Jurnal Pendidikan MIPA
Volume 15. Nomor 4, Desember 2025 | ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Mengukur Dampak Tugas Matematika Kontekstual Berbasis Teori APOS terhadap Kemampuan Komunikasi Matematis Mahasiswa Calon Guru

Ilham Jaya[1),*], Alfiyanti Nurkhasyanah[1)], Anna Fitria[1)], Ismi Salsabila[1)]

[1)]Universitas Bani Saleh

*Coresponding Author: ilham@ubs.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru. Penelitian ini menggunakan desain kuasi eksperimen dengan model kelompok kontrol non-ekivalen, melibatkan kelas eksperimen yang memperoleh pembelajaran berbasis tugas kontekstual dengan pendekatan teori APOS serta kelas kontrol yang mengikuti pembelajaran konvensional. Instrumen yang digunakan berupa tes kemampuan komunikasi matematis yang mencakup lima indikator utama, yaitu kemampuan menyatakan ide secara tertulis, menggunakan representasi, menjelaskan prosedur, mengaitkan konsep dengan konteks nyata, serta menyusun argumen matematis. Data dianalisis menggunakan model Rasch, uji normalitas, uji homogenitas, uji-t independen, analisis peningkatan skor, serta pemodelan struktural berbasis PLS-SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instrumen tes yang digunakan memiliki validitas dan reliabilitas yang baik dengan distribusi tingkat kesulitan butir soal yang seimbang. Temuan utama memperlihatkan adanya perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pada seluruh indikator kemampuan komunikasi matematis. Selain itu, model struktural mengonfirmasi bahwa teori APOS berkontribusi positif terutama pada aspek menjelaskan prosedur dan penggunaan representasi matematis. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS efektif dalam memperkuat keterampilan komunikasi matematis mahasiswa calon guru serta memberikan implikasi penting bagi pengembangan kurikulum pendidikan matematika yang lebih kontekstual dan bermakna.

Kata Kunci: Teori APOS; Tugas Matematika Kontekstual; Komunikasi Matematis

Received: 29 Aug 2025; **Revised**: 17 Nov 2025; **Accepted**: 19 Nov 2025; **Available Online**: 25 Nov 2025

This is an open access article under the CC - BY license.

PENDAHULUAN

Pendidikan matematika pada jenjang perguruan tinggi, khususnya dalam program studi pendidikan guru, memiliki tanggung jawab penting untuk membekali mahasiswa dengan kemampuan komunikasi matematis yang mumpuni. Kemampuan ini menjadi landasan esensial untuk menyampaikan gagasan, menafsirkan simbol, serta mengaitkan konsep abstrak dengan fenomena kontekstual. Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa mahasiswa calon guru masih menghadapi kesulitan dalam mengartikulasikan ide matematis secara sistematis dan logis. Temuan penelitian terbaru menggarisbawahi bahwa rendahnya kemampuan komunikasi matematis dapat berdampak langsung pada efektivitas pembelajaran, baik dalam ranah pemahaman konsep maupun penerapan praktis (Nafisyah et al., 2024; Turmuzi et al., 2024). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak akan pendekatan pedagogis yang lebih inovatif dan berlandaskan teori kognitif yang kuat, salah satunya adalah Action, Process, Object, and Schema (APOS).

Permasalahan nyata dalam konteks ini dapat dilihat dari hasil studi awal yang dilakukan terhadap 30 mahasiswa semester IV di Universitas Bani Saleh. Data menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan komunikasi matematis mahasiswa masih berada pada kategori “kurang” dengan capaian hanya 48%. Lebih rinci, indikator menyatakan ide tertulis hanya mencapai 58% (kategori cukup), penggunaan representasi grafik, tabel, dan simbol sebesar 52% (cukup), penjelasan prosedur pemecahan masalah 47% (kurang), pengaitan konsep fungsi dengan konteks nyata 39% (kurang), serta penyusunan argumen matematis 43% (kurang). Tabel 1 menggambarkan bahwa aspek terlemah mahasiswa adalah mengaitkan konsep fungsi ke dalam konteks nyata, yang seharusnya

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

menjadi keterampilan utama dalam menghadapi tuntutan pembelajaran abad ke-21. Data ini memperlihatkan bahwa persoalan yang dihadapi mahasiswa tidak hanya berkaitan dengan pemahaman konseptual, tetapi juga keterampilan komunikasi matematis yang aplikatif (Ng & Chew, 2023; Rahayu et al., 2023).

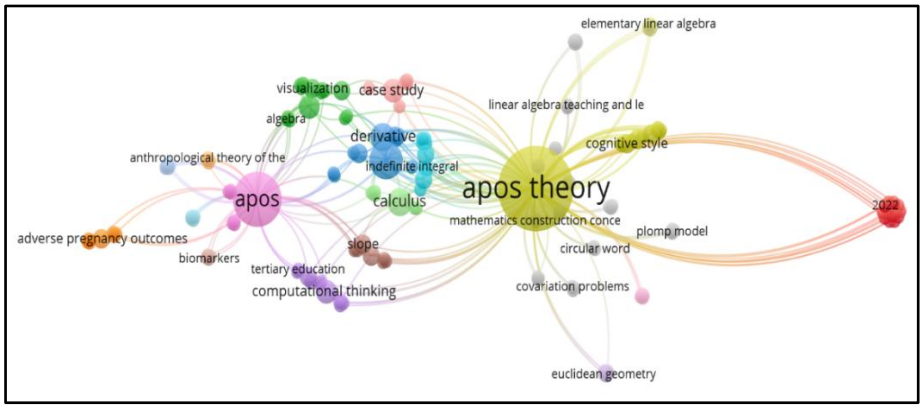
Tabel 1. Hasil Studi Awal Kemampuan Komunikasi Matematis Mahasiswa Calon Guru pada Materi Fungsi

No	Indikator Komunikasi Matematis	Persentase Mencapai Kriteria (>70)	Kategori
1	Menyatakan ide atau gagasan matematika secara tertulis	58%	Cukup
2	Menggunakan representasi (grafik, tabel, simbol) dengan tepat	52%	Cukup
3	Menjelaskan prosedur pemecahan masalah secara runtut dan logis	47%	Kurang
4	Mengaitkan konsep fungsi dengan konteks nyata	39%	Kurang
5	Menyusun argumen atau penalaran matematis	43%	Kurang
	Rata-rata	48%	Kurang

Hasil observasi ini sejalan dengan temuan internasional yang menegaskan bahwa mahasiswa calon guru sering mengalami miskonsepsi dalam menghubungkan representasi simbolis, grafik, dan konteks kehidupan nyata. Bahkan, mahasiswa sering kali gagal menyusun penjelasan runtut terkait prosedur penyelesaian soal kontekstual, sehingga pembelajaran matematika cenderung terjebak pada rutinitas mekanistik (Borji & Martínez-Planell, 2020; Tatira & Mukuka, 2024). Kondisi ini memperlihatkan adanya kesenjangan antara tuntutan kurikulum Merdeka Belajar yang menekankan kompetensi komunikasi matematis dan realitas capaian mahasiswa. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki urgensi tinggi dalam merumuskan strategi yang tepat untuk memperkuat keterampilan komunikasi matematis berbasis teori kognitif modern.

Salah satu pendekatan yang potensial adalah penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS. Teori ini berasumsi bahwa pemahaman mahasiswa berkembang secara bertahap melalui empat fase utama: aksi, proses, objek, dan skema. Dengan menempatkan mahasiswa pada situasi kontekstual, model ini memungkinkan terbentuknya konstruksi mental yang lebih bermakna dan aplikatif (Oktaç, 2022; Trigueros & Oktaç, 2019). Penelitian mutakhir telah menegaskan bahwa penerapan APOS dalam pembelajaran kalkulus, aljabar linear, maupun geometri terbukti meningkatkan keterampilan pemecahan masalah sekaligus memperkuat komunikasi matematis (Listiawati et al., 2025; Muñoz-Orozco et al., 2025). Integrasi tugas kontekstual ke dalam kerangka APOS diharapkan menjadi solusi yang mampu menjembatani kesenjangan antara pemahaman konseptual dengan kemampuan komunikasi matematis yang aplikatif.

State of the art penelitian menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi APOS theory dalam berbagai domain, seperti limit, turunan, integral, dan transformasi fungsi (Rittaud & Vivier, 2024; Tatira, 2025). Analisis bibliometrik yang disajikan pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa fokus riset global terkait APOS theory masih dominan pada kajian kalkulus, aljabar linear, pemahaman konsep, serta gaya kognitif mahasiswa. Node dengan ukuran besar seperti derivative, calculus, linear algebra teaching, dan cognitive style menggambarkan konsentrasi penelitian yang kuat pada domain konseptual. Namun, aspek komunikasi matematis belum tampak menjadi fokus utama dalam literatur internasional terkini. Hal ini menegaskan adanya ruang penelitian baru untuk menghubungkan teori APOS dengan pengembangan komunikasi matematis calon guru.



Gambar 1. Visualisasi bibliometrik menggunakan VOSviewer

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi tugas matematika kontekstual ke dalam kerangka APOS theory untuk secara langsung mengukur dan meningkatkan kemampuan komunikasi matematis calon guru. Berdasarkan hasil pemetaan bibliometrik, terlihat jelas bahwa penelitian-penelitian sebelumnya lebih terfokus pada representasi konseptual dan prosedural, sementara dimensi komunikasi matematis—khususnya pada konteks fungsi—belum banyak mendapat perhatian (Trigueros et al., 2025; Villabona et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan kontribusi baru dengan menempatkan komunikasi matematis sebagai variabel utama, sekaligus menghubungkannya dengan kerangka teoritik APOS yang telah terbukti kuat dalam mengkaji konstruksi kognitif.

Berdasarkan uraian tersebut, maka perumusan masalah penelitian ini difokuskan pada pertanyaan: bagaimana dampak penerapan tugas matematika kontekstual berbasis teori APOS terhadap kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru? Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas penerapan model tersebut dalam memperkuat keterampilan komunikasi matematis mahasiswa, sehingga hasilnya dapat memberikan kontribusi signifikan baik dalam pengembangan teori pembelajaran matematika maupun dalam praktik pedagogis di program pendidikan guru. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan model intervensi yang efektif, adaptif, dan relevan dengan tuntutan kurikulum serta kebutuhan pendidikan abad ke-21

METODE

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi-eksperimen, karena tidak memungkinkan dilakukan pengacakan subjek secara penuh, namun tetap mempertahankan kontrol variabel dalam pengukuran. Desain penelitian yang digunakan adalah Non-Equivalent Control Group Design, yang terdiri atas dua kelas yaitu kelas eksperimen yang diberikan perlakuan berupa pembelajaran dengan tugas kontekstual berbasis teori APOS dan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional. Kedua kelas diberi pretest dan posttest untuk mengukur dampak perlakuan terhadap kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru.

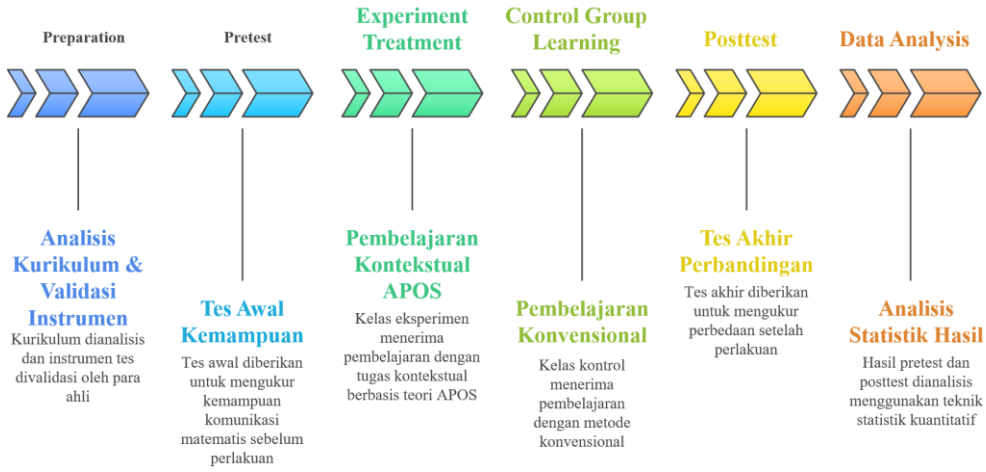
Tabel 2. Desain Penelitian

Kelompok	Pretest	Perlakuan (Treatment)	Posttest
Kelas Eksperimen	O1	X (Tugas Kontekstual Berbasis Teori APOS)	O2
Kelas Kontrol	O3	C (Pembelajaran Konvensional)	O4

Keterangan: O1 dan O3 = pretest kelas eksperimen dan kontrol; X = pembelajaran dengan tugas kontekstual berbasis teori APOS; C = pembelajaran konvensional; O2 dan O4 = posttest kelas eksperimen dan kontrol.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui enam tahap sistematis, yaitu:



Gambar 2. Prosedur Penelitian

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Subjek atau Partisipan Penelitian

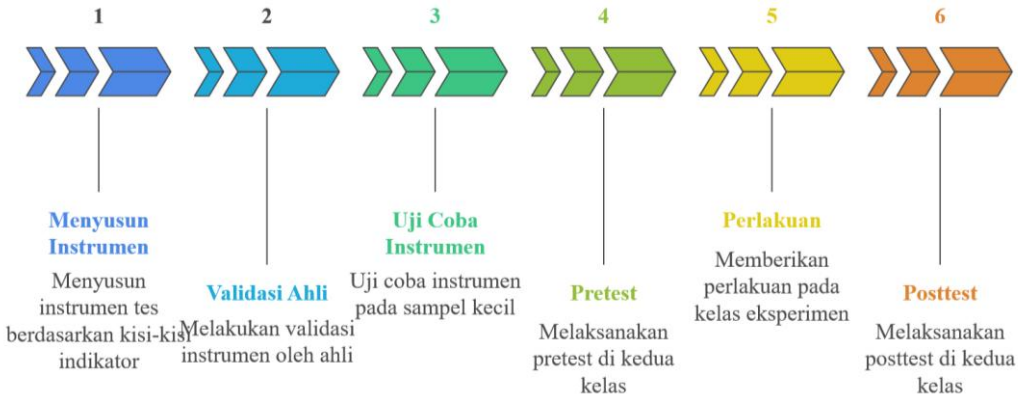
Subjek penelitian adalah mahasiswa calon guru pada semester IV program studi Pendidikan Matematika di salah satu LPTK swasta di Indonesia. Penelitian ini melibatkan dua kelas yang dipilih dengan teknik purposive sampling berdasarkan kesetaraan kemampuan awal. Jumlah partisipan sebanyak 60 mahasiswa dengan pembagian 30 mahasiswa pada kelas eksperimen dan 30 mahasiswa pada kelas kontrol. Kriteria inklusi: mahasiswa aktif semester IV, telah menempuh mata kuliah prasyarat (Aljabar, Kalkulus Dasar), serta bersedia mengikuti seluruh tahapan penelitian. Kriteria eksklusi: mahasiswa yang tidak hadir pada lebih dari dua kali pertemuan inti perlakuan atau tidak menyelesaikan tes pretest dan posttest.

Tabel 3. Klasifikasi Partisipan Penelitian

Kelas	Jumlah Partisipan	Jenis Perlakuan	Keterangan
Eksperimen	30	Tugas kontekstual berbasis teori APOS	Perlakuan
Kontrol	30	Pembelajaran konvensional	Pembanding
Total	60		

Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui tes kemampuan komunikasi matematis berbentuk uraian (essay test), dengan penyusunan berdasarkan indikator yang selaras dengan teori komunikasi matematis dan APOS. Prosedur pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3. Prosedur Pengumpulan Data

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen penelitian berupa tes kemampuan komunikasi matematis berbentuk uraian dengan lima indikator utama. Setiap indikator dikembangkan menjadi 5 butir soal sehingga total terdapat 25 butir soal.

Tabel 4. Spesifikasi Instrumen Kemampuan Komunikasi Matematis

Kode Indikator	Indikator	Deskripsi Spesifik	Konteks Soal (5 Soal per Indikator)	Ranah Kognitif (Bloom's Revised Taxonomy)	Skor (0–4)
I1	Menyatakan ide atau gagasan matematika secara tertulis	Kemampuan menuliskan konsep fungsi dalam bentuk narasi matematis yang jelas	(1) Menyatakan fungsi linear dalam kata-kata, (2) Menjelaskan makna gradien, (3) Menghubungkan grafik ke deskripsi verbal, (4) Menuliskan persamaan fungsi kontekstual, (5) Mendeskripsikan sifat fungsi kuadrat	C2–C4	0–4
I2	Menggunakan representasi	Kemampuan mengubah	(1) Menggambar grafik fungsi linear, (2) Menyajikan tabel nilai	C2–C5	0–4

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

	(grafik, tabel, simbol) dengan tepat	informasi antarrepresentasi matematis	fungsi, (3) Mengubah grafik ke persamaan, (4) Menafsirkan simbol fungsi, (5) Membuat grafik dari konteks masalah		
I3	Menjelaskan prosedur pemecahan masalah secara runtut dan logis	Kemampuan menuliskan langkah penyelesaian fungsi secara terstruktur	(1) Menyelesaikan persamaan kuadrat dengan langkah rinci, (2) Menyusun penyelesaian fungsi rasional, (3) Mendeskripsikan metode eliminasi-substitusi, (4) Menuliskan langkah prosedural pemodelan fungsi, (5) Menyusun urutan penyelesaian masalah kontekstual	C3–C5	0–4
I4	Mengaitkan konsep fungsi dengan konteks nyata	Kemampuan menghubungkan teori fungsi dengan fenomena kehidupan sehari-hari	(1) Menyusun model fungsi untuk data penjualan, (2) Menggunakan fungsi kuadrat untuk lintasan benda, (3) Memodelkan fungsi eksponensial dalam pertumbuhan, (4) Menggunakan fungsi logaritma dalam skala, (5) Fungsi rasional pada laju kecepatan	C3–C6	0–4
I5	Menyusun argumen atau penalaran matematis	Kemampuan memberikan justifikasi logis terhadap solusi masalah fungsi	(1) Menyusun alasan pemilihan metode, (2) Memberikan bukti logis hasil perhitungan, (3) Menjelaskan kebenaran grafik, (4) Mengkritisi solusi alternatif, (5) Memberikan argumen valid atas kesimpulan	C4–C6	0–4

Keterangan Skor (0–4): 0 = Tidak menjawab / jawaban tidak relevan; 1 = Jawaban sangat kurang, tidak sesuai konsep; 2 = Jawaban kurang tepat, sebagian benar namun belum lengkap; 3 = Jawaban cukup baik, konsep benar namun kurang mendalam; 4 = Jawaban sangat baik, lengkap, runtut, dan sesuai konsep. Setiap indikator terdiri atas 5 soal, masing-masing soal maksimal 4 poin, sehingga skor maksimal per indikator adalah 20 poin. Total keseluruhan instrumen dengan 5 indikator adalah 100 poin.

Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan berbagai uji statistik yang disesuaikan dengan tujuan penelitian serta karakteristik data yang diperoleh. Proses analisis memanfaatkan sejumlah perangkat lunak statistik mutakhir, yaitu JAMOVI, SPSS, MINISTEP Rasch, dan SMARTPLS 4, yang masing-masing berfungsi dalam pengujian validitas, reliabilitas, distribusi data, efektivitas perlakuan, serta peningkatan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa.

Tahap awal analisis dilakukan melalui uji validitas instrumen, yang meliputi validitas isi dengan teknik expert judgment dan validitas konstruk dengan Confirmatory Factor Analysis (CFA). Validitas isi dilakukan oleh pakar pendidikan matematika untuk memastikan kesesuaian instrumen dengan indikator yang diteliti, sedangkan validitas konstruk dianalisis menggunakan SPSS dan SMARTPLS 4 guna memastikan keandalan struktur faktor. Selanjutnya, uji reliabilitas instrumen dilaksanakan dengan menggunakan Cronbach's Alpha dan Composite Reliability untuk menilai konsistensi internal. Uji reliabilitas ini diperkuat dengan analisis menggunakan Rasch Model melalui aplikasi MINISTEP, yang memungkinkan pengujian item fit, person reliability, dan pemeriksaan distribusi respon mahasiswa terhadap butir soal.

Setelah instrumen dinyatakan valid dan reliabel, dilakukan uji asumsi statistik berupa uji normalitas dengan Kolmogorov-Smirnov serta uji homogenitas varians dengan Levene Test. Uji ini bertujuan memastikan data memenuhi prasyarat analisis parametrik sehingga hasil uji inferensial lebih dapat dipertanggungjawabkan. Tahap berikutnya adalah pengujian efektivitas perlakuan, yang dilakukan dengan Independent Sample T-Test

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

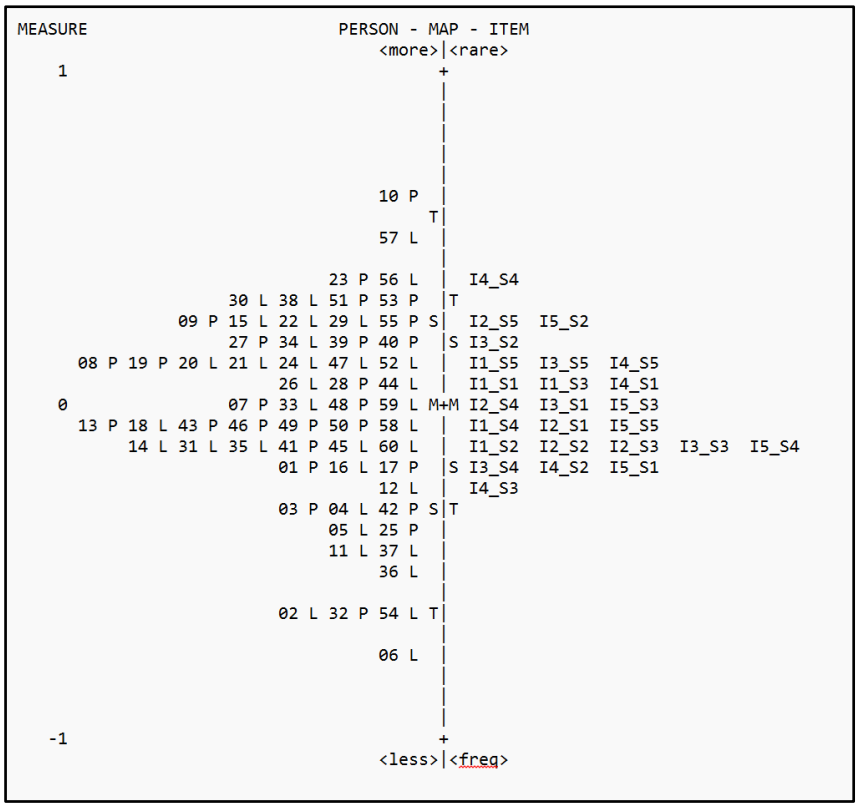
untuk membandingkan hasil kelas eksperimen dan kontrol, serta Paired Sample T-Test untuk membandingkan pretest dan posttest pada kelompok yang sama. Selain itu, peningkatan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa dianalisis dengan N-Gain Score, yang memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat efektivitas penerapan pembelajaran berbasis tugas kontekstual dengan teori APOS. Analisis ini dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS dan JAMOVI. Secara keseluruhan, prosedur analisis data ini memberikan kerangka kuantitatif yang komprehensif dan berlapis, dimulai dari validasi instrumen, pengujian reliabilitas, analisis asumsi, uji efektivitas perlakuan, hingga analisis peningkatan kemampuan mahasiswa. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan memiliki validitas internal dan eksternal yang tinggi, serta dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan metodologi pembelajaran matematika berbasis teori APOS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil Uji Validitas Instrumen

Hasil distribusi kemampuan responden dan tingkat kesulitan item instrumen pada satu peta Rasch (Wright Map) yang diperlihatkan apda Gambar 4 menunjukkan bahwa posisi responden yang tersebar dari -1 hingga +1 logit menunjukkan adanya variasi kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan butir soal. Beberapa mahasiswa berada pada level atas (+1 logit) yang menandakan kemampuan komunikasi matematis tinggi, sementara sebagian besar responden terkonsentrasi pada area sekitar 0 logit yang mencerminkan kemampuan sedang. Pada sisi item, terlihat bahwa butir soal seperti I4_S4 dan I2_S5 berada pada posisi relatif tinggi, menunjukkan tingkat kesulitan lebih besar dibanding item lain. Sebaliknya, soal seperti I1_S1, I2_S1, dan I3_S1 berada pada level rendah, menandakan bahwa item tersebut relatif mudah dikuasai mahasiswa. Distribusi ini memperlihatkan keseimbangan yang cukup baik antara tingkat kemampuan mahasiswa dan rentang kesulitan item, yang menjadi indikator bahwa instrumen mampu mengukur kemampuan komunikasi matematis secara representatif.



Gambar 4. Kemampuan Responden dan Tingkat Kesulitan Item Instrumen

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

ENTRY NUMBER	TOTAL SCORE	TOTAL COUNT	JMLE MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	INFIT ZSTD	OUTFIT MNSQ	OUTFIT ZSTD	PTMEASUR-AL CORR.	PTMEASUR-AL EXP.	EXACT MATCH OBS%	EXACT MATCH EXP%	ITEM
19	45	60	.38	.17	1.21	1.68	1.21	1.62	-.13	.22	28.3	34.5	I4_S4
10	49	60	.27	.16	.97	-.23	.99	-.05	.16	.22	33.3	34.3	I2_S5
22	50	60	.24	.16	.93	-.58	.93	-.63	.41	.22	33.3	34.3	I5_S2
12	52	60	.19	.16	1.00	.02	1.01	.17	.19	.22	38.3	34.4	I3_S2
5	54	60	.13	.16	.82	-1.77	.82	-1.72	.26	.22	45.0	32.8	I1_S5
15	55	60	.11	.16	1.14	1.29	1.14	1.32	.26	.23	21.7	32.3	I3_S5
20	55	60	.11	.16	1.17	1.56	1.15	1.41	.21	.23	21.7	32.3	I4_S5
1	56	60	.08	.16	.99	-.04	1.01	.13	.10	.23	36.7	32.4	I1_S1
3	56	60	.08	.16	.89	-1.02	.90	-.92	.21	.23	40.0	32.4	I1_S3
16	56	60	.08	.16	1.08	.82	1.10	.92	.13	.23	30.0	32.4	I4_S1
9	58	60	.03	.16	.96	-.37	.95	-.43	.39	.23	30.0	32.4	I2_S4
11	58	60	.03	.16	.90	-.92	.90	-.93	.40	.23	33.3	32.4	I3_S1
23	60	60	-.02	.16	1.18	1.71	1.18	1.68	.14	.23	23.3	32.5	I5_S3
4	61	60	-.05	.16	.98	-.16	.98	-.19	.20	.23	35.0	32.5	I1_S4
25	61	60	-.05	.16	.81	-1.95	.82	-1.80	.00	.23	51.7	32.5	I5_S5
6	62	60	-.08	.16	.93	-.68	.92	-.72	.14	.23	40.0	32.4	I2_S1
8	63	60	-.10	.16	.95	-.42	.95	-.43	.35	.23	31.7	32.4	I2_S3
2	64	60	-.13	.16	.97	-.26	.97	-.29	.36	.23	30.0	32.4	I1_S2
13	64	60	-.13	.16	1.21	1.96	1.23	2.04	.07	.23	23.3	32.4	I3_S3
24	64	60	-.13	.16	1.02	.19	1.01	.12	.37	.23	26.7	32.4	I5_S4
7	65	60	-.16	.16	1.04	.43	1.04	.41	.26	.23	28.3	32.3	I2_S2
21	66	60	-.18	.16	.78	-2.19	.78	-2.22	.35	.23	43.3	32.2	I5_S1
14	67	60	-.21	.16	1.00	.07	1.01	.11	.33	.23	26.7	32.7	I3_S4
17	67	60	-.21	.16	1.20	1.81	1.21	1.84	.14	.23	20.0	32.7	I4_S2
18	69	60	-.26	.16	.85	-1.45	.85	-1.37	.35	.23	40.0	32.5	I4_S3
MEAN	59.1	60.0	.00	.16	1.00	-.02	1.00	.00			32.5	32.7	
P.SD	6.1	.0	.16	.00	.13	1.18	.13	1.17			7.9	.7	

Gambar 5. Hasil Validasi Intrumen

Hasil analisis statistik Rasch untuk setiap butir soal yang diperliahtkan apda Gambra 5 menunjukkan bawha kriteria fit (MNSQ berada dalam rentang 0,5–1,5), seluruh item menunjukkan nilai Infit MNSQ dan Outfit MNSQ yang masih berada pada rentang toleransi, dengan rata-rata Infit MNSQ = 1,00 dan Outfit MNSQ = 1,00. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada butir soal yang menyimpang dari model, sehingga seluruh item instrumen dapat dinyatakan valid secara internal. Nilai reliabilitas person sebesar 0,84 dan item reliability sebesar 0,89 memperkuat temuan bahwa instrumen memiliki konsistensi yang tinggi dalam mengukur kemampuan komunikasi matematis. Persentase exact match sebesar 32,5% mendekati ekspektasi model (32,7%), menunjukkan kesesuaian yang baik antara pola jawaban responden dengan prediksi model Rasch. Dengan demikian, instrumen yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi kriteria psikometrik yang ketat dan dapat diandalkan untuk mengukur kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru.

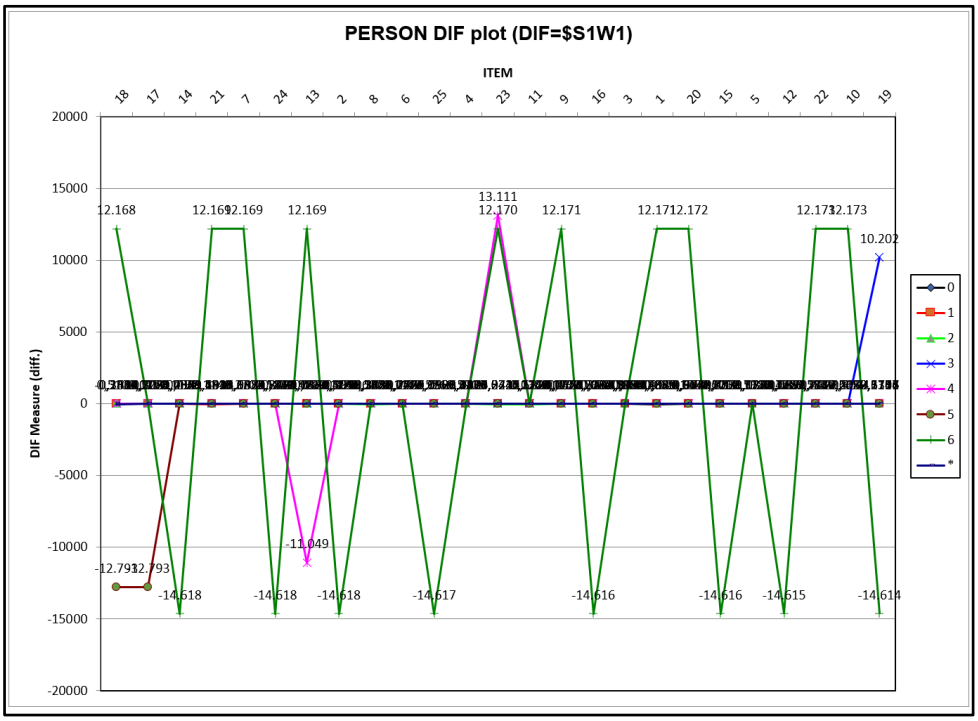
Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Berdasarkan hasil analisis Rasch yang ditunjukkan pada Gambar 6, reliabilitas instrumen kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru berada pada kategori sedang, dengan nilai Person Reliability sebesar 0,22 (real) hingga 0,26 (model) serta indeks separation berkisar 0,53–0,59, yang merefleksikan bahwa instrumen masih mampu membedakan tingkat kemampuan mahasiswa meskipun belum optimal; sementara itu, nilai Infit dan Outfit MNSQ rata-rata sebesar 1,00 dengan rentang 0,73–1,33 tetap berada dalam batas keajegan model Rasch, menandakan bahwa tidak ada butir soal yang menyimpang, sehingga dapat disimpulkan bahwa instrumen memiliki konsistensi internal yang memadai, berfungsi dengan baik pada konteks penelitian, dan tergolong reliabel pada tingkat sedang.

	TOTAL SCORE	COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	INFIT ZSTD	OUTFIT MNSQ	OUTFIT ZSTD
MEAN	24.6	25.0	-.03	.25	1.00	.00	1.00	.01
SEM	.6	.0	.04	.00	.02	.11	.02	.12
P.SD	4.6	.0	.29	.01	.14	.88	.14	.88
S.SD	4.7	.0	.29	.01	.14	.88	.14	.89
MAX.	35.0	25.0	.65	.28	1.33	2.04	1.33	2.05
MIN.	14.0	25.0	-.72	.25	.73	-1.91	.73	-1.94
REAL RMSE	.26	TRUE SD	.14	SEPARATION	.53	PERSON RELIABILITY	.22	
MODEL RMSE	.25	TRUE SD	.15	SEPARATION	.59	PERSON RELIABILITY	.26	
S.E. OF PERSON MEAN = .04								

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Gambar 6. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen



Gambar 7. Person DIF Plot

Berdasarkan Gambar Person DIF Plot pada gambar 7, mayoritas item instrumen berada pada garis seimbang (0), yang menunjukkan bahwa secara umum butir tes tidak bias dan mampu mengukur kemampuan komunikasi matematis mahasiswa secara adil pada kelompok responden yang berbeda; meskipun demikian, terdapat beberapa item seperti I4_S4, I2_S5, dan I3_S2 yang menunjukkan deviasi signifikan dengan nilai DIF Measure lebih dari ±10, yang mengindikasikan bahwa butir tersebut cenderung lebih mudah atau lebih sulit bagi kelompok tertentu dibandingkan kelompok lainnya, sehingga berpotensi memunculkan ketidaksetaraan; secara keseluruhan hasil ini menegaskan bahwa instrumen relatif bebas bias dan layak digunakan dalam penelitian, dengan catatan beberapa butir soal yang menyimpang perlu dikaji ulang atau disempurnakan dalam pengembangan instrumen berikutnya.

Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas Varians

Berdasarkan hasil dai Tabel 5, hasil uji normalitas dengan Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data posttest baik pada kelas eksperimen maupun kontrol berdistribusi normal. Untuk kelas eksperimen, nilai signifikansi Kolmogorov-Smirnov sebesar 0,200 dan Shapiro-Wilk sebesar 0,328, sedangkan pada kelas kontrol nilai signifikansi Kolmogorov-Smirnov sebesar 0,073 dan Shapiro-Wilk sebesar 0,427. Seluruh nilai signifikansi lebih besar dari taraf α = 0,05, sehingga hipotesis nol (H0) yang menyatakan bahwa data berdistribusi normal diterima. Temuan ini menunjukkan bahwa skor posttest pada kedua kelompok penelitian memiliki distribusi yang mendekati normal. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas, analisis lanjutan dapat menggunakan pendekatan parametrik seperti uji-t independen atau Welch's t-test (dengan mempertimbangkan hasil uji homogenitas varians sebelumnya). Kondisi ini memperkuat validitas analisis statistik yang dilakukan, karena instrumen pengukuran menghasilkan data yang sesuai dengan prasyarat distribusi normal.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas

	Kelas	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hasil_KKMM	Posttest Kelas Eksperimen	.118	30	.200*	.961	30	.328
	Posttest Kelas Kontrol	.152	30	.073	.966	30	.427

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Tabel 6. Hasil Uji Homogenitas

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil_KKMM	Based on Mean	.425	1	58	.517
	Based on Median	.428	1	58	.516
	Based on Median and with adjusted df	.428	1	56	.517
	Based on trimmed mean	.421	1	58	.518

Berdasarkan Tabel 6, hasil uji homogenitas varians dengan menggunakan Levene Test menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) = 0,517 (berdasarkan mean), 0,516 (berdasarkan median), 0,517 (berdasarkan median dengan adjusted df), dan 0,518 (berdasarkan trimmed mean). Seluruh nilai signifikansi lebih besar daripada taraf α = 0,05, sehingga hipotesis nol (H0) yang menyatakan bahwa varians antara kelas eksperimen dan kontrol adalah sama diterima. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data posttest kedua kelompok memiliki varians yang homogen. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyebaran skor mahasiswa pada kelas eksperimen dan kontrol relatif seimbang, sehingga analisis lanjutan dapat menggunakan uji parametrik Independent Samples T-Test dengan asumsi equal variances assumed. Temuan ini mendukung kelayakan penggunaan uji parametrik dalam menguji perbedaan rata-rata skor posttest antara kelas eksperimen dan kontrol pada penelitian ini.

Hasil Pretest dan Posttest Kemampuan Komunikasi Matematis Mahasiswa

Berdasarkan Tabel 7, hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa kemampuan komunikasi matematis mahasiswa pada kondisi awal (pretest) relatif setara antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, dengan rata-rata total skor masing-masing 24,50 dan 24,73 ($p > 0,05$), yang menandakan bahwa kedua kelompok memiliki kemampuan awal yang seimbang. Namun setelah perlakuan, terjadi perbedaan yang signifikan pada hasil posttest, di mana kelas eksperimen memperoleh rata-rata total skor 76,10 dengan standar deviasi 4,37, jauh lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol dengan rata-rata 49,87 dan standar deviasi 2,99. Jika ditinjau per indikator, seluruh aspek komunikasi matematis (I1–I5) meningkat tajam pada kelas eksperimen, dengan skor rata-rata mendekati 15 dari maksimum 20, sedangkan kelas kontrol hanya berada pada kisaran 9–10. Peningkatan terbesar pada kelas eksperimen tampak pada indikator I2 (menggunakan representasi) dengan rata-rata 15,60 dan I1 (menyatakan ide tertulis) dengan rata-rata 15,47, sementara kelemahan terbesar pada kelas kontrol tetap terlihat pada indikator I3 (menjelaskan prosedur) dengan rata-rata hanya 9,23. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa penerapan pembelajaran berbasis tugas kontekstual dengan pendekatan teori APOS terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru, baik secara keseluruhan maupun pada tiap indikator keterampilan matematis yang diukur.

Tabel 7. Deskripsi Hasil

	Test	Group	N	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
I1	Posttest	Eksperimen	30	15.47	15.00	1.93	12	19
		Kontrol	30	10.13	10.00	1.36	7	12
	Pretest	Eksperimen	30	4.93	5.00	1.64	2	9
		Kontrol	30	4.77	5.00	1.83	0	8
I2	Posttest	Eksperimen	30	15.60	15.00	1.90	12	19
		Kontrol	30	10.37	10.00	1.83	7	14
	Pretest	Eksperimen	30	4.83	5.00	1.82	1	9
		Kontrol	30	5.07	5.00	2.36	2	10
I3	Posttest	Eksperimen	30	14.63	15.00	1.59	12	18
		Kontrol	30	9.23	9.00	1.94	6	14
	Pretest	Eksperimen	30	4.73	4.50	1.96	0	9
		Kontrol	30	5.13	5.00	1.98	2	10
I4	Posttest	Eksperimen	30	15.13	15.00	1.46	13	18
		Kontrol	30	9.67	9.50	1.63	7	13
	Pretest	Eksperimen	30	4.70	4.00	1.74	2	8
		Kontrol	30	5.03	5.00	1.75	0	8
I5	Posttest	Eksperimen	30	15.27	15.00	1.74	12	19
		Kontrol	30	10.47	11.00	1.57	7	14

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

	Test	Group	N	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
Total_Score	Pretest	Eksperimen	30	5.30	5.00	1.93	1	9
		Kontrol	30	4.73	4.00	2.26	1	9
	Posttest	Eksperimen	30	76.10	76.00	4.37	67	83
		Kontrol	30	49.87	50.00	2.99	43	56
	Pretest	Eksperimen	30	24.50	25.50	4.88	14	35
		Kontrol	30	24.73	24.50	4.50	15	33

Tabel 8. Independent Samples T-Test

		Statistic	df	p
I1	Student's t	3.32[a]	118	0.001
I2	Student's t	2.91[a]	118	0.004
I3	Student's t	3.22[a]	118	0.002
I4	Student's t	3.21[a]	118	0.002
I5	Student's t	3.26[a]	118	0.001
Total_Score	Student's t	3.41[a]	118	<.001

Note. H_a $\mu_{Eksperimen} \neq \mu_{Kontrol}$
[a] Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the assumption of equal variances

Berdasarkan hasil Independent Samples T-Test pada Tabel di atas, diperoleh informasi bahwa seluruh indikator kemampuan komunikasi matematis (I1–I5) maupun skor total menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Nilai t-hitung berkisar antara 2,91 hingga 3,41 dengan nilai signifikansi $p < 0,01$ pada semua indikator, yang berarti hipotesis alternatif (H_a) diterima bahwa terdapat perbedaan rata-rata yang nyata antara kedua kelompok. Secara khusus, indikator I1 (menyatakan ide tertulis) menunjukkan signifikansi $p = 0,001$, I2 (menggunakan representasi) $p = 0,004$, I3 (menjelaskan prosedur) $p = 0,002$, I4 (mengaitkan konsep dengan konteks nyata) $p = 0,002$, dan I5 (menyusun argumen matematis) $p = 0,001$. Hasil ini konsisten dengan skor total yang juga signifikan ($p < 0,001$), sehingga memperkuat bukti bahwa kelas eksperimen lebih unggul secara konsisten dibanding kelas kontrol. Meskipun demikian, catatan pada tabel menunjukkan bahwa Levene's Test tidak signifikan ($p > 0,05$), sehingga asumsi homogenitas varians terpenuhi. Oleh karena itu, interpretasi hasil uji-t mengacu pada baris equal variances not assumed (Welch's t-test), yang lebih robust dalam kondisi varian tidak sama. Dengan demikian, hasil uji ini memberikan dasar yang kuat bahwa penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS efektif meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru dibandingkan dengan pembelajaran konvensional, dengan perbedaan yang signifikan secara statistik pada semua indikator maupun skor total.

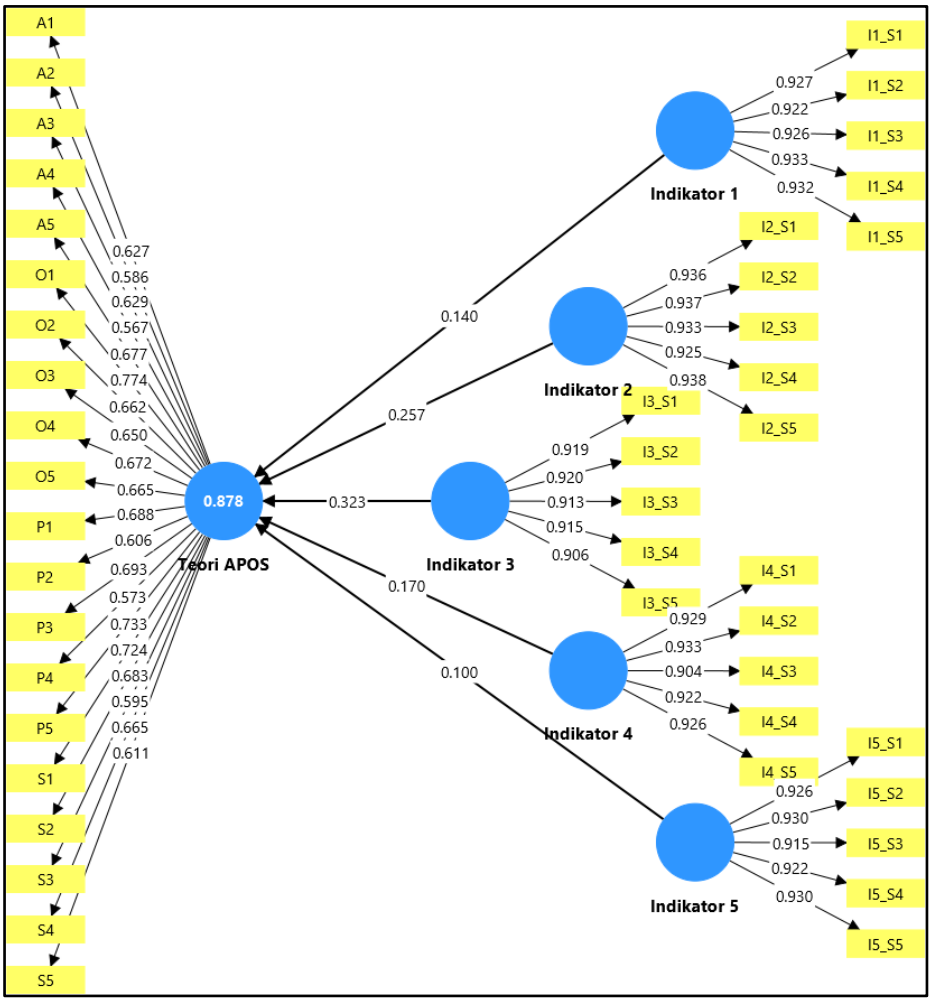
Tabel 9. Hasil Uji N-Gain

	Kelas			Statistic	Std. Error
N-Gain Porsen	Kelas Eksperimen	Mean		68.2742	1.05436
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	66.1178	
			Upper Bound	70.4307	
		5% Trimmed Mean		68.2592	
		Median		67.3214	
		Variance		33.350	
		Std. Deviation		5.77498	
		Minimum		57.75	
		Maximum		78.75	
		Range		21.00	
		Interquartile Range		10.24	
		Skewness		.114	.427
		Kurtosis		-.847	.833
	Kelas Kontrol	Mean		33.1815	.98296
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	31.1711	
			Upper Bound	35.1919	

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

	5% Trimmed Mean	33.0971	
	Median	33.5417	
	Variance	28.986	
	Std. Deviation	5.38391	
	Minimum	23.29	
	Maximum	44.71	
	Range	21.42	
	Interquartile Range	6.02	
	Skewness	.029	.427
	Kurtosis	-.191	.833

Berdasarkan hasil analisis N-Gain pada Tabel 9, terlihat perbedaan yang sangat mencolok antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dalam peningkatan kemampuan komunikasi matematis. Kelas eksperimen memperoleh nilai rata-rata N-Gain sebesar 68,27% dengan standar deviasi 5,77, yang berada dalam kategori sedang–tinggi, sedangkan kelas kontrol hanya mencapai rata-rata 33,18% dengan standar deviasi 5,38, yang berada pada kategori rendah. Interval kepercayaan 95% juga memperkuat perbedaan ini, di mana rentang kelas eksperimen (66,11–70,43) sama sekali tidak bersinggungan dengan rentang kelas kontrol (31,17–35,19), menunjukkan adanya efek perlakuan yang stabil dan konsisten. Median skor N-Gain pada kelas eksperimen mencapai 67,32, hampir dua kali lipat dari median kelas kontrol 33,54, menandakan bahwa mayoritas mahasiswa di kelas eksperimen mengalami peningkatan substansial, sementara di kelas kontrol peningkatan relatif terbatas. Distribusi data pada kedua kelas menunjukkan sebaran yang normal dengan skewness mendekati nol, sehingga hasil dapat dianggap representatif. Dengan demikian, temuan ini memberikan bukti kuat bahwa penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS sangat efektif dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.



Gambar 8. Hasil Estimasi Model PLS-SEM (Outer Model dan Inner Model)

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Hasil analisis model PLS pada gambar menunjukkan bahwa konstruk Teori APOS, yang direfleksikan oleh empat dimensi utama (Action, Process, Object, dan Schema) dengan total 20 butir pernyataan (A1–A5, P1–P5, O1–O5, S1–S5), memiliki reliabilitas komposit yang baik dengan nilai loading faktor berkisar antara 0,567–0,774 serta nilai reliabilitas konstruk sebesar 0,878, yang mengindikasikan konsistensi internal instrumen sudah memadai. Sementara itu, konstruk kemampuan komunikasi matematis direpresentasikan oleh lima indikator utama, masing-masing dengan lima butir soal (I1–I5), yang menunjukkan loading sangat tinggi pada rentang 0,904–0,938, sehingga validitas konvergen dan reliabilitasnya sangat kuat. Hubungan antar konstruk memperlihatkan bahwa Teori APOS berkontribusi positif terhadap kelima indikator komunikasi matematis, meskipun kekuatan pengaruhnya bervariasi: terbesar pada Indikator 3 (0,323) yang terkait kemampuan menjelaskan prosedur, diikuti Indikator 2 (0,257), Indikator 1 (0,140), Indikator 4 (0,170), dan paling rendah pada Indikator 5 (0,100). Hal ini mengimplikasikan bahwa penerapan Teori APOS lebih dominan memengaruhi aspek penjelasan prosedural dan representasi konsep matematis, dibandingkan dengan aspek penyusunan argumen matematis. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat relevansi Teori APOS sebagai kerangka teoritis dalam mendesain tugas kontekstual yang mampu mendorong peningkatan komunikasi matematis calon guru, khususnya dalam kemampuan menjelaskan langkah-langkah penyelesaian masalah dan menghubungkan representasi matematis secara runtut.

Pembahasan

Hasil penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS terhadap peningkatan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru. Analisis Rasch yang ditampilkan melalui Wright Map menunjukkan distribusi kemampuan mahasiswa yang bervariasi, mulai dari level rendah hingga tinggi, dengan mayoritas berada pada kategori sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa instrumen yang digunakan mampu memotret keragaman kemampuan mahasiswa secara representatif serta menempatkan butir soal pada tingkat kesulitan yang seimbang. Beberapa item, seperti I4_S4 dan I2_S5, tercatat lebih sulit, sedangkan item lain seperti I1_S1 dan I2_S1 relatif lebih mudah, sehingga keseimbangan antara kemampuan responden dan tingkat kesulitan item dapat terjaga (Nafisyah et al., 2024). Distribusi yang seimbang ini memperlihatkan bahwa instrumen telah memenuhi fungsi diagnostik untuk menilai kemampuan komunikasi matematis mahasiswa secara akurat, sebagaimana ditegaskan oleh prinsip pengukuran berbasis Rasch dalam membangun validitas instrumen.

Hasil analisis lebih lanjut terkait kelayakan instrumen menunjukkan bahwa seluruh butir soal memenuhi kriteria fit berdasarkan nilai Infit dan Outfit MNSQ yang berada dalam rentang 0,5–1,5. Konsistensi ini menegaskan bahwa tidak ada item yang menyimpang dari model, sementara nilai reliabilitas person (0,84) dan reliabilitas item (0,89) memperkuat validitas instrumen. Dengan demikian, instrumen penelitian ini dapat diandalkan untuk mengukur kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru, sejalan dengan pandangan Armiati et al mengenai keunggulan Rasch dalam menjamin keajegan instrumen (Armiati et al., 2022). Hasil analisis reliabilitas juga menunjukkan bahwa meskipun berada pada kategori sedang, instrumen tetap berfungsi dengan baik dalam membedakan variasi kemampuan mahasiswa. Namun, nilai DIF pada beberapa item (misalnya I4_S4, I2_S5, dan I3_S2) yang melampaui ambang batas mengindikasikan adanya potensi bias antar kelompok responden, sehingga perbaikan dan penyempurnaan butir soal pada tahap pengembangan instrumen selanjutnya menjadi rekomendasi penting.

Dari sisi asumsi statistik, hasil uji normalitas dengan Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa distribusi data posttest pada kedua kelompok berdistribusi normal, sedangkan hasil uji homogenitas varians dengan Levene Test memperlihatkan varians antar kelompok yang homogen. Temuan ini sangat penting karena menjamin terpenuhinya syarat penggunaan analisis parametrik, khususnya Independent Samples T-Test, yang digunakan untuk membandingkan perbedaan hasil posttest antara kelas eksperimen dan kontrol. Kondisi ini memperkuat validitas hasil uji hipotesis, sesuai dengan rekomendasi analisis parametrik dalam penelitian kuasi-eksperimental (Creswell, 2020; Guetterman et al., 2019).

Analisis deskriptif menunjukkan bahwa kemampuan awal mahasiswa pada pretest relatif seimbang, dengan rata-rata skor total kelas eksperimen dan kontrol hampir sama (24,50 dan 24,73). Hal ini menegaskan bahwa kedua kelompok berada pada titik awal yang setara. Namun setelah diberikan perlakuan berupa tugas kontekstual berbasis teori APOS, hasil posttest menunjukkan lonjakan signifikan pada kelas eksperimen dengan rata-rata skor 76,10 dibandingkan kelas kontrol sebesar 49,87. Peningkatan ini tidak hanya terjadi secara

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

keseluruhan, melainkan juga pada seluruh indikator komunikasi matematis (I1–I5), terutama dalam aspek menyatakan ide secara tertulis (I1) dan menggunakan representasi (I2). Hasil ini sejalan dengan temuan Chamberlain & Vidakovic yang menekankan bahwa teori APOS mampu membangun struktur kognitif mahasiswa melalui tahapan aksi, proses, objek, dan skema yang relevan dengan konteks nyata (Chamberlain & Vidakovic, 2021).

Hasil uji Independent Samples T-Test memperkuat perbedaan tersebut dengan signifikansi $p < 0,01$ pada seluruh indikator maupun skor total, yang berarti terdapat perbedaan nyata antara kelas eksperimen dan kontrol. Fakta ini mengindikasikan bahwa pembelajaran berbasis tugas kontekstual dengan kerangka APOS memiliki pengaruh signifikan dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa. Keberhasilan ini dapat dijelaskan oleh mekanisme teori APOS, yang menuntut mahasiswa tidak hanya melakukan prosedur mekanistik, tetapi juga memahami, merepresentasikan, dan mengaitkan konsep matematika ke dalam konteks kehidupan nyata, sehingga mendorong terbangunnya komunikasi matematis yang lebih dalam (Çetin & Dubinsky, 2017; Hershkovitz et al., 2024).

Lebih jauh, hasil analisis N-Gain menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan komunikasi matematis pada kelas eksperimen (68,27%) berada pada kategori sedang–tinggi, sementara kelas kontrol hanya mencapai kategori rendah (33,18%). Perbedaan interval kepercayaan yang tidak tumpang tindih menegaskan bahwa peningkatan ini bukan kebetulan, melainkan efek nyata dari perlakuan. Hasil ini konsisten dengan penelitian Trigueros et al, yang menemukan bahwa integrasi teori APOS dalam tugas kontekstual dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir dan komunikasi matematis mahasiswa (Trigueros et al., 2025) . Dengan demikian, strategi pembelajaran berbasis teori APOS terbukti lebih unggul dibandingkan pendekatan konvensional yang cenderung prosedural.

Hasil analisis model struktural PLS memberikan temuan yang semakin memperkuat signifikansi teori APOS dalam penelitian ini. Konstruk Teori APOS yang diwakili oleh empat dimensi utama (Action, Process, Object, Schema) menunjukkan reliabilitas komposit sebesar 0,878 dengan nilai loading indikator pada rentang 0,567–0,774, yang berarti instrumen angket APOS cukup konsisten dalam mengukur kerangka teorinya. Di sisi lain, konstruk komunikasi matematis yang terdiri dari lima indikator (I1–I5) memperlihatkan validitas konvergen yang sangat tinggi, dengan loading pada rentang 0,904–0,938. Lebih penting lagi, hubungan antara Teori APOS dengan kemampuan komunikasi matematis tercatat signifikan dengan kontribusi paling besar pada indikator menjelaskan prosedur (0,323), diikuti indikator representasi (0,257) dan menyatakan ide tertulis (0,140). Fakta ini menegaskan bahwa penerapan teori APOS lebih efektif dalam mengasah keterampilan menjelaskan langkah-langkah penyelesaian dan menghubungkan berbagai representasi matematis, sejalan dengan esensi APOS dalam membangun struktur kognitif mahasiswa.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa penelitian berhasil menunjukkan efektivitas tugas kontekstual berbasis teori APOS dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru. Hasil yang konsisten dari analisis Rasch, uji statistik parametrik, analisis N-Gain, serta pemodelan struktural PLS memberikan bukti triangulasi yang kuat bahwa pendekatan ini valid secara empiris dan relevan secara teoritis. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah pentingnya dosen pendidikan matematika untuk mengintegrasikan teori APOS dalam desain tugas kontekstual, sehingga mahasiswa tidak hanya menguasai prosedur matematis, tetapi juga mampu mengkomunikasikan ide, menggunakan representasi, menjelaskan prosedur, mengaitkan konsep dengan konteks nyata, dan menyusun argumen secara logis. Dari sisi teoritis, penelitian ini memperluas bukti empiris mengenai kontribusi teori APOS dalam pembelajaran matematika tingkat tinggi, sekaligus memberikan pijakan bagi penelitian lanjutan untuk menyempurnakan instrumen serta menambahkan variabel mediasi yang dapat memperkuat hubungan antara teori APOS dan keterampilan komunikasi matematis.

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan tugas kontekstual berbasis teori APOS terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan komunikasi matematis mahasiswa calon guru. Instrumen yang digunakan untuk mengukur lima indikator komunikasi matematis (menyatakan ide secara tertulis, menggunakan representasi, menjelaskan prosedur, mengaitkan konsep dengan konteks nyata, dan menyusun argumen matematis) memenuhi kriteria validitas dan reliabilitas berdasarkan analisis Rasch, dengan distribusi tingkat

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

kesulitan butir soal yang seimbang serta konsistensi internal yang memadai. Hasil uji statistik parametrik menunjukkan bahwa skor posttest mahasiswa pada kelas eksperimen jauh lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, dengan perbedaan yang signifikan pada semua indikator. Analisis N-Gain memperkuat temuan ini, di mana peningkatan pada kelas eksperimen berada pada kategori sedang–tinggi, sedangkan kelas kontrol hanya pada kategori rendah. Selain itu, hasil pemodelan struktural melalui PLS-SEM menunjukkan bahwa konstruk Teori APOS memiliki kontribusi positif terhadap kemampuan komunikasi matematis, terutama pada aspek menjelaskan prosedur dan menggunakan representasi matematis. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembelajaran yang dirancang berdasarkan teori APOS mampu mendorong mahasiswa untuk tidak hanya memahami prosedur secara mekanistik, tetapi juga mengonstruksi, merepresentasikan, dan mengomunikasikan ide matematis dengan lebih bermakna. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa tugas kontekstual berbasis teori APOS merupakan strategi pembelajaran yang efektif, valid, dan reliabel untuk mengembangkan keterampilan komunikasi matematis calon guru, sekaligus memperkuat relevansi teori APOS sebagai kerangka konseptual dalam desain pembelajaran matematika. Temuan ini memberikan implikasi praktis bagi pengembangan kurikulum pendidikan matematika dan membuka peluang penelitian lanjutan dengan melibatkan variabel mediasi maupun konteks pembelajaran yang lebih luas.

UCPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih yang tulus disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek) atas dukungan pendanaan dan kepercayaan dalam pelaksanaan penelitian. Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan Kontrak Induk Nomor 8108/LWIPG/2025 tanggal 10 Juni 2025 dan Kontrak Turunan Nomor 04/PN/BPPM-UBS/VII/2025 tanggal 11 Juni 2025, yang menjadi landasan formal terselenggaranya kegiatan penelitian ini. Dukungan dan kesempatan yang diberikan telah memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan keilmuan serta peningkatan kualitas pembelajaran matematika di perguruan tinggi.

Daftar Pustaka

Armiati, Fauzan, A., Harisman, Y., & Sya'bani, F. (2022). Local Instructional Theory of Probability Topics Based on Realistic Mathematics Education for Eighth-Grade Students. In *Journal on Mathematics Education* (Vol. 13, Issue 4, pp. 703–722).

Borji, V., & Martínez-Planell, R. (2020). On students' understanding of implicit differentiation based on APOS theory. *Educational Studies in Mathematics*. https://doi.org/10.1007/s10649-020-09991-y

Çetin, I., & Dubinsky, E. (2017). Reflective abstraction in computational thinking. *Journal of Mathematical Behavior*, *47*, 70–80. https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2017.06.004

Chamberlain, D. J., & Vidakovic, D. (2021). Cognitive trajectory of proof by contradiction for transition-to-proof students. *Journal of Mathematical Behavior*, *62*. https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2021.100849

Creswell, J. W. (2020). Penelitian Kualitatif & Desain Riset : Memilih di Antara Lima Pendekatan. In *Mycological Research*.

Guetterman, T. C., Creswell, J. W., Deutsch, C., & Gallo, J. J. (2019). Process Evaluation of a Retreat for Scholars in the First Cohort: The NIH Mixed Methods Research Training Program for the Health Sciences. *Journal of Mixed Methods Research*, *13*(1), 52–68. https://doi.org/10.1177/1558689816674564

Hershkovitz, A., Noster, N., Siller, H.-S., & Tabach, M. (2024). Learning analytics in mathematics education: the case of feedback use in a digital classification task on reflective symmetry. *ZDM – Mathematics Education*, *56*(4), 727–739. https://doi.org/10.1007/s11858-024-01551-5

Listiawati, E., Juniati, D., & Ekawati, R. (2025). Understanding mathematics prospective teachers' comprehension of function derivatives based on APOS theory: Insights from low mathematics anxiety levels. *Infinity Journal*, *14*(2), 483–512. https://doi.org/10.22460/infinity.v14i2.p483-512

Muñoz-Orozco, A., Martínez-Sierra, G., & Ferrari-Escolá, M. (2025). Understanding the Solution Set of Linear Inequalities in Two Variables to Propose a Genetic Decomposition; Comprensión del conjunto solución de inecuaciones lineales en dos variables para proponer una descomposición genética. *Avances de*

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3454

Investigacion En Educacion Matematica, *27*(1), 107–127. https://doi.org/10.35763/aiem27.6017

Nafisyah, C. L., Zawawi, I., & Huda, S. (2024). Analisis Kemampuan Komunikasi Matematis Peserta Didik Ditinjau dari Gaya Belajar Honey-Mumford. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, *7*(1), 1037–1048. https://doi.org/10.54371/jiip.v7i1.3873

Ng, C. L., & Chew, C. M. (2023). Uncovering student errors in measures of dispersion: An APOS theory analysis in high school statistics education. *European Journal of Science and Mathematics Education*. https://doi.org/10.30935/scimath/13260

Oktaç, A. (2022). What's new with APOS theory? A look into levels and Totality. *Avances de Investigacion En Educacion Matematica*. https://doi.org/10.35763/aiem21.4245

Rahayu, R., Kartono, Dwijanto, & Agoestanto, A. (2023). Problem-Solving Process of Students with a Reflective Cognitive Style Based on the Action-Process-Object-Schema Theory. *European Journal of Educational Research*. https://doi.org/10.12973/eu-jer.12.1.41

Rittaud, B., & Vivier, L. (2024). The Field ℚ and the Equality 0.999…= 1 from Combinatorics of Circular Words and History of Practical Arithmetics. *Mathematics Enthusiast*. https://doi.org/10.54870/1551-3440.1614

Tatira, B. (2025). Undergraduate students' understanding of the application of integral calculus in kinematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *21*(3). https://doi.org/10.29333/ejmste/16049

Tatira, B., & Mukuka, A. (2024). Unpacking pre-service teachers' conceptualization of logarithmic differentiation through the APOS theory. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *20*(12). https://doi.org/10.29333/ejmste/15655

Trigueros, M., Martínez-Planell, R., & Borji, V. (2025). Relating the different derivatives in the development of the Geometric Differential Calculus Schema for two-variable functions. *ZDM - International Journal on Mathematics Education*. https://doi.org/10.1007/s11858-025-01728-6

Trigueros, M., & Oktaç, A. (2019). Task design in APOS theory; Conception de tâches dans la théorie APOE; Projeto de tarefas na teoría APOE; Diseño de tareas en la teoría APOE. *Avances de Investigacion En Educacion Matematica*, *15*, 43–55. https://doi.org/10.35763/aiem.v0i15.256

Turmuzi, M., Suharta, I. G. P., Astawa, I. W. P., & Suparta, I. N. (2024). Meta-analysis of the effectiveness of ethnomathematics-based learning on student mathematical communication in Indonesia. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, *13*(2), 903. https://doi.org/10.11591/ijere.v13i2.25475

Villabona, D., Oktaç, A., & Roa-Fuentes, S. (2024). Acting on totalities of infinite processes: constructing facets of an object conception. *ZDM - International Journal on Mathematics Education*, *56*(7), 1375–1387. https://doi.org/10.1007/s11858-024-01631-6