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian tindakan kelas (classroom action research/CAR) yang dilaksanakan dalam dua siklus. Setiap siklus terdiri dari empat tahapan: perencanaan (planning), pelaksanaan tindakan (acting), pengamatan (observing), dan refleksi (reflecting). Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan untuk memperbaiki kualitas pembelajaran secara berkelanjutan berdasarkan data empiris yang dikumpulkan langsung dari proses pembelajaran (Cahyono & Ludwig, 2019).

Subjek dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Program Studi Informatika kelas 25T2 Universitas Pelita Harapan Medan pada semester genap tahun akademik 2025/2026. Subjek penelitian adalah mahasiswa yang mengambil mata kuliah Kalkulus II. Pemilihan subjek dilakukan secara purposif berdasarkan pertimbangan bahwa materi integral ganda merupakan topik yang secara historis menunjukkan tingkat kesulitan tinggi bagi mahasiswa.

Prosedur Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui beberapa instrumen, yaitu: (1) Tes kemampuan komunikasi matematis yang diberikan di awal dan akhir setiap siklus; (2) Angket kemandirian belajar menggunakan skala Likert yang diadaptasi dari instrumen MSLQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire) yang dikembangkan oleh Pintrich (2004); (3) Lembar observasi aktivitas belajar mahasiswa yang diisi oleh observer; dan (4) Dokumentasi berupa foto dan catatan lapangan yang merekam proses penggunaan Desmos oleh mahasiswa.

Teknik Analisis Data

Data kuantitatif dari tes kemampuan komunikasi matematis dianalisis dengan menghitung skor rata-rata, persentase ketuntasan, dan gain score ternormalisasi (N-gain) menggunakan rumus (Hake, 1999). Data dari angket kemandirian belajar dianalisis secara deskriptif dengan mengklasifikasikan tingkat kemandirian belajar ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Data kualitatif dari observasi dan dokumentasi dianalisis menggunakan teknik reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan.

Tutorial Penggunaan Desmos Graphing Calculator Pada Materi Integral

1. Langkah-langkah Dasar Penggunaan Desmos

Berdasarkan materi presentasi yang digunakan dalam proses pembelajaran (Kelompok 5, Kalkulus II - Multiple Integrals), berikut adalah panduan penggunaan Desmos yang diintegrasikan dalam pembelajaran integral:

Langkah 1 - Membuka Desmos: Akses Desmos melalui browser di alamat www.desmos.com/calculator. Antarmuka Desmos terdiri dari panel ekspresi di sebelah kiri dan

bidang grafik di sebelah kanan. Mahasiswa dapat langsung mengetikkan ekspresi matematika pada panel kiri.

Langkah 2 - Menginput Fungsi untuk Integral Tunggal: Untuk memvisualisasikan integral $\int f(x) dx$, masukkan fungsi $f(x)$ ke panel ekspresi. Contoh: untuk fungsi $y = x^2 - 2x^2$ yang dipelajari dalam soal latihan (sebagaimana terlihat pada catatan mahasiswa), ketikkan ' $y = x^4 - 2x^2$ '. Desmos akan menampilkan grafik secara otomatis.

Langkah 3 - Memvisualisasikan Daerah Integral (Shading): Untuk menampilkan daerah di bawah kurva antara batas a dan b , gunakan notasi: $\int_a^b f(x) dx$ pada panel ekspresi. Desmos akan secara otomatis mewarnai (shade) daerah yang dimaksud. Fitur ini sangat berguna untuk memvisualisasikan konsep luas daerah sebagai interpretasi geometris dari integral tentu.

Langkah 4 - Integral Daerah di Antara Dua Kurva: Untuk materi integral ganda (double integral), masukkan dua fungsi pembatas, misalnya $y = \sqrt{x}$ (batas atas) dan $y = x^3$ (batas bawah) pada bidang koordinat pertama kuadran. Kemudian gunakan fitur shading untuk menampilkan daerah R yang dibatasi oleh kedua kurva tersebut, sesuai dengan topik Exercise 4 dalam materi presentasi kelompok.

Langkah 5 - Menggunakan Slider untuk Batas Integrasi: Buat slider dengan mengetikkan nama variabel (misalnya ' a ' dan ' b ') pada panel ekspresi. Desmos akan menampilkan slider yang dapat digeser secara interaktif. Mahasiswa dapat mengamati bagaimana perubahan batas integrasi memengaruhi luas daerah yang diarsir secara real-time, mengembangkan intuisi yang kuat terhadap konsep integral tentu.

Langkah 6 - Koordinat Polar untuk Integral Ganda: Untuk visualisasi integral dalam koordinat polar (sebagaimana dibahas dalam materi 'Double integrals in polar coordinates'), gunakan mode polar Desmos dengan mengetikkan ekspresi dalam bentuk $r = f(\theta)$. Fitur ini sangat membantu mahasiswa memahami transformasi koordinat dalam perhitungan integral ganda atas daerah lingkaran atau annulus.

2. Contoh Penggunaan Desmos dalam Soal Latihan

Dalam sesi pembelajaran yang didokumentasikan, mahasiswa menggunakan Desmos untuk menyelesaikan soal-soal latihan dari materi Multiple Integrals, antara lain:

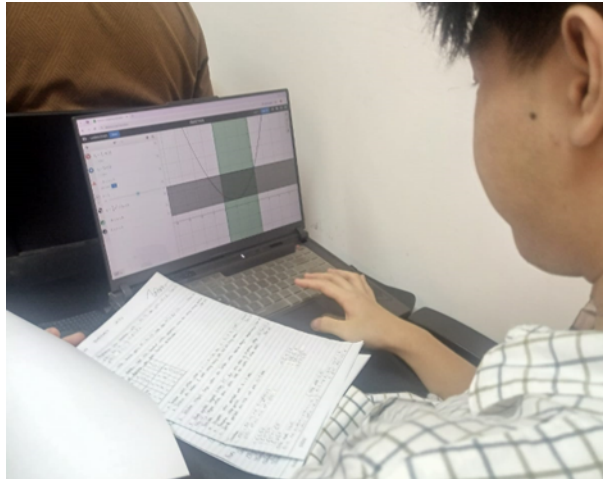
Contoh 1 (Exercise 4 dari materi PPT): Tentukan luas daerah R yang dibatasi oleh kurva $y = x^{1/2}$ dan $y = x^3$ di kuadran pertama. Mahasiswa menginput kedua fungsi ke dalam Desmos, mengidentifikasi titik potong secara visual, kemudian menggunakan informasi titik potong tersebut untuk menentukan batas-batas integrasi secara analitik. Visualisasi grafis membantu mahasiswa 'melihat' daerah yang dimaksud sebelum melakukan perhitungan.

Contoh 2 (Exercise dari soal Quiz Kalkulus II yang terlihat pada dokumentasi): Untuk fungsi parametrik $x(t) = t^2 - 1$ dan $y(t) = t^2 + 2$, mahasiswa memplot kurva parametrik di Desmos menggunakan mode parametric plot, sehingga dapat memahami secara visual hubungan antara koordinat x dan y serta menentukan domain yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

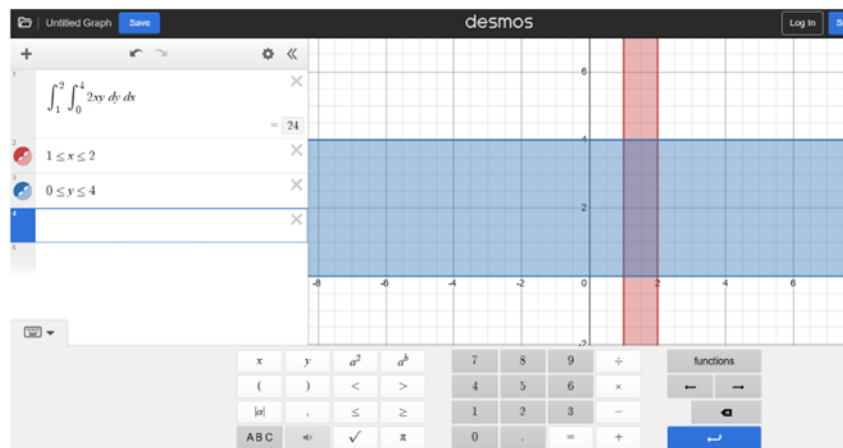
Deskripsi Pelaksanaan Pembelajaran

Pembelajaran dengan menggunakan Desmos Graphing Calculator dilaksanakan dalam suasana pembelajaran mata kuliah Kalkulus II, Mahasiswa secara aktif terlibat dalam eksplorasi konsep integral menggunakan laptop masing-masing. Dokumentasi aktivitas mahasiswa selama proses pembelajaran disajikan pada Gambar 1 dan 2 berikut.



Gambar 1. Mahasiswa memvisualisasikan grafik fungsi $y = x^{(1/2)}$ menggunakan Desmos
Sumber: Data dokumentasi penelitian yang diolah oleh penulis, 2026

Desmosgraph



Gambar 2. Lembar kerja mahasiswa (Quiz 4 Kalkulus II) menunjukkan solusi analitik yang diverifikasi dengan Desmos
Sumber: Data dokumentasi penelitian yang diolah oleh penulis, 2026

Gambar 1 menunjukkan lembar kerja dokumentasi Quiz 4 Kalkulus II milik Wilsen Wu. Yang sedang menggunakan laptop sambil memegang lembar referensi berisi permasalahan integral. Mahasiswi tersebut tampak aktif menginput fungsi ke dalam perangkat digital menggunakan laptop ASUS dengan tampilan antarmuka grafis yang terbuka, menunjukkan aktivitas eksplorasi grafis yang sedang berlangsung. Tampilan Desmos pada layar laptop dengan daerah yang diarsir (shaded region) menggunakan warna hijau dan abu-abu,

menampilkan daerah di antara dua kurva dan sebuah garis. Ini merupakan bukti nyata penggunaan fitur integral shading Desmos untuk memvisualisasikan daerah integrasi

Gambar 2 menunjukkan bahwa penggunaan Desmos diintegrasikan sebagai alat bantu verifikasi dalam proses evaluasi pembelajaran.

Hasil Peningkatan Kemampuan Komunikasi Matematis

Berdasarkan hasil tes kemampuan komunikasi matematis yang diberikan pada akhir setiap siklus, diperoleh data peningkatan yang signifikan. Sebelum penerapan Desmos (pra-siklus), rata-rata skor kemampuan komunikasi matematis mahasiswa berada pada kategori rendah hingga sedang. Mahasiswa mengalami kesulitan terutama dalam aspek representasi grafis dan interpretasi geometris dari konsep integral.

Setelah penerapan Desmos pada Siklus I, terjadi peningkatan yang nyata khususnya pada indikator representasi dan koneksi matematis. Mahasiswa mulai mampu menggambarkan daerah integrasi secara akurat dan menghubungkan representasi grafis dengan ekspresi integral yang sesuai. Pada Siklus II, kemampuan komunikasi matematis mahasiswa meningkat lebih lanjut, dengan peningkatan paling signifikan pada aspek kemampuan menjelaskan prosedur integrasi secara tertulis menggunakan notasi dan terminologi yang tepat.

Tabel 1. Rekapitulasi Peningkatan Kemampuan Komunikasi Matematis

Indikator	Pra-Siklus (%)	Siklus I (%)	Siklus II (%)
Representasi Grafis	42,3	68,7	83,5
Ekspresi Simbolis	55,1	71,4	87,2
Penjelasan Verbal	38,6	62,3	79,8
Koneksi Antar-Representasi	35,4	59,6	76,4
Rata-rata Keseluruhan	42,9	65,5	81,7

Sumber: Data hasil penelitian yang diolah oleh penulis, 2026

Data pada Tabel 1 menunjukkan peningkatan yang konsisten dan signifikan pada semua indikator kemampuan komunikasi matematis dari pra-siklus ke Siklus II. Peningkatan paling dramatis terjadi pada indikator representasi grafis (dari 42,3% menjadi 83,5%) dan koneksi antar-representasi (dari 35,4% menjadi 76,4%), yang keduanya merupakan kompetensi yang secara langsung diperkuat oleh penggunaan Desmos.

Hasil Peningkatan Kemandirian Belajar

Analisis data angket kemandirian belajar menunjukkan peningkatan yang nyata dari Siklus I ke Siklus II. Pada pra-siklus, sebagian besar mahasiswa (sekitar 65%) berada pada kategori kemandirian belajar rendah hingga sedang. Mahasiswa cenderung menunggu penjelasan dosen dan tidak berinisiatif untuk mengeksplorasi konsep secara mandiri.

Setelah diperkenalkan dengan Desmos, mahasiswa mulai menunjukkan inisiatif belajar dan antusias mencoba membuat grafik fungsi yang lebih tinggi. Banyak mahasiswa yang secara mandiri membuka Desmos di luar jam kuliah untuk memeriksa jawaban mereka, memvisualisasikan soal-soal latihan, dan mengeksplorasi variasi soal. Perilaku ini mencerminkan peningkatan indikator kemandirian belajar, khususnya pada aspek memanfaatkan dan mencari sumber yang relevan dan mengevaluasi proses dan hasil belajar.

Hwang et al. (2015) juga menemukan bahwa integrasi teknologi interaktif secara efektif mendorong mahasiswa untuk mengambil peran aktif dalam mengatur strategi dan waktu belajar mereka secara mandiri.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Drijvers et al. (2016) yang menyatakan bahwa teknologi grafis interaktif secara efektif meningkatkan komunikasi matematis siswa melalui fasilitasi representasi visual. Naidoo (2020) juga melaporkan temuan serupa bahwa penggunaan teknologi dalam pembelajaran kalkulus mendorong mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan komunikasi matematis yang lebih baik melalui eksplorasi visual. Desmos berfungsi sebagai ‘jembatan kognitif’ antara pemahaman intuitif-visual dan pemahaman formal-analitik dalam konsep integral (Mayer, 2019).

Mekanisme peningkatan kemampuan komunikasi matematis melalui Desmos dapat dijelaskan melalui kerangka teori representasi multimodal. Prain dan Tytler (2022) menekankan bahwa integrasi berbagai moda representasi dalam pembelajaran sains dan matematika secara signifikan memperdalam pemahaman konseptual. Ketika mahasiswa menggunakan Desmos, mereka secara bersamaan berhadapan dengan tiga moda representasi: (1) representasi simbolis berupa ekspresi integral yang diinput ke dalam Desmos; (2) representasi grafis berupa visualisasi kurva dan daerah yang diarsir; dan (3) representasi verbal yang terjadi ketika mahasiswa mendiskusikan temuan visual mereka dengan teman atau menuliskannya dalam laporan. Interaksi antara ketiga moda representasi ini memperkuat pemahaman konseptual sekaligus meningkatkan kemampuan komunikasi matematis (Kusumah et al., 2020; Suripah & Susanti, 2022).

Peningkatan kemandirian belajar juga dapat dijelaskan melalui konsep self-efficacy dari Bandura (1997). Zakariya (2021) dalam penelitiannya terhadap mahasiswa universitas menemukan bahwa self-efficacy matematis memiliki hubungan kausal yang signifikan dengan performa belajar matematika berikutnya. Ketika mahasiswa berhasil memvisualisasikan dan memverifikasi solusi integral mereka menggunakan Desmos, mereka mengalami perasaan sukses yang memperkuat self-efficacy matematis mereka. Peningkatan self-efficacy ini selanjutnya mendorong mahasiswa untuk lebih berani mengeksplorasi soal-soal yang lebih menantang secara mandiri. Ishartono et al. (2022) menunjukkan bahwa integrasi perangkat lunak dinamis dalam pembelajaran berbasis flipped classroom secara efektif meningkatkan self-regulated learning mahasiswa, khususnya pada aspek inisiatif dan eksplorasi mandiri.

KESIMPULAN

Pertama, penggunaan Desmos Graphing Calculator secara efektif meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa pada materi integral Kalkulus II. Peningkatan paling signifikan terjadi pada indikator representasi grafis dan koneksi antar-representasi, dengan rata-rata ketuntasan meningkat dari 42,9% pada pra-siklus menjadi 81,7% pada akhir Siklus II. Kedua, Desmos terbukti mampu meningkatkan kemandirian belajar mahasiswa. Mahasiswa menunjukkan inisiatif yang lebih tinggi dalam mengeksplorasi konsep integral secara mandiri di luar jam perkuliahan, serta lebih aktif dalam mendiskusikan dan memverifikasi solusi mereka. Ketiga, prosedur penggunaan Desmos yang sistematis—meliputi visualisasi fungsi, penampilan daerah integrasi (shading), penggunaan slider untuk eksplorasi batas integrasi, dan koordinat polar untuk integral ganda—terbukti efektif sebagai scaffolding dalam pembelajaran Kalkulus II.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar dosen matematika, khususnya pada mata kuliah Kalkulus II, dapat mengintegrasikan penggunaan teknologi seperti Desmos Graphing Calculator secara lebih sistematis dalam proses pembelajaran untuk meningkatkan kualitas pemahaman konseptual dan komunikasi matematis mahasiswa. Selain itu, institusi pendidikan diharapkan dapat mendukung pemanfaatan teknologi pembelajaran dengan menyediakan fasilitas dan pelatihan yang memadai bagi dosen dan mahasiswa. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan penelitian dengan melibatkan sampel yang lebih luas, menggunakan desain eksperimen, atau mengkaji pengaruh Desmos pada topik matematika lainnya sehingga diperoleh hasil yang lebih komprehensif dan generalisasi yang lebih kuat.

REFERENSI

- Borba, M. C., Askar, P., Engelbrecht, J., Gadanidis, G., Llinares, S., & Aguilar, M. S. (2016). Blended learning, e-learning and mobile learning in mathematics education. *ZDM Mathematics Education*, 48(5), 589–610. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0798-4>
- Cahyono, A. N., & Ludwig, M. (2019). Teaching and learning mathematics around the city supported by the use of digital technology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(1), em1654. <https://doi.org/10.29333/ejmste/99093>
- Chechan, B., Ampadu, E., & Pears, A. (2023). Effect of using Desmos on high school students' understanding and learning of functions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(10), em2331. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13540>
- Drijvers, P., Tacoma, S., Besamusca, A., Doorman, M., & Boon, P. (2016). Digital resources are inviting changes in mid-adopting teachers' practices and orchestrations. *ZDM Mathematics Education*, 45(7), 987–1001.
- Engelbrecht, J., Borba, M. C., & Kaiser, G. (2023). Will we ever teach mathematics again in the way we used to before the pandemic? *ZDM Mathematics Education*, 55(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01460-5>
- Hwang, G. J., Lai, C. L., & Wang, S. Y. (2015). Seamless flipped learning: A mobile technology-enhanced flipped classroom with effective learning strategies. *Journal of Computers in Education*, 2(4), 449–473. <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0043-0>
- Ishartono, N., Nurcahyo, A., Waluyo, M., Prayitno, H. J., & Hanifah, M. (2022). Integrating GeoGebra into the flipped learning approach to improve students' self-regulated learning during the COVID-19 pandemic. *Journal on Mathematics Education*, 13(1), 69–86. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i1.pp69-86>
- Istiqomah, I., & Fajri, I. (2021). Kemampuan komunikasi matematis mahasiswa dalam pembelajaran berbasis proyek pada materi kalkulus. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 8(1), 56–68. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v8i1.35437>
- Jupri, A., Drijvers, P., & van den Heuvel-Panhuizen, M. (2015). Improving grade 7 students' achievement in initial algebra through a technology-based intervention. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 1(1), 28–58. <https://doi.org/10.1007/s40751-015-0004-2>
- Klymchuk, S., Zverkova, T., Gruenwald, N., & Sauerbier, G. (2010). University students' difficulties in solving application problems in calculus: Student perspectives. *Mathematics Education Research Journal*, 22(2), 81–91. <https://doi.org/10.1007/BF03217567>

- Kusumah, Y. S., Kustiawati, D., & Herman, T. (2020). The effect of GeoGebra in three-dimensional geometry learning on students' mathematical communication ability. *International Journal of Instruction*, 13(2), 895–908. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13260a>
- Maharani, S., Nusantara, T., As'ari, A. R., & Qohar, A. (2019). Improving mathematical communication ability through think talk write strategy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1254(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1254/1/012053>
- Mayer, R. E. (2019). Thirty years of research on online learning. *Applied Cognitive Psychology*, 33(2), 152–159. <https://doi.org/10.1002/acp.3482>
- Naidoo, J. (2020). Postgraduate student teachers' reflections on using technology as a tool when teaching calculus. *South African Journal of Education*, 40(3), 1–12. <https://doi.org/10.15700/saje.v40n3a1735>
- National Council of Teachers of Mathematics. (2014). *Principles to actions: Ensuring mathematical success for all*. NCTM.
- Pambudi, D. S. (2022). The effect of outdoor learning method on elementary students' motivation and achievement in geometry. *International Journal of Instruction*, 15(1), 747–762. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15142a>
- Polly, D., & Orrill, C. H. (2016). Designing professional development to support teachers' learning in a technology-rich environment. *Teaching and Teacher Education*, 50, 1–10.
- Prain, V., & Tytler, R. (2022). Theorising learning in science through integrating multimodal representations. *Research in Science Education*, 52(4), 1199–1212. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09960-6>
- Ratnasari, D., Tadjudin, N., Syazali, M., Mujib, M., & Andriyani, S. (2018). Project based learning (PjBL) model on the mathematical representation ability. *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 3(1), 47–53. <https://doi.org/10.24042/tadris.v3i1.2535>
- Septian, A., Darhim, & Prabawanto, S. (2020). GeoGebra in integral areas to improve mathematical representation ability. *Journal of Physics: Conference Series*, 1613(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1613/1/012035>
- Suripah, S., & Susanti, W. D. (2022). Students' mathematical communication skills through GeoGebra-based learning with an open-ended approach. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 16(1), 15–28. <https://doi.org/10.22342/jpm.16.1.14537.15-28>
- Zakariya, Y. F. (2021). Self-efficacy between previous and current mathematics performance of undergraduate students: An instrumental variable approach to exposing a causal relationship. *Frontiers in Psychology*, 11, 556607. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.556607>
- Zhang, Y., Wang, P., Jia, W., Zhang, A., & Chen, G. (2023). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: A meta-analysis of 20 years of research. *Journal of Research on Technology in Education*, 57(2), 437–458. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886>
- Zulnaidi, H., Oktavika, E., & Hidayat, R. (2020). Effect of use of GeoGebra on achievement of high school mathematics students. *Education and Information Technologies*, 25(1), 51–72. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09899-y>