JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693

PENERAPAN STRATEGI *CYBERPEDAGOGY* DALAM MODEL *TEAM BASED PROJECT* PADA PROYEK KOLABORASI *COMPUTER AIDED MANUFACTURING*: STUDI KOMPARASI ASPEK *CRITICAL THINKING* DAN KREATIVITAS

Danang Yugo Pratomo*[1)], Imam Muhtarom[2)], Saifuddin Karim[3)], Dian Julianto Wahyudi[4)], Mahfudi Sahly Subandi[5)]

1. Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia
2. Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia
3. Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia
4. Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia
5. Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Article Info
Kata Kunci: *Computer aided manufacturing; critical thinking; cyberpedagogy*; kreativitas; *team-based project.*

Keywords: Computer aided manufacturing; critical thinking; cyberpedagogy; creativity; team-based project.

Article history:
Received 10 November 2025
Revised 12 February 2026
Accepted 16 March 2026
Available online 17 March 2026

DOI :
https://doi.org/10.29100/jipi.v11i1.9435

* Corresponding author.
Corresponding Author
E-mail address:
danang.pratomo.ft@um.ac.id

ABSTRAK
Penelitian ini bertujuan membandingkan efektivitas model *Team-Based Project* (TBP) *Cyberpedagogy* dan TBP Konvensional dalam mengembangkan *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa pada pembelajaran di Pendidikan Teknik Mesin. Desain penelitian ini menggunakan kuasi eksperimen dengan dua kelompok: kelas eksperimen yang menerapkan TBP berbasis teknologi digital *(cyberpedagogy)*, dan kelas kontrol yang menggunakan TBP konvensional. Data dikumpulkan melalui instrumen skala *Likert* yang telah divalidasi. Uji normalitas *(Kolmogorov–Smirnov)* dan homogenitas variansi *(Levene's test)* menunjukkan data berdistribusi normal dan homogen. Hasil uji *independent samples t-test* menunjukkan nilai rata-rata *critical thinking* pada kelompok eksperimen sebesar 44,88 dan kontrol 43,60 ($p = 0,646$), sedangkan kreativitas eksperimen 42,29 dan kontrol 41,12 ($p = 0,673$). Seluruh nilai signifikansi > 0,05, sehingga hipotesis nol diterima—tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua model pembelajaran terhadap *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa. Temuan ini mendukung teori *"using knowledge"* dalam model Dimensi Belajar Marzano, bahwa penerapan TBP *cyberpedagogy* maupun konvensional sama-sama mampu mengaktifkan *habits of mind* di lingkungan belajar kolaboratif, selama desain proyek dan aktivitas pemecahan masalah terkelola dengan baik.

ABSTRACT
This study aims to compare the effectiveness of Team-Based Project (TBP) Cyberpedagogy and Conventional TBP models in developing students' critical thinking and creativity in Mechanical Engineering Education. The research employed a quasi-experimental design with two groups: the experimental class utilized technology-integrated TBP (cyberpedagogy), while the control class followed conventional TBP. Data was collected using a validated Likert scale instrument. The Kolmogorov–Smirnov normality test and Levene's test for homogeneity indicated that the data were normally distributed and homogeneous. The independent samples t-test revealed mean critical thinking scores of 44.88 (experimental) and 43.60 (control) ($p = 0.646$), and mean creativity scores of 42.29 (experimental) and 41.12 (control) ($p = 0.673$). All significance values were greater than 0.05, leading to the acceptance of the null hypothesis—there was no significant difference between the two instructional models regarding students' critical thinking and creativity. These findings support the "using knowledge" theory within Marzano's Dimensions of Learning, indicating that both digital and conventional TBP can foster habits of mind in a collaborative setting, provided project design and problem-solving activities are well managed.

.

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi digital yang masif di era Revolusi Industri 4.0 dan masyarakat 5.0 telah mendorong paradigma baru dalam dunia pendidikan, khususnya pendidikan teknik dan vokasional. Dunia kerja modern tidak lagi hanya menuntut lulusan yang unggul secara teknis, tetapi juga adaptif, kolaboratif, kreatif, berpikir kritis, dan cakap memanfaatkan serta berinovasi dengan teknologi berbasis digital. Hal ini tercermin dalam tuntutan kompetensi abad 21 yang menempatkan *critical thinking*, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, dan literasi digital sebagai kebutuhan utama bagi mahasiswa dan lulusan pendidikan tinggi, termasuk pada bidang teknik mesin. *World Economic Forum* juga menempatkan *skill* kritis kreatif, *complex problem solving*, dan ICT *literacy* sebagai fondasi lulusan yang relevan dengan kebutuhan tenaga kerja profesional [1], [2].

Dalam kerangka tersebut, pendekatan inovatif seperti *Team Based Project* (TBP) menjadi strategis. TBP menekankan komitmen kolaborasi, tanggung jawab kolektif, dan proses penyelesaian tugas proyek nyata yang kompleks. Teori Marzano tentang model belajar dan *experiential learning* semakin menegaskan pentingnya keberlangsungan proses refleksi, diskusi, dan pengambilan keputusan bersama dalam konteks pembelajaran teknik [3]. Namun, beberapa riset menemukan bahwa implementasi TBP konvensional belum sepenuhnya mengakomodasi optimalisasi interaksi digital, pendokumentasian proses, serta diversifikasi sumber pengetahuan. Mahasiswa cenderung hanya berkolaborasi secara luring dan memanfaatkan sumber belajar terbatas, sehingga inovasi dan *critical thinking* belum berkembang maksimal [4].

Sejalan dengan perkembangan teori konstruktivisme dan konektivisme, *cyberpedagogy* hadir sebagai jawaban atas problem keterbatasan model pembelajaran konvensional. *Cyberpedagogy* adalah paradigma pedagogis yang mendayagunakan lingkungan digital, ekosistem *cloud*, dan *platform* virtual sebagai ruang interaksi, refleksi, evaluasi, serta produksi artefak digital secara kolaboratif [5], [6]. Studi literatur menunjukkan bahwa integrasi media digital dalam pembelajaran proyek dan teknik sangat mendorong inovasi dan kreativitas mahasiswa [7], [8].

Penelitian yang menguji implementasi *cyberpedagogy* dalam TBP pada konteks *Computer Aided Manufacturing* (CAM) di pendidikan teknik mesin masih sangat terbatas. Padahal, integrasi CAM dalam ekosistem digital memberi peluang besar untuk membangun *collaborative artifacts, peer review*, serta portofolio digital berkualitas yang relevan dengan kebutuhan industri *modern* [9]. Studi Almulla, menunjukkan bahwa pembelajaran proyek berbasis digital memperkuat kemampuan *problem solving* dan kreativitas pada disiplin STEM [10].

Meskipun demikian, studi-studi terdahulu mengenai *cyberpedagogy* di ranah STEM umumnya berfokus pada literasi digital, motivasi belajar, atau kinerja akademik secara umum, dan belum secara spesifik mengelaborasi dinamika kolaborasi virtual dalam proyek CAM yang menuntut integrasi desain dan proses manufaktur berbantuan komputer. Penelitian tentang TBP di pendidikan teknik juga cenderung menyoroti efektivitas kerja tim dan pencapaian kognitif, tetapi belum mengkaji bagaimana pemanfaatan ekosistem siber—seperti *cloud platform*, akses jarak jauh, dan repositori artefak digital—mengubah pola berpikir kritis dan kreativitas tim dalam konteks proyek autentik. Selain itu, tugas proyek yang digunakan pada studi sebelumnya bersifat generik dan belum merepresentasikan kompleksitas proyek CAM yang menyerupai praktik industri. Oleh karena itu, terdapat celah empiris berupa ketiadaan studi komparatif yang secara langsung mengukur perbedaan capaian *critical thinking* dan kreativitas antara TBP yang diintegrasikan dengan strategi *cyberpedagogy* dan TBP konvensional dalam proyek kolaborasi CAM.[11], [12].

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah belum diketahui secara pasti apakah penerapan strategi *cyberpedagogy* dalam model *Team Based Project* melalui proyek kolaboratif CAM benar-benar memberikan penguatan yang signifikan pada capaian *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa pendidikan teknik mesin, relatif terhadap model TBP konvensional. Aspek ini penting untuk diverifikasi karena capaian *critical thinking* dan kreativitas merupakan indikator utama keberhasilan pendidikan teknik di era digital [13], [14].

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan strategis untuk memperkuat *learning outcomes* pendidikan teknik-kejuruan nasional. Dengan mengintegrasikan strategi *cyberpedagogy*, mahasiswa didorong untuk aktif menggali, mendokumentasi, dan mendiskusikan proses serta hasil belajar secara digital. Hal ini diyakini mampu menciptakan ekosistem pembelajaran yang kolaboratif, transparan, dan berkelanjutan, didukung oleh *platform cloud* seperti *Google Meet, Drive, TeamViewer, MasterCAM*, dan *Autodesk Inventor* [15]. Penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi pada praktik baik pembelajaran dan pendidikan teknik mesin melalui pembuktian empiris efektivitas TBP-*cyberpedagogy* untuk penguatan *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa pada proyek kolaborasi CAM.

Secara konseptual, penelitian ini memperkaya model TBP dengan mengintegrasikan prinsip *cyberpedagogy* sehingga kolaborasi tim tidak hanya berlangsung secara luring, melainkan juga dimediasi oleh ekosistem siber yang memungkinkan dokumentasi proses, *co-creation* artefak CAM, dan *peer review* digital secara berkelanjutan. Integrasi ini sekaligus memperluas penerapan kerangka Marzano, khususnya dimensi *using knowledge*

meaningfully dan productive habits of mind, ke dalam konteks proyek CAM kolaboratif yang mensyaratkan pengambilan keputusan, pemecahan masalah, dan invensi berbasis situasi industri. Dari sisi implikasi kebijakan dan desain pembelajaran, temuan komparatif penelitian ini dapat menjadi dasar bagi program studi pendidikan teknik mesin untuk: (1) merancang kurikulum CAM yang mensyaratkan penggunaan platform digital kolaboratif dan portofolio proyek berbasis *cloud*; (2) menyusun rubrik penilaian proyek yang secara eksplisit memuat indikator berpikir tingkat tinggi berdasarkan dimensi Marzano; serta (3) mengembangkan kebijakan penyediaan infrastruktur siber sebagai standar minimal pembelajaran praktik di era Revolusi Industri 4.0.

Dengan demikian, tujuan utama penelitian adalah mendeskripsikan dan membandingkan capaian *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa pendidikan teknik mesin antara kelas TBP-*cyberpedagogy* dan kelas TBP standar, serta melihat tren capaian berdasarkan analisis statistik.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan desain kuasi eksperimen yang merupakan salah satu pendekatan eksperimental dalam pendidikan teknik yang sangat relevan saat intervensi dan pemilihan subjek tidak memungkinkan dilakukan secara acak (random). Model *nonequivalent control group*, dengan metode *post-test only*, diterapkan untuk membandingkan pengaruh dua perlakuan terhadap kemampuan *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa—dimana desain ini telah banyak digunakan pada penelitian pendidikan berbasis teknologi digital dan inovasi pembelajaran [16].

Subjek dalam penelitian ini adalah mahasiswa S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang yang mengikuti mata kuliah *Computer Aided Manufacturing* (CAM). Peneliti membagi subjek menjadi dua kelas setara: Kelas A3 sebagai kelompok kontrol sebanyak 23 mahasiswa dan Kelas A4 sebagai kelompok eksperimen yang juga terdiri dari 23 mahasiswa. Penetapan kelas ini didasarkan pada pertimbangan homogenitas karakteristik (angkatan, kemampuan awal, distribusi gender & asal sekolah) serta sistem pembelajaran yang telah digunakan di program studi. Tabel I memberikan informasi desain kuasi eksperimen *nonequivalent control group* pada penelitian ini.

TABEL I
NONEQUIVALENT CONTROL GROUP

Kelas	Perlakuan	*Pre-test*	*Post-test*	
Eksperimen	X1	-	Y1-1	Y1-2
Kontrol	X2	-	Y2-1	Y2-2

Keterangan:
1. X1: *Team Based Project* (TBP) dengan strategi *cyberpedagogy* (ekosistem digital: *Google Meet, Drive, TeamViewer, MasterCAM, Inventor,* kolaborasi digital) – sebagai kelas eksperimen.
2. X2: *Team Based Project* (TBP) standar – sebagai kelas kontrol.
3. Y1-1: Post-test dilakukan pada kelas eksperimen menggunakan instrumen *critical thinking* yang sama
4. Y1-2: Post-test dilakukan pada kelas eksperimen menggunakan instrumen kreativitas yang sama
5. Y2-1: Post-test dilakukan pada kelas kontrol menggunakan instrumen *critical thinking* yang sama
6. Y2-2: Post-test dilakukan pada kelas kontrol menggunakan instrumen kreativitas yang sama

Perlakuan pada kelas eksperimen menerapkan pembelajaran inovatif dengan integrasi *cyberpedagogy*, yaitu pembelajaran berbasis ekosistem digital, pemberdayaan kerja tim dalam *virtual workspace*, serta pemanfaatan *cloud storage* untuk dokumentasi proses dan hasil belajar. Sedangkan pada kelas kontrol menerapkan TBP standar, dimana pembelajaran berlangsung secara konvensional, interaksi tim didominasi oleh pertemuan luring, dan artefak proyek didokumentasikan secara manual atau terbatas pada lingkungan digital.

Dalam kerangka penelitian eksperimen pendidikan, terdapat tiga variabel utama yang digunakan, yaitu variabel independen (*cyberpedagogy* dalam TBP), variabel dependen (*critical thinking* dan kreativitas mahasiswa), serta variabel kontrol (misal: usia, gender, asal sekolah, tingkat kemampuan awal) yang dijaga agar tidak mempengaruhi hasil perlakuan [17]. Variabel independen merupakan stimulus pembelajaran yang diyakini memberikan penguatan, sedangkan variabel dependen adalah hasil capaian yang akan diukur melalui instrumen yang valid dan reliabel. Pengendalian variabel kontrol dalam penelitian ini dilakukan melalui dua mekanisme utama. Pertama, pengendalian melalui desain, yakni dengan menempatkan dua kelas yang berasal dari angkatan dan program studi yang sama, sehingga sebaran usia, gender, dan asal sekolah relatif setara secara alamiah. Kesetaraan ini diverifikasi secara statistik menggunakan uji Levene, mengonfirmasi homogenitas varian kedua kelompok pada kemampuan

awal. Kedua, pengendalian melalui prosedur, yakni dengan memastikan bahwa kedua kelas memperoleh materi CAM, dosen pengampu, jumlah pertemuan, dan alokasi waktu pembelajaran yang sama; perbedaan hanya terletak pada variabel independen, yaitu penerapan strategi *cyberpedagogy* pada kelas eksperimen. Mekanisme pengendalian desain dan procedural ini bertujuan meminimalkan ancaman validitas internal berupa *selection bias* yang berpotensi muncul pada desain kuasi eksperimen *nonequivalent control group.*

Pengukuran kemampuan dan kreativitas mahasiswa dalam penelitian ini dilakukan menggunakan instrumen yang dikembangkan berdasarkan kisi-kisi teori Facione (1990) untuk berpikir kritis serta teori Torrance untuk kreativitas [18], [19], [20], [21]. Uji validitas dilakukan melalui korelasi item dengan skor total menggunakan metode Pearson, di mana sebuah butir instrumen dinyatakan sangat valid apabila nilai korelasi (r) lebih besar dari 0,70. Standar ini sejalan dengan pandangan Sugiyono yang menyebutkan bahwa nilai korelasi di atas 0,70 menandakan tingkat validitas yang tinggi dan layak digunakan untuk penelitian pendidikan maupun psikoedukasi. Dalam penelitian ini, seluruh item instrumen mendapatkan nilai korelasi di atas 0,70, yang berarti instrumen terbukti sangat valid [22].

Untuk menguji reliabilitas alat ukur, digunakan perhitungan *Cronbach Alpha*. Nilai *Cronbach Alpha* sebesar 0,98 yang diperoleh pada instrumen menandakan reliabilitas yang sangat tinggi, bahkan jauh di atas standar minimal yang direkomendasikan oleh Arikunto, yang menyebutkan nilai alpha ≥ 0,70 sudah memenuhi kategori reliabel dan nilai di atas 0,90 sudah sangat memadai untuk penelitian eksperimental [23]. Nilai reliabilitas tersebut mengindikasikan konsistensi internal antar butir instrumen yang sangat kuat, sehingga hasil pengukuran dapat dipercaya dan dapat direplikasi pada kelompok lain.

Homogenitas varian antar kelas diuji dengan Levene test dengan hasil p-value sebesar 0,898 yang jauh di atas ambang batas signifikansi 0,05. Berdasarkan prinsip uji homogenitas variansi, data kedua kelas dapat dinyatakan homogen atau setara apabila p-value Levene test melebihi 0,05. Dengan demikian, hasil pengukuran dan perbandingan skor antara kelas kontrol dan eksperimen dapat diterima secara ilmiah, karena sudah memenuhi prinsip-prinsip dasar pengujian komparatif dalam penelitian pendidikan teknik berbasis eksperimen [24].

Prosedur pengambilan data dilakukan sebagai berikut: Mahasiswa pada kedua kelompok melaksanakan proyek kolaborasi CAM selama satu semester, kemudian pada akhir pembelajaran dilakukan post-test dengan instrumen *critical thinking* dan kreativitas. Secara kuantitatif, intervensi dilaksanakan selama satu semester penuh yang terdiri dari 16 pertemuan dengan durasi masing-masing 3 × 50 menit (setara 150 menit per pertemuan), sehingga total waktu pembelajaran mencapai kurang lebih 40 jam. Proyek kolaborasi CAM yang dikerjakan mahasiswa meliputi tahapan perencanaan proses *(process planning),* pemodelan 3D menggunakan Autodesk Inventor, penyusunan toolpath dan simulasi pemesinan pada MasterCAM, hingga evaluasi hasil akhir produk, yang merepresentasikan kompleksitas proyek setara dengan kebutuhan industri manufaktur. Dengan paparan *(exposure)* selama satu semester penuh pada proyek yang bersifat autentik dan bertahap, mahasiswa memperoleh waktu yang memadai untuk menginternalisasi strategi *cyberpedagogy* dan mengembangkan kebiasaan berpikir kritis serta kreatif secara berkelanjutan.

Penelitian ini tidak menggunakan pre-test, dengan alasan kedua kelas telah diverifikasi homogenitasnya melalui uji variansi dan pemeriksaan karakteristik demografi subjek. Data hasil *post-test* dianalisis statistik untuk mengetahui perbedaan capaian antara dua kelompok. Uji normalitas dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov (KS), dan uji homogenitas variansi menggunakan *Levene's Test.* Untuk menguji hipotesis perbedaan hasil, digunakan metode uji-t jika data normal dan Mann-Whitney jika data tidak memenuhi syarat normalitas.

Berikutnya, data yang telah diolah akan dikaitkan dengan hipotesis yang telah ditetapkan sebelumnya. Hipotesis akan memperjelas ekspektasi arah penelitian dan dugaan sementara hasil penelitian akan diintepretasikan. Selanjutnya, kesimpulan hipotesis akan dikaitkan dengan teori-teori yang relevan untuk mendukung temuan penelitian ini. Berikut adalah hipotesis dalam penelitian ini:

Hipotesis 1 *(Critical Thinking):*

H_0: Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam capaian *critical thinking* antara mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* dengan pendekatan *cyberpedagogy* dan mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* standar pada proyek kolaborasi *Computer Aided Manufacturing*.

H_1: Terdapat perbedaan yang signifikan dalam capaian *critical thinking* antara mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* dengan pendekatan *cyberpedagogy* dan mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* standar pada proyek kolaborasi *Computer Aided Manufacturing*.

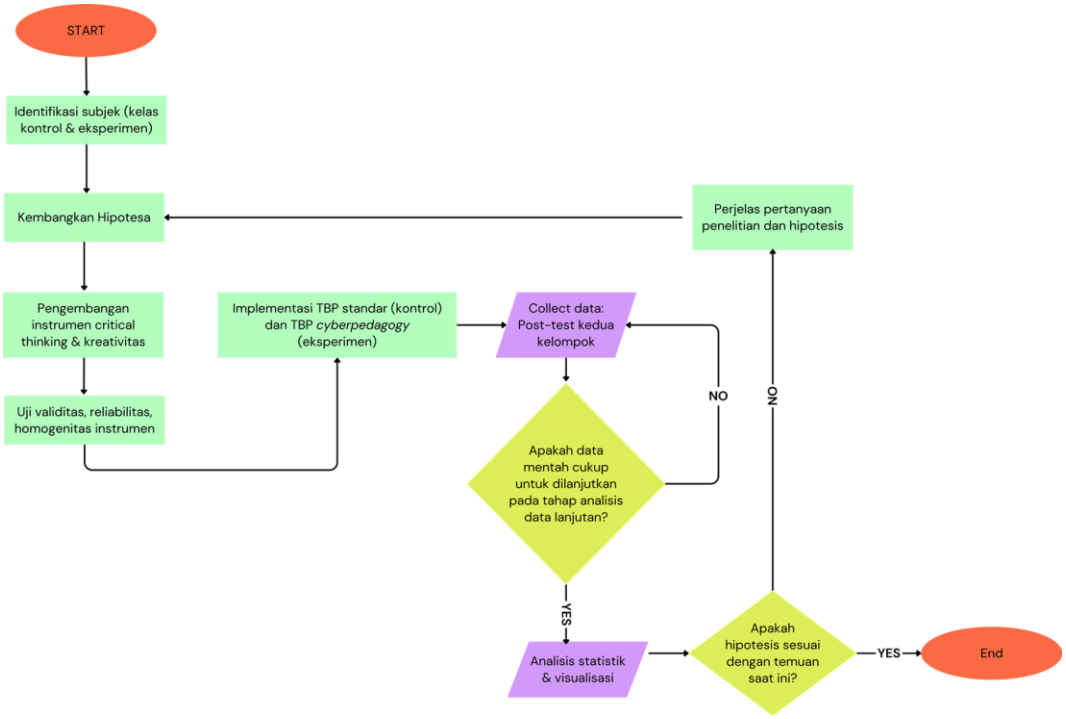
Hipotesis 2 (Kreativitas):

H_0: Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam capaian kreativitas antara mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* dengan pendekatan *cyberpedagogy* dan mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* standar pada proyek kolaborasi *Computer Aided Manufacturing*.

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693

H_1: Terdapat perbedaan yang signifikan dalam capaian kreativitas antara mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* dengan pendekatan *cyberpedagogy* dan mahasiswa yang mengikuti model *Team Based Project* standar pada proyek kolaborasi *Computer Aided Manufacturing*.

Alur kerja penelitian ini disusun secara sistematis untuk menjamin validitas hasil, yang secara visual dapat dilihat pada Gambar 1.

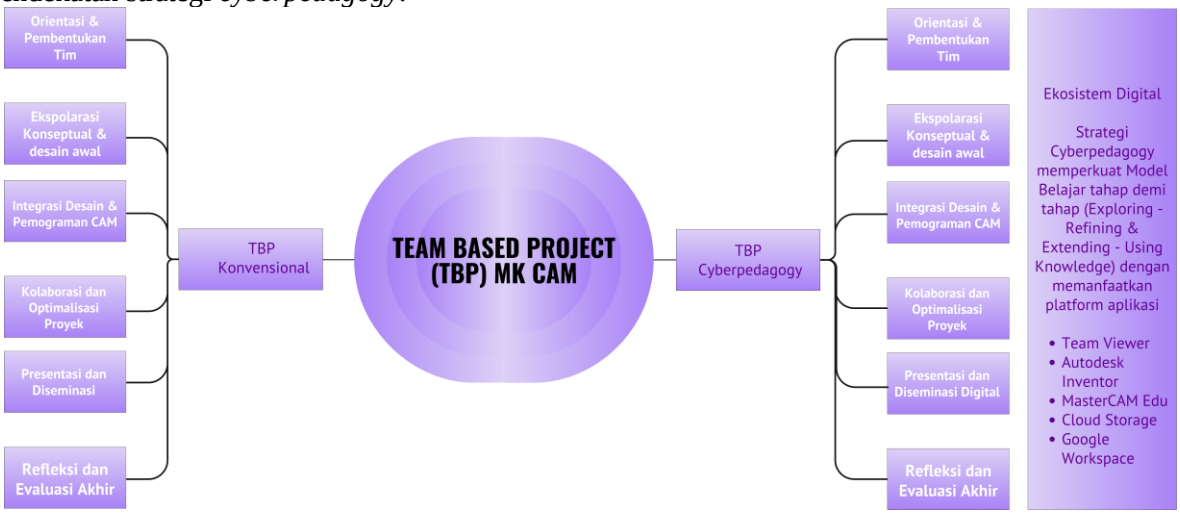


Gambar. 1. Alur kerja diagram penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Aktivitas Proyek Kolaborasi*

Proyek kolaborasi yang dilakukan dalam penelitian ini berupa pembelajaran berbasis proyek yang diterapkan di kelas eksperimen dan kelas kontrol yang memiliki karakteristik setara. Kelas kontrol menerapkan pembelajaran berbasis proyek secara konvensional, sedangkan kelas eksperimen menerapkan pembelajaran berbasis proyek degan pendekatan strategi *cyberpedagogy*.



Gambar 2. Desain tahapan team-based project konvensional dan cyberpedagogy

Secara umum, pembelajaran kolaborasi *project* yang dilakukan secara *cyber* maupun dilakukan melalui tiga fase belajar, yang rincian prosedurnya ditunjukkan dalam Gambar 2. Fase pertama, mahasiswa masuk dalam fase eksplorasi pengetahuan dan menghubungkan pengetahuan. Pada fase tersebut mahasiswa diberikan orientasi

pengetahuan dasar dan keterampilan melalui sumber belajar teks maupun digital. Fase kedua, mahasiswa masuk dalam fase mengolah pengetahuannya lebih luas dan mendalam dengan penguatan berbasis kasus. Fase ketiga, mahasiswa masuk pada fase *using knowledge.* Pada fase ini, belajar mahasiswa sudah pada tahap menggunakan pengetahuan mereka menghadapi tantangan-tantangan nyata seperti pembelajaran berbasis proyek. Ketiga fase tersebut jika dilalui akan memberikan penguatan pada *self-regulated learning, critical thinking, dan creative thinking* pada mahasiswa.

Pada saat masuk fase ketiga, yaitu fase pembelajaran berbasis proyek disinilah tahapan-tahapan teknis didesain. Proyek kolaborasi dilakukan secara tim disebut *team-based project* (TBP) pada matakuliah CAM. Dua kelompok dipisah dalam menerapkan model TBP, yaitu TBP konvensional diterapkan pada kelas kontrol dan TBP *cyberpedagogy* pada kelas eksperimen. Kedua kelompok kelas ini memiliki persamaan pada tahapan-tahapan secara makna aktivitas kegiatan, namun perbedaan terletak pada kelompok TBP *cyberpedagogy* yang diberikan penguatan ekosistem digital.



Gambar 3. Dinamika kelompok proyek kolaborasi: TBP *cyberpedagogy* dan TBP konvensional

Perbandingan visual mengenai interaksi mahasiswa dalam kedua model pembelajaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Dinamika kelompok TBP konvensional banyak terjadi di ruang kelas dan laboratorium. Sedangkan TBP *cyberpedagogy* melakukan aktivitas belajarnya tidak hanya di ruang kelas dan laboratorium, namun hingga masuk ruang belajar dan diskusi dalam jaringan (daring). Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan, TBP *Cyberpedagogy* memiliki *engagement* lebih kuat karena menerapkan pembelajaran proyek kolaborasi secara *hybrid* daripada kelas TBP konvensional [24]. Temuan ini sejalan dengan laporan meta-analisis oleh Smolders dan Prinsen [25] bahwa pembelajaran *blended* memberi dampak positif moderat–tinggi terhadap *engagement* akademik, perilaku, kognitif, dan afektif, sehingga mendorong partisipasi dan kelekatan belajar yang lebih konsisten daripada kelas konvensional. Hasil tinjauan kuantitatif lain oleh Wenwen Cao menunjukkan *blended learning* meningkatkan kinerja dan sikap belajar, serta peningkatan keterlibatan yang mencakup motivasi dan persistensi dalam tugas kolaboratif [26].

B. Ekosistem Digital Proyek Kolaborasi

Ekosistem digital dalam rancangan proyek kolaborasi digunakan sebagai media yang mendukung suksesi project. Pada matakuliah CAM yang dilakukan pada mahasiswa pendidikan teknik mesin semester 4, aplikasi utama yang digunakan adalah MasterCAM 2024 dengan lisensi *Learning Edition* dan Autodesk Inventor Professional 2025 dengan lisensi *Autodesk Student and Educator Resources.* Rincian pemanfaatan, kedudukan aplikasi, hingga fungsi spesifik dari masing-masing perangkat lunak pendukung untuk kelas TBP Eksperimen dan TBP Konvensional tersaji dalam Tabel II. Melalui penggunaan aplikasi yang terstruktur sebagaimana tercantum pada Tabel II, diharapkan proses integrasi jalur pemesinan digital dan koordinasi tim dapat berjalan lebih efektif selama proses kolaborasi proyek berlangsung.

TABEL II

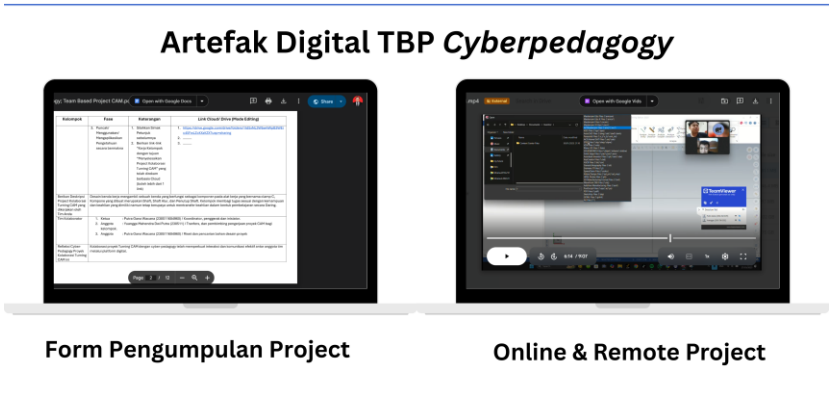
JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693

APLIKASI UTAMA DAN PENDUKUNG

Kelas	Nama Aplikasi	Kedudukan Aplikasi	Lisensi	Fungsi
Eksperimen (A4)	Master CAM	Utama	*Learning Edition*	Perangkat lunak *Computer-Aided Manufacturing (CAM)* untuk membuat, memodifikasi, dan mengintegrasikan jalur pemesinan secara digital, serta menghasilkan program CNC untuk manufaktur presisi pada mesin perkakas.
	Autodesk Inventor Professional	Utama	*Autodesk Student and Educator Resources*	Perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)* untuk merancang, memodelkan, dan membuat simulasi komponen/bagian teknik secara tiga dimensi (3D), memfasilitasi perancangan produk, analisis kinematik, dan pembuatan gambar teknik.
	Whatsapp	Pendukung	Lisensi penggunaan gratis	*Platform* komunikasi berbasis aplikasi pesan instan *real-time*, digunakan untuk koordinasi tim, diskusi kelompok, berbagi file, dan pertukaran informasi selama proses kolaborasi/proyek.
	Google Workspace (Google Drive, Google Meet, Google Docs, Google Sheet, Google Slides, dan Gmail)	Pendukung	*Google Suite for Education*	Rangkaian aplikasi produktivitas berbasis *cloud* yang dirancang untuk memfasilitasi kolaborasi dan komunikasi tim, penyimpanan bersama, serta kolaborasi *real-time* pada dokumen
	TeamViewer Free	Pendukung	*Free license for personal use*	*Remote desktop* untuk konsultasi, dukungan teknis, dan kolaborasi jarak jauh.
Kontrol (A3)	Master CAM	Utama	*Learning Edition*	Perangkat lunak *Computer-Aided Manufacturing (CAM)* untuk membuat, memodifikasi, dan mengintegrasikan jalur pemesinan secara digital, serta menghasilkan program CNC untuk manufaktur presisi pada mesin perkakas.
	Autodesk Inventor Professional	Utama	*Autodesk Student and Educator Resources*	Perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)* untuk merancang, memodelkan, dan membuat simulasi komponen/bagian teknik secara tiga dimensi (3D), memfasilitasi perancangan produk, analisis kinematik, dan pembuatan gambar teknik.
	Whatsapp	Pendukung	Lisensi penggunaan gratis	*Platform* komunikasi berbasis aplikasi pesan instan *real-time*, digunakan untuk koordinasi tim, diskusi kelompok, berbagi file, dan pertukaran informasi selama proses kolaborasi/proyek.
	Google Drive	Pendukung	*Google Suite for Education*	Penyimpanan berbasis *cloud*

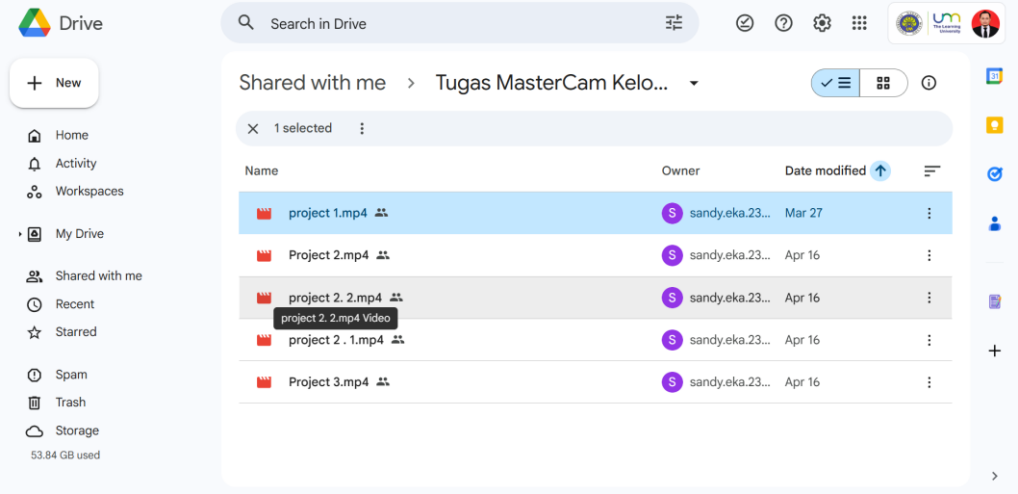
Ekosistem digital dalam proyek kolaborasi pada kelas eksperimen menyediakan artefak digital yang jauh lebih lengkap dan dapat diobservasi dosen dibandingkan kelas konvensional [27]. Tidak hanya menyimpan hasil akhir proyek di *cloud*, tetapi juga mencatat proses kolaborasi, diskusi tim, revisi desain, dan koordinasi yang terjadi melalui berbagai aplikasi pendukung—mulai dari *Master CAM*, *Autodesk Inventor Professional*, *Whatsapp* hingga *Google Workspace*. Seluruh aktivitas digital tersebut membentuk sumber data autentik yang memungkinkan refleksi pembelajaran serta perencanaan peningkatan mutu secara berkelanjutan. Contoh refleksi terhadap penerapan TBP *cyberpedagogy* yang disampaikan oleh salah satu kelompok:

"Menurut kelompok kami sistem pembelajarannya bagus karena mahasiswa dituntut untuk bisa belajar mandiri dan juga berkolaborasi dengan teman kelompoknya sehingga terciptanya kerjasama antar team yang sangat diperlukan ketika masuk dunia kerja".



Gambar 4. Artefak Digital TBP *Cyberpedagogy*

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693



Gambar 5. Artefak Digital TBP Konvensional

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan perbedaan mendasar antara artefak digital yang dihasilkan dalam TBP *Cyberpedagogy* dan TBP Konvensional. Pada TBP *Cyberpedagogy*, bentuk artefak digital bukan hanya berupa dokumen hasil proyek yang tersimpan di *cloud*, tetapi juga meliputi rekam proses kolaborasi, koordinasi daring, hingga dokumentasi video aktivitas proyek secara online dan remote—menjadikan ekosistem pembelajaran lebih transparan, dinamis, dan kaya data. Sementara pada TBP Konvensional, artefak digital yang tersedia terbatas pada file produk akhir proyek yang diunggah ke *Google Drive* tanpa rekam aktivitas proses. Hasil ini didukung paparan ilmiah meta-analisis yang menunjukkan bahwa pembelajaran *hybrid/blended* berbasis ekosistem digital secara konsisten meningkatkan kualitas interaksi, keterlibatan, dan hasil belajar siswa dibandingkan pembelajaran konvensional murni. Artefak dan jejak kerja kolaboratif digital yang tercipta sangat bermanfaat untuk analisis *learning outcomes*, monitoring proses, serta membangun sistem penjaminan mutu berbasis data untuk pembelajaran di masa depan [28].

C. Critical Thinking dan Kreativitas Mahasiswa pada TBP Cyberpedagogy dan TBP Konvensional

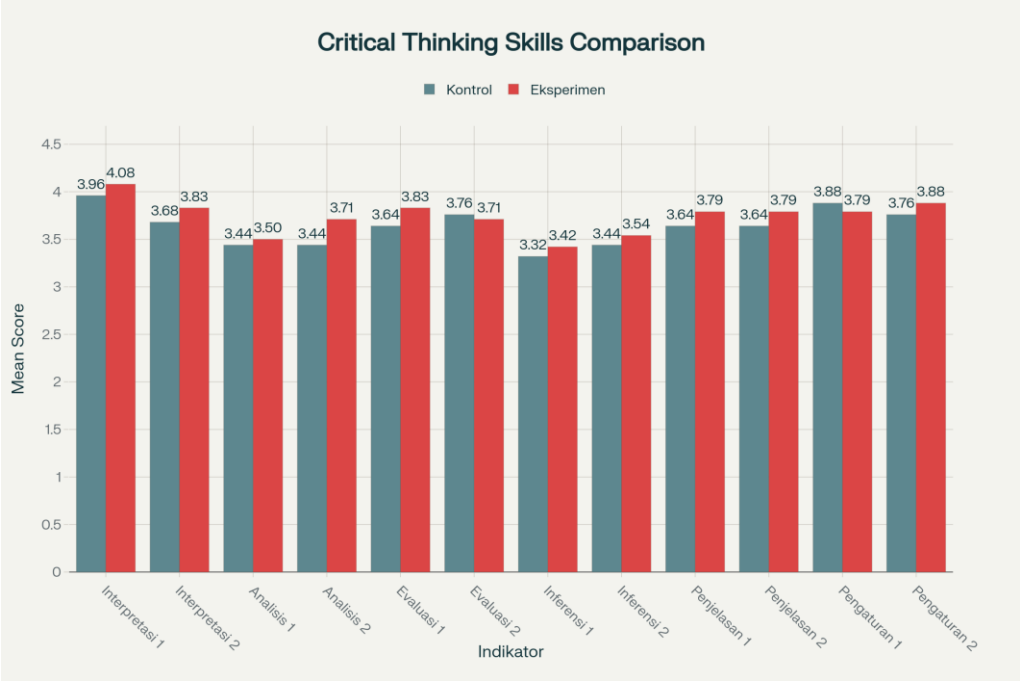
1) Hasil Critical Thinking

Analisis data untuk variabel *critical thinking* menunjukkan bahwa rerata skor pada setiap indikator di kelas eksperimen (TBP *Cyberpedagogy*) umumnya lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (TBP Konvensional). Kenaikan skor ini tampak konsisten pada aspek interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, penjelasan, dan pengaturan diri. Namun, analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan secara statistik ($p > 0,05$) antara kedua kelompok pada setiap indikator. Tabel III menyajikan perbandingan skor *mean* dan standar deviasi seluruh indikator *critical thinking*:

TABEL III
PERBANDINGAN SKOR MEAN DAN STANDAR DEVIASI SELURUH INDIKATOR CRITICAL THINKING

No	Indikator	Kelas Eksperimen (Mean±SD)	Kelas Kontrol (Mean±SD)
1	Interpretasi 1	4.08 ± 1.02	3.96 ± 0.79
2	Interpretasi 2	3.83 ± 0.92	3.68 ± 0.80
3	Analisis 1	3.50 ± 1.06	3.44 ± 1.00
4	Analisis 2	3.71 ± 0.86	3.44 ± 0.77
5	Evaluasi 1	3.83 ± 1.13	3.64 ± 1.11
6	Evaluasi 2	3.71 ± 0.91	3.76 ± 0.88
7	Inferensi 1	3.42 ± 1.10	3.32 ± 1.11
8	Inferensi 2	3.54 ± 0.93	3.44 ± 0.96
9	Penjelasan 1	3.79 ± 0.98	3.64 ± 0.95
10	Penjelasan 2	3.79 ± 0.88	3.64 ± 0.95
11	Pengaturan Diri 1	3.79 ± 0.83	3.88 ± 0.78
12	Pengaturan Diri 2	3.88 ± 0.95	3.76 ± 0.97

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693



Gambar 6. Grafik Komparasi Skor Rata-Rata *Critical Thinking*: TBP Eksperimen vs TBP Kontrol

Visualisasi grafik *mean critical thinking* pada Gambar 6 memperjelas tren bahwa capaian *critical thinking* mahasiswa cenderung lebih baik di kelas yang menerapkan *cyberpedagogy*, walau gap-nya tidak signifikan. Hal ini tampak, misalnya, pada indikator interpretasi dan analisis yang memang menjadi pondasi penting dalam proses pembelajaran *collaborative project* teknik berbasis teknologi. Selanutnya, uji analitik dilakukan dengan analisis data dan pembahasan sesuai urutan statistik: uji normalitas, uji homogenitas variansi, dan uji perbedaan.

Berdasarkan data pada Tabel IV, dapat diketahui karakteristik sebaran data dari kelas eksperimen dan kelas kontrol sebagai syarat untuk melanjutkan ke tahap uji homogenitas variansi dan uji perbedaan.

TABEL IV
HASIL ANALISIS UJI NORMALITAS ONE-SAMPLE KOLMOGOROV–SMIRNOV TEST.SELURUH INDIKATOR CRITICAL THINKING

	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
N	23	23
Mean	44.88	43.60
Std. Deviation	9.98	9.35
Most Extreme Differences		
- Absolute	0.148	0.139
- Positive	0.097	0.081
- Negative	-0.148	-0.139
Test Statistic	0.148	0.139
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.200c	0.200c

Interpretasi: Nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* > 0,05 menunjukan data berdistribusi normal, sehingga analisis dapat dilanjutkan ke uji selanjutnya.

TABEL V
HASIL ANALISIS UJI HOMOGENITAS VARIANSI.SELURUH INDIKATOR CRITICAL THINKING

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Total Skor Critical Thinking	0.017	1	44	0.898

Interpretasi: Berdasarkan data yang tersaji dalam Tabel V, diketahui nilai Nilai *sig*. = 0.898 > 0,05, berarti kedua data homogen (setara), dan uji komparasi parametrik layak dilakukan.

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693

Setelah memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, dilakukan uji perbandingan menggunakan *t-test* dua sampel bebas (*Independent Samples T-Test*) pada skor *critical thinking*. Hasil komparasi statistik secara menyeluruh ditunjukkan pada Tabel VI.

TABEL VI
HASIL ANALISIS UJI T-TEST INDEPENDENT SAMPLES.SELURUH INDIKATOR CRITICAL THINKING

	Mean Kontrol	SD Kontrol	Mean Eksperimen	SD Eksperimen	t	Sig. (2-tailed)
Total Skor Critical Thinking	43.60	9.35	44.88	9.98	-0.462	0.646

Interpretasi:

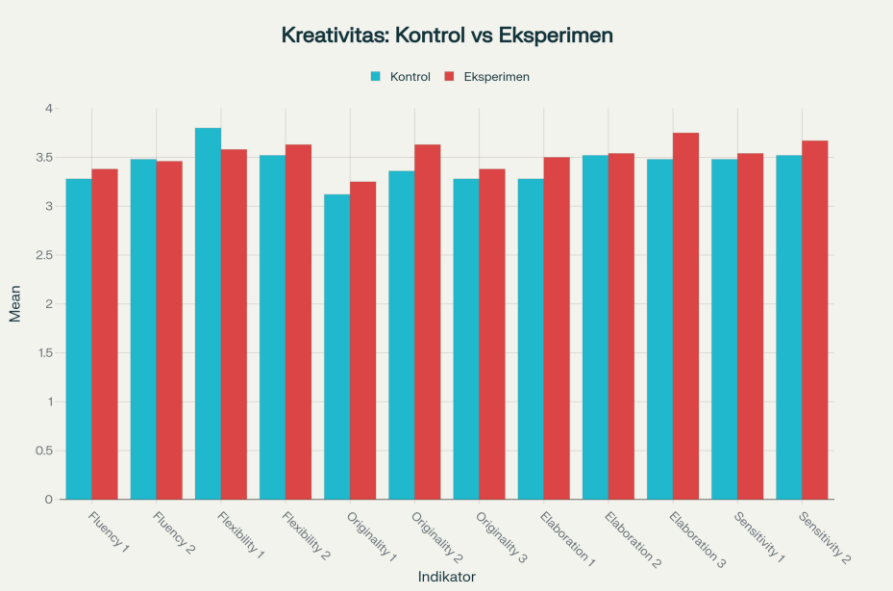
- Nilai *Sig. (2-tailed)* = 0.646 > 0,05, sehingga tidak ada perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol baik untuk *critical thinking*.
- Hipotesis nol diterima untuk kedua variabel: tidak terdapat perbedaan signifikan capaian antara *critical thinking* mahasiswa pada TBP *Cyberpedagogy* dan TBP Konvensional.

2) Hasil Kreativitas Mahasiswa

Hasil analisis data pada variabel kreativitas yang disajikan pada Tabel VII juga menunjukkan tren serupa—kelas eksperimen TBP *Cyberpedagogy* mencatat skor *mean* yang lebih tinggi di hampir semua butir dibanding kelas kontrol pada aspek *fluency*, *flexibility*, *originality*, *elaboration*, dan *sensitivity to problems*. Hasil komparasi ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis digital memberi kontribusi pada stimulasi kreatif mahasiswa, terutama dalam pengayaan ide dan inovasi teknis [29], [30].

TABEL VII
PERBANDINGAN SKOR MEAN DAN STANDAR DEVIASI SELURUH INDIKATOR KREATIVITAS

No	Indikator	Kelas Eksperimen (Mean±SD)	Kelas Kontrol (Mean±SD)
1	Fluency 1	3.38 ± 0.88	3.28 ± 0.94
2	Fluency 2	3.46 ± 0.83	3.48 ± 0.82
3	Flexibility 1	3.58 ± 0.97	3.80 ± 0.87
4	Flexibility 2	3.63 ± 0.92	3.52 ± 0.82
5	Originality 1	3.25 ± 0.99	3.12 ± 1.05
6	Originality 2	3.63 ± 1.10	3.36 ± 0.99
7	Originality 3	3.38 ± 1.06	3.28 ± 1.06
8	Elaboration 1	3.50 ± 0.88	3.28 ± 0.94
9	Elaboration 2	3.54 ± 0.93	3.52 ± 0.82
10	Elaboration 3	3.75 ± 1.07	3.48 ± 0.96
11	Sensitivity 1	3.54 ± 0.83	3.48 ± 0.87
12	Sensitivity 2	3.67 ± 1.01	3.52 ± 1.05



Gambar 7. Grafik Komparasi Skor Rata-Rata Kreativitas Mahasiswa: TBP Eksperimen vs TBP Kontrol

JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)
Journal homepage: https://jurnal.stkippgritulungagung.ac.id/index.php/jipi
ISSN: 2540-8984
Vol. 11, No. 1, March 2026, Pp.680-693

Visualisasi grafik *mean* kreativitas pada Gambar 7 menggambarkan distribusi keunggulan hasil belajar di kelas *cyberpedagogy* secara rinci pada setiap indikator. Pada informasi tersebut terlihat bahwa kelas eksperimen menunjukkan skor mean lebih tinggi pada hampir seluruh indikator, termasuk pada aspek *fluency*, *flexibility*, *originality*, *elaboration*, dan *sensitivity to problem*. Berikutnya analisis data akan dilanjutkan pada pengujian statistik lanjutan secara berurutan.

Selain variabel *critical thinking*, dilakukan pula pengujian prasyarat statistik untuk variabel kreativitas mahasiswa. Pengujian diawali dengan uji normalitas menggunakan metode *One-Sample Kolmogorov–Smirnov Test*. Hasil analisis untuk seluruh indikator kreativitas pada kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat secara rinci pada Tabel VIII.

TABEL VIII
HASIL ANALISIS UJI NORMALITAS ONE-SAMPLE KOLMOGOROV–SMIRNOV TEST.SELURUH INDIKATOR KREATIVITAS

	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
N	23	23
Mean	44.88	41.12
Std. Deviation	9.75	9.57
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.200c	0.200c

Interpretasi: Nilai *Asymp. Sig.* > 0,05 untuk kedua kelompok berarti distribusi data normal, pemilihan uji parametrik diperbolehkan.

Tahapan pengujian prasyarat selanjutnya untuk variabel kreativitas adalah uji homogenitas variansi. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa varians antar kelompok data bersifat sama sebelum dilakukan uji beda parametrik. Hasil analisis uji homogenitas untuk seluruh indikator kreativitas dapat dilihat pada Tabel IX.

TABEL IX
HASIL ANALISIS UJI HOMOGENITAS VARIANSI.SELURUH INDIKATOR KREATIVITAS

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Total Skor Kreativitas	0.112	1	44	0.739

Interpretasi: Nilai sig. = 0. 739 > 0,05, berarti kedua data homogen (setara).

Setelah seluruh asumsi prasyarat terpenuhi, pengujian hipotesis untuk variabel kreativitas dilakukan menggunakan *Independent Samples T-Test*. Ringkasan hasil analisis statistik untuk membandingkan capaian kreativitas mahasiswa di kedua kelas tersebut ditunjukkan pada Tabel X.

TABEL X
HASIL ANALISIS UJI T-TEST INDEPENDENT SAMPLES.SELURUH INDIKATOR KREATIVITAS

	Mean Kontrol	SD Kontrol	Mean Eksperimen	SD Eksperimen	t	Sig. (2-tailed)
Total Skor Kreativitas	41.12	9.57	42.29	9.75	-0.425	0.673

Interpretasi:

- Nilai Sig. (2-*tailed*) = 0. 673 > 0,05, artinya tidak ada perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol baik terhadap kreativitas mahasiswa.
- Hipotesis nol diterima untuk kedua variabel: tidak terdapat perbedaan signifikan capaian antara kreativitas mahasiswa pada kelas TBP *Cyberpedagogy* dan TBP Konvensional.

3) Pembahasan Critical Thinking dan Kreativitas Mahasiswa: TBP Cyberpedagogy vs TBP Konvensional

Pembahasan penelitian ini didukung data statistik yang menunjukkan nilai rata-rata *critical thinking* pada kelas eksperimen sebesar 44.88 dan kontrol 43.60, sedangkan kreativitas pada eksperimen 42.29 dan kontrol 41.12. Uji normalitas *Kolmogorov–Smirnov* pada kedua kelompok masing-masing variabel menghasilkan p = 0.200, demikian juga uji homogenitas *Levene's* p > 0.05. Uji perbedaan *independent sample t-test* untuk *critical thinking* memberikan t = -0.462; p = 0.646, dan untuk kreativitas t = -0.425; p = 0.673. Kedua nilai p-value ini jauh di atas angka kritis α = 0,05, sehingga hipotesis nol diterima—tidak terdapat perbedaan signifikan antara kelas eksperimen

TBP *Cyberpedagogy* dengan kontrol TBP konvensional.

Temuan bahwa rerata kelas eksperimen secara konsisten lebih tinggi daripada kelas kontrol tetapi tidak mencapai signifikansi statistik perlu dianalisis secara kritis dari tiga aspek. *Pertama*, ukuran sampel yang relatif kecil (n = 23 per kelas) mengakibatkan rendahnya kekuatan statistik (*statistical power*) untuk mendeteksi perbedaan berukuran sedang. Studi meta-analisis dalam pendidikan menunjukkan bahwa dengan sampel kurang dari 25 per kelompok, penelitian hanya memiliki daya uji memadai untuk mendeteksi efek berukuran besar (Cohen's $d > 0,8$), sehingga efek berukuran sedang yang mungkin bermakna secara praktis akan luput dari ambang signifikansi. *Kedua*, variabilitas data antarindividu dalam keterampilan berpikir kritis dan kreativitas cenderung tinggi karena kedua konstruk tersebut dipengaruhi oleh faktor pengalaman, motivasi, dan gaya belajar yang beragam antarsubjek, sehingga simpangan baku yang besar mempersempit peluang tercapainya nilai *p* di bawah 0,05. *Ketiga*, kekuatan intervensi (*treatment strength*) juga perlu dipertimbangkan meskipun strategi *cyberpedagogy* telah diterapkan secara sistematis, mahasiswa pada kelas kontrol tetap memperoleh pembelajaran TBP yang secara inheren sudah bersifat kolaboratif dan berbasis proyek, sehingga perbedaan perlakuan antara kedua kelompok mungkin tidak cukup kontras untuk menghasilkan selisih capaian yang besar [31], [32], [33]. Dengan demikian, tidak tercapainya signifikansi statistik tidak serta-merta *cyberpedagogy* tidak berdampak, melainkan lebih mencerminkan keterbatasan daya uji statistik pada sampel kecil dan kedekatan karakteristik kedua perlakuan [34].

Hasil ini sejalan dengan riset Cahyadi (2024) yang menyoroti bahwa PjBL cenderung meningkatkan *critical* dan *creative thinking skills* dalam kelas, namun efek besarnya sangat dipengaruhi oleh desain tugas, keterlibatan mahasiswa, dan konteks implementasi, bukan hanya pola *delivery digital* atau konvensional [35]. Penelitian Lesman dkk (2023) juga menemukan rata-rata kenaikan kreativitas lewat PjBL di kelas teknik, meskipun tidak selalu signifikan secara statistik antar-variasi model [36]. Studi lain menegaskan bahwa model Marzano bahwa *habits of mind* (termasuk *regulated learning*, *critical thinking*, *creative thinking*) diaktifkan ketika mahasiswa berada pada tahapan *using knowledge* dalam tugas kolaboratif [37].

Dengan demikian, temuan penelitian ini memperkuat konseptualisasi Marzano bahwa baik TBP *Cyberpedagogy* maupun TBP konvensional secara mendasar bekerja pada level *"using knowledge"*—mengaktifkan proses berpikir tingkat tinggi dengan menempatkan mahasiswa langsung pada pemecahan masalah, kolaborasi, dan penciptaan produk nyata [38], [39], [40], [41]. Selama kualitas proses menggunakan pengetahuan dan pengintegrasian *habits of mind* dijaga optimal, maka tidak mengherankan apabila *gap* capaian kritikal dan kreativitas antar dua model tidak signifikan. Dalam kerangka metodologis, penelitian ini tidak terutama dimaksudkan untuk menegaskan keterbatasan *cyberpedagogy* dalam meningkatkan *soft skills* secara diferensial, melainkan untuk memberikan bukti awal yang kontekstual mengenai bagaimana TBP-*cyberpedagogy* dan TBP konvensional beroperasi dalam kerangka Marzano pada proyek CAM yang autentik. Temuan yang tidak selalu signifikan secara statistik karenanya tidak diinterpretasikan sebagai kegagalan *cyberpedagogy*, tetapi sebagai indikasi bahwa dalam desain tugas, tingkat keterlibatan mahasiswa, dan kondisi implementasi tertentu, kedua pendekatan dapat sama-sama mengaktifkan proses berpikir tingkat tinggi dan *habits of mind*. Sejalan dengan pandangan mutakhir dalam penelitian pendidikan, hasil non-signifikan justru berfungsi sebagai dasar untuk memperbaiki desain intervensi dan menajamkan teori, serta mendorong dilakukannya studi lanjutan dengan cakupan konteks dan kekuatan uji yang lebih luas untuk menguji efek diferensial *cyberpedagogy* secara lebih mendalam [42], [43].

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini menyoroti pentingnya pemilihan dan pengelolaan model pembelajaran pada level "*using knowledge*" dalam pendidikan teknik, khususnya untuk pengembangan *critical thinking* dan kreativitas mahasiswa. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa baik *Team-Based Project (TBP) Cyberpedagogy* maupun TBP Konvensional mampu mengaktifkan *habits of mind* di kelas secara setara; hal ini tercermin pada tidak ditemukannya perbedaan signifikan secara statistik antara kedua kelompok untuk kedua variabel utama penelitian.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa inovasi pembelajaran, baik berbasis digital maupun tatap muka konvensional, akan lebih bermakna ketika dirancang dalam kerangka berorientasi pada penggunaan pengetahuan—sesuai pemikiran Robert J. Marzano. Dalam konteks pengembangan pendidikan teknik masa depan, upaya perbaikan sebaiknya difokuskan pada peningkatan desain proyek, pendalaman refleksi kelompok, serta mekanisme penilaian otentik yang mendorong mahasiswa bergerak aktif dan kreatif, bukan sekadar pada aspek teknologi pengajaran.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperjelas efektivitas pembelajaran berbasis proyek pada level

using knowledge, tetapi juga membuka ruang riset lanjutan dalam mengeksplorasi kombinasi inovasi pedagogi dan pendekatan tugas kolaboratif untuk kualitas pembelajaran yang berorientasi pada penguatan kemampuan berpikir tingkat tinggi di era digital.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan atas dasar perjanjian kontrak penelitian dengan instansi, dengan Nomor Kontrak: 25.2.49/UN32.5.2/LT/2025. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang sebagai pemberi dana Penelitian Pemula Desentralisasi tahun 2025 dan LPPM Universitas Negeri Malang atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh anggota tim peneliti, baik dosen maupun mahasiswa, serta semua pihak yang telah terlibat dan memberikan kontribusi bagi kelancaran serta keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Brahma, S. S. Tripathi, dan A. Sahay, "Developing curriculum for industry 4.0: digital workplaces," *High. Educ. Ski. Work-Based Learn.*, vol. 11, no. 1, hlm. 144–163, 2021.
[2] N. X. Dung, "Higher Education-Digital Transformation: Strategies and Solutions to Developing Human Resources with Skills and Talents in 4.0 Industrial Revolution-Theory and Orientation.," *Hum. Res. Rehabil.*, vol. 14, no. 2, 2024.
[3] F. W. Yudela, M. Fikri, dan S. Sutiah, "Implementasi dimensi belajar Marzano terhadap kemampuan berpikir kritis siswa kelas X SMK Muhammadiyah 2 Malang," *DAYAH J. Islam. Educ.*, vol. 7, no. 2, hlm. 187–201, 2024.
[4] R. Fadhli, A. Suharyadi, F. M. Firdaus, dan M. Bustari, "Developing a digital learning environment team-based project to support online learning in Indonesia," *Int. J. Eval. Res. Educ.*, vol. 12, no. 3, hlm. 1599–1608, 2023.
[5] G. Duishonbekova dan A. Baitokova, "Cyberpedagogy–the educational challenge of the 21st century," *Bull. Jusup Balasagyn Kyrg. Natl. Univ.*, vol. 17, no. 1, hlm. 20–28, 2025.
[6] S. Bekchonova, "CHARACTERISTICS OF CLOUD TECHNOLOGIES IN CYBER PEDAGOGY," *Int. J. Pedagog.*, vol. 4, no. 11, hlm. 12–18, 2024.
[7] M. Tubagus, M. Mudzakir, E. F. R. Lubis, dan A.-A. Al-Amin, "Studi komparatif antara pembelajaran berbasis proyek dan metode ceramah dalam memperkuat konsep fisika serta kemampuan pemecahan masalah: a comparative study between project-based learning and lecture methods in strengthening physics concepts and problem-solving skills," *NUMBERS J. Pendidik. Mat. Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 2, no. 3, hlm. 120–129, 2024.
[8] N. M. Y. Suranti dan B. Y. Wahyuningsih, "Project based learning dengan pendekatan STEM pada pendidikan sekolah dasar," *Indones. J. Elem. Child. Educ.*, vol. 5, no. 3, hlm. 98–104, 2024.
[9] K. Mahtani, J. M. Guerrero, dan J. Decroix, "Implementing innovation in project-based learning in electro-mechanical engineering education," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, hlm. 03064190241284600, 2024.
[10] M. A. Almulla, "Constructivism learning theory: A paradigm for students' critical thinking, creativity, and problem solving to affect academic performance in higher education," *Cogent Educ.*, vol. 10, no. 1, hlm. 2172929, 2023.
[11] L. Bellaera, Y. Weinstein-Jones, S. Ilie, dan S. T. Baker, "Critical thinking in practice: The priorities and practices of instructors teaching in higher education," *Think. Ski. Creat.*, vol. 41, hlm. 100856, 2021.
[12] H. Karimi dan A. Pina, "Strategically addressing the soft skills gap among STEM undergraduates," *J. Res. STEM Educ.*, vol. 7, no. 1, hlm. 21–46, 2021.
[13] M. A. Almulla, "Constructivism learning theory: A paradigm for students' critical thinking, creativity, and problem solving to affect academic performance in higher education," *Cogent Educ.*, vol. 10, no. 1, hlm. 2172929, 2023.
[14] N. E. A. Nasution, M. H. I. Al Muhdhar, dan M. S. Sari, "Relationship between Critical and Creative Thinking Skills and Learning Achievement in Biology with Reference to Educational Level and Gender.," *J. Turk. Sci. Educ.*, vol. 20, no. 1, hlm. 66–83, 2023.
[15] A. Zabasta, V. Kazymyr, N. Kunicina, dan O. Velihorskyi, "Digital Learning Ecosystem: Online Concept for Engineering Education," dipresentasikan pada 2024 IEEE 65th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), IEEE, 2024, hlm. 1–7.
[16] D. H. Tong, B. P. Uyen, dan L. K. Ngan, "The effectiveness of blended learning on students' academic achievement, self-study skills and learning attitudes: A quasi-experiment study in teaching the conventions for coordinates in the plane," *Heliyon*, vol. 8, no. 12, 2022.
[17] P. Sugiyono, "metode penelitian pendidikan (kuantitatif, kualitatif, kombinasi, R&D dan penelitian pendidikan)," *Metode Penelit. Pendidik.*, vol. 67, hlm. 18, 2019.
[18] J. A. Paul, M. Sinha, dan J. D. Cochran, "Instruments to assess students' critical thinking—A qualitative approach," *Decis. Sci. J. Innov. Educ.*, vol. 21, no. 3, hlm. 123–143, 2023.
[19] S. Aslan dan B. Aybek, "Development of Critical-Thinking Skills Rubric within the Scope of Multicultural Education.," *Educ. Process Int. J.*, vol. 13, no. 3, hlm. 139–158, 2024.
[20] P. Youjamnong dan A. Songsriwittaya, "A model and rubric to guide the creative design process with ICTs," *Int. J. Innov. Learn.*, vol. 30, no. 2, hlm. 220–240, 2021.
[21] A. M. A. Alabbasi, S. H. Paek, D. Kim, dan B. Cramond, "What do educators need to know about the Torrance Tests of Creative Thinking: A comprehensive review," *Front. Psychol.*, vol. 13, hlm. 1000385, 2022.
[22] S. Sugiyono dan P. Lestari, "Metode penelitian komunikasi (Kuantitatif, kualitatif, dan cara mudah menulis artikel pada jurnal internasional)," *Alvabeta Bdg. CV*, 2021.
[23] S. Arikunto, *Penelitian tindakan kelas: Edisi revisi*. Bumi Aksara, 2021.
[24] N. Xiu *dkk.*, "Correlation Analysis Between Cortical Structural Features and Acoustic Features in Patients With Parkinson's Disease," *J. Voice*, 2024.
[25] M. De Bruijn-Smolders dan F. Prinsen, "Effective student engagement with blended learning: A systematic review," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, 2024.
[26] W. Cao, "A meta-analysis of effects of blended learning on performance, attitude, achievement, and engagement across different countries," *Front. Psychol.*, vol. 14, hlm. 1212056, Jul 2023, doi: 10.3389/fpsyg.2023.1212056.
[27] W. Ngui, V. Pang, dan W. Hiew, "E-portfolio as an academic writing assessment tool in higher education: Strengths and challenges," *Indones. J. Appl. Linguist.*, vol. 12, no. 2, hlm. 556–568, Sep 2022, doi: 10.17509/ijal.v12i2.40122.
[28] B. Means, Y. Toyama, R. Murphy, dan M. Baki, "The Effectiveness of Online and Blended Learning: A Meta-Analysis of the Empirical Literature," *Teach. Coll. Rec. Voice Scholarsh. Educ.*, vol. 115, no. 3, hlm. 1–47, Mar 2013, doi: 10.1177/016146811311500307.
[29] B. Harianto dan M. Karjadi, "Kreatifitas Dosen pada Pembelajaran Elektronika di Era Digital 5.0," *EDUKASIA J. Pendidik. Dan Pembelajaran*, vol. 5, no. 1, hlm. 633–640, Apr 2024, doi: 10.62775/edukasia.v5i1.818.

[30] Y. Mudjisusatyo, D. Darwin, dan K. Kisno, "The use ADDIE model to improve the competence of the higher education task force in obtaining competitive funding for the independent campus program," *J. Appl. Res. High. Educ.*, 2024.
[31] J. Cohen, "The statistical power of abnormal-social psychological research: A review.," *J. Abnorm. Soc. Psychol.*, vol. 65, no. 3, hlm. 145–153, Sep 1962, doi: 10.1037/h0045186.
[32] D. A. Cook dan R. Hatala, "Got power? A systematic review of sample size adequacy in health professions education research," *Adv. Health Sci. Educ.*, vol. 20, no. 1, hlm. 73–83, Mar 2015, doi: 10.1007/s10459-014-9509-5.
[33] M. Sanders dan A. N. Chonaire, "'Powered to Detect Small Effect Sizes': You keep saying that. I do not think it means what you think it means.," April 2015, *University of Bristol, Bristol*: 15/337. [Daring]. Tersedia pada: http://www.bristol.ac.uk/cmpo/
[34] D. Lakens, "Sample Size Justification," *Collabra Psychol.*, vol. 8, no. 1, hlm. 33267, Mar 2022, doi: 10.1525/collabra.33267.
[35] R. Cahyadi, M. I. Rosidi, dan N. Abdillah, "EVALUATION OF PROJECT-BASED LEARNING IMPLEMENTATION TO ENCOURAGE STUDENT CREATIVITY AND INNOVATION".
[36] I. Lesman, M. Mulianti, P. Primawati, dan G. K. Kassymova, "Implementation of project-based learning (PjBL) model to increase students' creativity and critical thinking skill in vocational creative product subjects," *J. Pendidik. Teknol. Kejuru.*, vol. 6, no. 3, hlm. 202–215, Agu 2023, doi: 10.24036/jptk.v6i3.34023.
[37] R. A. Daniels, K. Appenzeller Knowles, A. Lindner, dan E. Naasz, "SPIRAL PEDAGOGY: DEVELOPING A QUANTITATIVE HABIT OF MIND IN MARKETING STUDENTS," *Mark. Educ. Rev.*, vol. 34, no. 2, hlm. 121–129, Apr 2024, doi: 10.1080/10528008.2024.2340575.
[38] A. Prihandhika, D. Suryadi, dan S. Prabawanto, "Comparative study of online learning and hybrid learning based on students' habits of mind after COVID-19 pandemic," *J. Didact. Math.*, vol. 3, no. 2, hlm. 69–77, Okt 2022, doi: 10.34007/jdm.v3i2.1461.
[39] H. Sun, Y. Xie, dan J. Lavonen, "Effects of the use of ICT in schools on students' science higher-order thinking skills: comparative study of China and *Finland*," *Res. Sci. Technol. Educ.*, vol. 42, no. 2, hlm. 276–293, Apr 2024, doi: 10.1080/02635143.2022.2116421.
[40] R. Leamnson, *Thinking About Teaching and Learning: Developing Habits of Learning with First Year College and University Students*, 1 ed. New York: Routledge, 2023. doi: 10.4324/9781003448174.
[41] D. W. C. Brandt, "MEASURING STUDENT SUCCESS SKILLS: A REVIEW OF THE LITERATURE ON CREATIVITY," The National Center for the Improvement of Educational Assessment, Inc., New Hampshire, USA, 2021.
[42] J. Leppink, P. O'Sullivan, dan K. Winston, "Evidence against vs. in favour of a null hypothesis," *Perspect. Med. Educ.*, vol. 6, no. 2, hlm. 115–118, Feb 2017, doi: 10.1007/S40037-017-0332-6.
[43] M. A. Handley, C. R. Lyles, C. McCulloch, dan A. Cattamanchi, "Selecting and Improving Quasi-Experimental Designs in Effectiveness and Implementation Research," *Annu. Rev. Public Health*, vol. 39, no. 1, hlm. 5–25, Apr 2018, doi: 10.1146/annurev-publhealth-040617-014128.