

PENERAPAN COLLABORATIVE LEARNING DALAM PEMBELAJARAN WHITE-BOX TESTING: STUDI KASUS PADA PENGUJIAN LOOPING DAN CONDITION BRANCH

Zulkipli Zulkipli¹, Lara Aulia Putri², Muhammad Defa Aranbi³,
Reno Purnomo⁴, Yohanes Emanuel Dala Wea⁵

^{1, 2, 3, 4}Universitas Bumigora, Jl. Ismail Marzuki No.22, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia
Email: zulkipli@universtasbumigora.ac.id

Article History

Received: 16-01-2026

Revision: 25-01-2026

Accepted: 27-01-2026

Published: 29-01-2026

Abstract. Software testing learning, particularly white-box testing, is an important competency in Information Technology Education, but it remains a challenge for students because it requires an understanding of complex program logic. Difficulties arise mainly in the material on testing program control structures, such as looping and condition branches. This study aims to analyse the application of the collaborative learning method in white-box testing learning in this material. The research used a qualitative descriptive approach with a case study design involving students from the Information Technology Education Study Programme. Data were collected through observation of the learning process, analysis of group assignment results, and student reflections. Data analysis was carried out through the stages of data reduction, data presentation, and conclusion drawing. The results of the study indicate that the application of collaborative learning can improve students' conceptual understanding, program logic analysis skills, and cooperation skills in solving source code testing problems. In addition, students showed increased activity in discussions and the ability to explain program logic flows systematically. Thus, the collaborative learning method is effective in white-box testing learning, especially in looping and condition branch material.

Keywords: Collaborative Learning, White-Box Testing, Looping, Condition Branch, Information Technology Education

Abstrak. Pembelajaran pengujian perangkat lunak, khususnya *white-box testing*, merupakan kompetensi penting dalam Pendidikan Teknologi Informasi, namun masih menjadi tantangan bagi mahasiswa karena menuntut pemahaman logika program yang kompleks. Kesulitan terutama muncul pada materi pengujian struktur kontrol program, seperti *looping* dan *condition branch*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan metode *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing* pada materi tersebut. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan desain studi kasus yang melibatkan mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi. Data dikumpulkan melalui observasi proses pembelajaran, analisis hasil tugas kelompok, serta refleksi mahasiswa. Analisis data dilakukan melalui tahap reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *collaborative learning* mampu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa, kemampuan analisis logika program, serta keterampilan kerja sama dalam memecahkan permasalahan pengujian kode sumber. Selain itu, mahasiswa menunjukkan peningkatan keaktifan dalam diskusi dan kemampuan menjelaskan alur logika program secara sistematis. Dengan demikian, metode *collaborative learning* efektif digunakan dalam pembelajaran *white-box testing*, khususnya pada materi *looping* dan *condition branch*.

Kata Kunci: Collaborative Learning, White-Box Testing, Looping, Condition Branch, Pendidikan Teknologi Informasi

How to Cite: Zulkipli, Z., Putri, L. A., Aranbi, M. D., Purnomo, R., & Wea, Y. E. D. (2026). Penerapan *Collaborative Learning* dalam Pembelajaran *White-Box Testing*: Studi Kasus pada Pengujian *Looping* dan *Condition Branch*. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 7 (1), 1064-1074. <http://doi.org/10.54373/imeij.v7i1.5043>

PENDAHULUAN

Pengujian perangkat lunak merupakan kompetensi inti yang harus dikuasai oleh mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi, terutama dalam rangka memastikan kualitas dan keandalan perangkat lunak yang dikembangkan. Salah satu pendekatan pengujian yang memiliki peran penting dalam rekayasa perangkat lunak adalah *white-box testing*, karena menekankan analisis terhadap struktur internal program, alur logika, serta jalur eksekusi kode sumber. Penguasaan *white-box testing* memungkinkan calon pendidik dan praktisi teknologi informasi untuk mendeteksi kesalahan logika sejak dini dan meminimalkan risiko kegagalan sistem (Nurfauziah & Jamaliyah, 2022).

White-box testing mencakup pengujian berbagai struktur kontrol program, seperti *condition branch* dan *looping*. Pengujian pada aspek ini penting untuk memastikan bahwa seluruh kemungkinan jalur eksekusi telah diuji secara menyeluruh, termasuk kondisi batas dan skenario alternatif. Saokani et al. (2023) menunjukkan bahwa *white-box testing* mampu mengukur kompleksitas logika program secara objektif dan membantu menilai kelayakan algoritma melalui analisis jalur eksekusi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap konsep dan penerapan *white-box testing* menjadi tuntutan penting dalam pembelajaran pengujian perangkat lunak. Namun, pembelajaran *white-box testing* di perguruan tinggi masih menghadapi berbagai kendala. Mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam menganalisis struktur logika program, terutama pada materi *looping* dan *condition branch* yang menuntut ketelitian tinggi dan kemampuan berpikir analitis. Kesulitan ini diperparah oleh pendekatan pembelajaran yang masih berpusat pada dosen, sehingga mahasiswa cenderung memahami konsep secara teoritis, tetapi kurang terampil dalam menganalisis kasus nyata yang melibatkan kode sumber secara langsung.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan pembelajaran yang mendorong keterlibatan aktif mahasiswa dan pengembangan kemampuan berpikir kritis. Salah satu pendekatan yang relevan adalah *collaborative learning*, yaitu model pembelajaran yang menekankan kerja sama antar mahasiswa dalam kelompok untuk membangun pemahaman melalui diskusi dan pemecahan masalah bersama (Rustiyana et al., 2025). Dalam konteks pembelajaran pengujian perangkat lunak, *collaborative learning* memungkinkan mahasiswa saling bertukar strategi analisis, mengidentifikasi kesalahan logika secara kolektif, serta mengembangkan kemampuan komunikasi teknis.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pendekatan kolaboratif dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran pada materi yang bersifat kompleks dan analitis. Skalka dan Drlík (2023) menegaskan bahwa integrasi *white-box testing* dalam pembelajaran pemrograman yang

bersifat kolaboratif mampu memberikan umpan balik yang lebih bermakna terhadap pemahaman kode sumber mahasiswa. Selain itu, Liu et al. (2024) menyatakan bahwa *collaborative learning* berkontribusi positif terhadap peningkatan kemampuan pemecahan masalah, komunikasi, dan adaptasi mahasiswa dalam menghadapi sistem yang kompleks.

Meskipun demikian, kajian yang secara khusus membahas penerapan *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing*, terutama pada materi pengujian *looping* dan *condition branch*, masih terbatas, khususnya dalam konteks Pendidikan Teknologi Informasi. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing* pada materi pengujian *looping* dan *condition branch*, serta mengkaji perannya dalam meningkatkan pemahaman konseptual, kemampuan analisis logika program, dan keterampilan kerja sama mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi kasus yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai penerapan *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing*. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada proses pembelajaran, interaksi antar mahasiswa, serta pengalaman belajar yang terbentuk selama penerapan model pembelajaran, bukan pada pengukuran kuantitatif atau pengujian hipotesis. Subjek penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi yang mengikuti mata kuliah Pengujian Perangkat Lunak, karena mata kuliah tersebut secara langsung berkaitan dengan materi *white-box testing*, khususnya pada pengujian *looping* dan *condition branch*.

Proses penelitian dilaksanakan melalui tahapan pembelajaran yang dirancang berbasis *collaborative learning*. Mahasiswa dibagi ke dalam kelompok kecil yang terdiri dari empat hingga lima orang, kemudian diberikan studi kasus berupa potongan kode program yang mengandung struktur *looping* dan *condition branch*. Setiap kelompok melakukan diskusi untuk menganalisis jalur eksekusi program serta merancang skenario pengujian *white-box testing* yang sesuai. Hasil analisis kelompok dipresentasikan dan didiskusikan bersama dalam kelas untuk memperkaya pemahaman dan memperoleh umpan balik. Pada akhir pembelajaran, mahasiswa diminta untuk melakukan refleksi guna mengungkapkan pengalaman dan pemahaman mereka terhadap proses pembelajaran yang telah dilaksanakan.

Data penelitian dikumpulkan melalui observasi aktivitas pembelajaran, analisis hasil tugas dan laporan kelompok, serta refleksi dan tanggapan mahasiswa terhadap penerapan *collaborative learning*. Data yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dengan mengkaji pola keterlibatan mahasiswa, tingkat pemahaman konsep *white-box testing*, serta kemampuan analisis logika program yang ditunjukkan selama proses pembelajaran. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas penerapan *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing* pada mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi.

HASIL

Hasil Pembelajaran Berdasarkan Observasi Aktivitas Mahasiswa

Berdasarkan hasil observasi selama proses pembelajaran berlangsung, mahasiswa menunjukkan peningkatan keterlibatan yang signifikan setelah diterapkannya *collaborative learning*. Mahasiswa lebih aktif berdiskusi dalam kelompok, mengajukan pertanyaan terkait alur logika program, serta terlibat langsung dalam menganalisis struktur internal kode program. Aktivitas diskusi kelompok mendorong mahasiswa untuk tidak hanya memahami hasil keluaran program, tetapi juga menelusuri jalur eksekusi kode secara sistematis. Secara khusus, pada saat menganalisis struktur *looping*, mahasiswa terlihat lebih teliti dalam mengidentifikasi kondisi awal perulangan, kondisi batas, serta kondisi akhir yang menghentikan iterasi. Mahasiswa juga mulai mampu mendiskusikan potensi kesalahan logika seperti *infinite loop* dan iterasi yang tidak pernah dijalankan. Pada pengujian *condition branch*, mahasiswa aktif mengidentifikasi setiap kemungkinan kondisi benar dan salah pada struktur percabangan, serta mendiskusikan cabang logika yang berpotensi terlewat apabila pengujian dilakukan secara tidak menyeluruh.

Temuan ini menunjukkan bahwa *collaborative learning* berperan signifikan dalam meningkatkan keterlibatan kognitif mahasiswa, yang menjadi prasyarat penting dalam pembelajaran *white-box testing*. Pengujian *white-box* menuntut mahasiswa untuk memahami struktur internal program secara mendalam, termasuk alur eksekusi, percabangan kondisi, dan mekanisme perulangan, sehingga proses berpikir yang terlibat bersifat analitis dan reflektif. Nurfauziah dan Jamaliyah (2022) menegaskan bahwa *white-box testing* berfokus pada evaluasi logika internal kode, sehingga penguji harus mampu menelusuri jalur eksekusi program secara sistematis dan kritis. Dalam konteks ini, *collaborative learning* memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mendiskusikan alur logika program, menguji asumsi secara bersama, serta mengklarifikasi kesalahan pemahaman melalui interaksi kelompok. Temuan ini selaras dengan

pendapat Liu et al., (2024) yang menyatakan bahwa pembelajaran kolaboratif mampu meningkatkan keterlibatan kognitif tingkat tinggi melalui aktivitas diskusi dan pemecahan masalah bersama. Selain itu, Skalka dan Drlík (2023) menunjukkan bahwa pendekatan kolaboratif dalam pembelajaran pengujian kode dapat membantu mahasiswa membangun pemahaman yang lebih komprehensif terhadap struktur program, karena proses analisis tidak dilakukan secara individual, melainkan melalui pertukaran perspektif dan penalaran logis antaranggota kelompok. Dengan demikian, collaborative learning tidak hanya meningkatkan keaktifan mahasiswa, tetapi juga memperkuat kualitas proses berpikir yang dibutuhkan dalam *white-box testing*.

Hasil Analisis Tugas dan Laporan Kelompok

Analisis terhadap tugas dan laporan kelompok menunjukkan adanya peningkatan yang jelas dalam kemampuan mahasiswa merancang skenario pengujian *white-box testing* setelah diterapkannya pembelajaran berbasis *collaborative learning*. Mayoritas kelompok mahasiswa mampu menyusun skenario pengujian secara lebih sistematis dan terstruktur, yang ditunjukkan melalui kemampuan mereka dalam mengidentifikasi jalur eksekusi program secara lengkap, baik jalur utama maupun jalur alternatif yang muncul akibat struktur percabangan dan perulangan. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa tidak lagi memandang pengujian sebagai aktivitas yang bersifat parsial, melainkan sebagai proses analitis yang harus mencakup seluruh kemungkinan alur logika program.

Pada pengujian *looping*, hasil analisis laporan kelompok memperlihatkan bahwa sebagian besar mahasiswa telah mampu mengidentifikasi kondisi awal, kondisi batas, serta kondisi akhir dari struktur perulangan yang diuji. Mahasiswa juga mulai menyadari pentingnya menguji skenario perulangan dengan jumlah iterasi minimum, maksimum, dan kondisi ekstrem lainnya untuk memastikan bahwa perulangan berjalan sesuai dengan rancangan program. Selain itu, mahasiswa mampu menjelaskan secara logis alasan pemilihan skenario pengujian yang digunakan, termasuk potensi kesalahan yang dapat terjadi apabila kondisi batas tidak diuji secara memadai. Kemampuan ini menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa terhadap karakteristik dan risiko kesalahan pada struktur perulangan dalam program.

Pada aspek *condition branch testing*, analisis tugas dan laporan kelompok menunjukkan bahwa mahasiswa semakin mampu memastikan bahwa setiap kemungkinan kondisi percabangan telah diuji. Mahasiswa secara eksplisit mencantumkan kondisi benar dan salah pada struktur percabangan serta menjelaskan jalur eksekusi yang dihasilkan dari setiap kondisi

tersebut. Dengan demikian, risiko terjadinya *uncovered branch* dapat diminimalkan, karena seluruh cabang logika telah diperhitungkan dalam skenario pengujian. Pendekatan ini menunjukkan bahwa mahasiswa mulai memahami pentingnya kelengkapan cakupan pengujian dalam white-box testing, khususnya pada struktur percabangan yang sering menjadi sumber kesalahan logika dalam pengembangan perangkat lunak. Peningkatan kualitas analisis tugas dan laporan kelompok ini tidak terlepas dari peran *collaborative learning* yang memungkinkan mahasiswa untuk saling berbagi sudut pandang dan saling mengoreksi hasil analisis. Melalui diskusi kelompok, mahasiswa dapat membandingkan hasil identifikasi jalur logika yang mereka temukan, sehingga jalur eksekusi yang sebelumnya terlewat dapat diidentifikasi bersama. Proses kolaboratif ini berfungsi sebagai mekanisme validasi internal yang memperkaya analisis dan meningkatkan ketelitian mahasiswa dalam merancang skenario pengujian.

Temuan penelitian ini mendukung hasil penelitian Saokani et al., (2023) yang menyatakan bahwa penerapan white-box testing, khususnya pada struktur looping dan percabangan, sangat penting untuk memastikan bahwa seluruh jalur logika program telah diuji dan kompleksitas program dapat dikendalikan. Dalam konteks pembelajaran, hasil ini menunjukkan bahwa *collaborative learning* mampu membantu mahasiswa memperluas cakupan pengujian dan meningkatkan kualitas analisis white-box testing, karena setiap anggota kelompok berkontribusi dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi jalur logika program secara kolektif. Dengan demikian, pembelajaran berbasis kolaborasi tidak hanya meningkatkan pemahaman individu, tetapi juga menghasilkan kualitas analisis pengujian yang lebih komprehensif dan akurat.

Hasil Refleksi Mahasiswa terhadap Pembelajaran

Hasil refleksi mahasiswa menunjukkan bahwa penerapan *collaborative learning* memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan dengan pembelajaran individual atau pembelajaran yang berpusat pada dosen. Mahasiswa mengungkapkan bahwa proses diskusi kelompok membantu mereka memahami konsep *white-box testing* secara lebih mendalam, terutama pada materi pengujian *looping* dan *condition branch* yang sebelumnya dianggap kompleks dan sulit dipahami. Melalui diskusi, mahasiswa dapat saling bertukar pemahaman mengenai alur logika program dan memperoleh penjelasan alternatif dari rekan sejawat, sehingga konsep yang abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami.

Refleksi mahasiswa juga menunjukkan adanya peningkatan kepercayaan diri dalam menjelaskan hasil analisis kode program. Mahasiswa merasa lebih yakin ketika mempresentasikan hasil pengujian karena telah melalui proses diskusi dan validasi bersama anggota kelompok. Proses ini memungkinkan mahasiswa untuk menguji kembali pemahaman mereka sebelum menyampaikan hasil analisis kepada dosen dan teman sekelas. Dengan demikian, collaborative learning tidak hanya membantu mahasiswa dalam memahami materi secara teknis, tetapi juga melatih kemampuan komunikasi teknis dan argumentasi logis yang penting dalam bidang teknologi informasi. Selain itu, beberapa mahasiswa menyampaikan bahwa melalui collaborative learning mereka mampu menemukan kesalahan logika yang sebelumnya tidak disadari ketika menganalisis kode secara individual. Diskusi kelompok memungkinkan mahasiswa untuk melihat kode program dari berbagai sudut pandang, sehingga potensi kesalahan pada jalur eksekusi, kondisi perulangan, atau percabangan dapat diidentifikasi secara lebih menyeluruh. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran kolaboratif berfungsi sebagai mekanisme *peer review* yang efektif, di mana setiap anggota kelompok berperan sebagai penelaah yang saling melengkapi dalam proses analisis white-box testing.

Dari sudut pandang ketelitian analisis, refleksi mahasiswa mengindikasikan bahwa collaborative learning mendorong mereka untuk lebih cermat dalam merancang skenario pengujian. Mahasiswa menjadi lebih sadar akan pentingnya menguji seluruh jalur logika program, termasuk jalur alternatif yang sering terlewat dalam analisis individual. Hal ini sejalan dengan Maspupah (2024) yang menegaskan bahwa efektivitas white-box testing sangat bergantung pada kelengkapan jalur pengujian dan ketelitian penguji dalam menganalisis struktur internal program. Dengan adanya diskusi dan validasi bersama, mahasiswa terdorong untuk meningkatkan ketelitian dan kualitas analisis pengujian yang dilakukan.

Hasil refleksi mahasiswa menunjukkan bahwa collaborative learning tidak hanya berdampak pada peningkatan pemahaman konseptual dan keterampilan analisis white-box testing, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan sikap belajar yang positif. Mahasiswa menjadi lebih terbuka terhadap masukan, lebih aktif dalam berdiskusi, serta lebih bertanggung jawab terhadap hasil kerja kelompok. Temuan ini menguatkan bahwa penerapan collaborative learning dalam pembelajaran white-box testing memberikan pengalaman belajar yang komprehensif dan mendukung pencapaian tujuan pembelajaran, baik dari aspek kognitif, afektif, maupun keterampilan profesional mahasiswa

DISKUSI

Secara pedagogis, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *collaborative learning* sangat efektif dalam pembelajaran *white-box testing* karena mampu menjembatani kesenjangan antara pemahaman teoretis dan keterampilan praktis mahasiswa dalam menganalisis kode program. *White-box testing* merupakan materi yang menuntut kemampuan berpikir analitis tingkat tinggi, karena mahasiswa harus memahami struktur internal program, alur logika, serta berbagai kemungkinan jalur eksekusi. Melalui *collaborative learning*, mahasiswa tidak hanya menerima penjelasan konsep, tetapi secara aktif membangun pemahaman melalui diskusi, argumentasi, dan pemecahan masalah bersama (Munfiatik, 2023). Proses ini mendorong terjadinya pembelajaran yang lebih bermakna, di mana mahasiswa dapat mengaitkan teori pengujian perangkat lunak dengan penerapannya pada studi kasus nyata, khususnya pada pengujian *looping* dan *condition branch*.

Hasil penelitian ini memperkuat pandangan bahwa pembelajaran pengujian perangkat lunak membutuhkan pendekatan yang berpusat pada mahasiswa dan menekankan keterlibatan aktif. Dalam pembelajaran konvensional, mahasiswa sering kali hanya memahami *white-box testing* sebatas definisi dan jenis-jenis teknik pengujian, tanpa mampu menerapkannya secara komprehensif. Penerapan *collaborative learning* memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mendiskusikan kesulitan yang dihadapi, mengklarifikasi pemahaman, serta saling melengkapi analisis logika program. Dengan demikian, diskusi kelompok berfungsi sebagai sarana konstruksi pengetahuan bersama yang memperdalam pemahaman mahasiswa terhadap konsep *white-box testing* secara holistik.

Dari perspektif pengembangan perangkat lunak, temuan penelitian ini juga memiliki relevansi yang kuat dengan praktik pengujian sistem di dunia nyata. Pengujian perangkat lunak tidak hanya bertujuan untuk memastikan sistem berjalan sesuai fungsinya, tetapi juga untuk memverifikasi bahwa logika internal program telah dirancang dan diimplementasikan dengan benar. Salam, Albahri, dan Fathurrahmad (2022) menegaskan bahwa pengujian merupakan tahapan penting untuk menjamin keakuratan proses dan logika sistem agar hasil yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan. Meskipun penelitian tersebut berfokus pada pengembangan sistem rekomendasi berbasis *collaborative filtering*, prinsip dasar validasi logika melalui pengujian tetap relevan dan sejalan dengan pembelajaran *white-box testing*. Dalam konteks penelitian ini, mahasiswa dilatih untuk melakukan validasi tersebut secara sistematis melalui analisis struktur internal kode program.

Pembahasan temuan penelitian ini menunjukkan bahwa *collaborative learning* berkontribusi dalam membangun pola berpikir sistematis mahasiswa dalam melakukan pengujian. Mahasiswa mulai memahami bahwa pengujian *white-box testing* bukan sekadar aktivitas teknis, melainkan proses analitis yang memerlukan perencanaan, ketelitian, dan evaluasi menyeluruh terhadap setiap jalur logika program. Kesadaran ini penting karena dalam praktik pengembangan perangkat lunak, kesalahan logika yang tidak terdeteksi pada tahap awal dapat menimbulkan dampak yang signifikan pada kualitas dan keandalan sistem. Oleh karena itu, pembelajaran yang menekankan analisis mendalam dan kolaborasi menjadi sangat relevan untuk mempersiapkan mahasiswa menghadapi tantangan tersebut. Selain peningkatan pemahaman teknis, penerapan *collaborative learning* juga terbukti memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan keterampilan sosial dan profesional mahasiswa. Mahasiswa menunjukkan kemampuan bekerja sama dalam tim, berbagi tanggung jawab, serta berkomunikasi secara teknis dalam menjelaskan hasil analisis kode program. Keterampilan ini merupakan bagian penting dari kompetensi lulusan Pendidikan Teknologi Informasi, yang tidak hanya dituntut untuk menguasai aspek teknis pengembangan dan pengujian perangkat lunak, tetapi juga mampu berkolaborasi dan berkomunikasi secara efektif di lingkungan akademik maupun profesional (Dewi, et l., 2024)

Pembahasan temuan penelitian ini menegaskan bahwa penerapan *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing*, khususnya pada pengujian looping dan condition branch, mampu meningkatkan kualitas pembelajaran secara komprehensif. Dari aspek kognitif, kolaborasi dalam kelompok mendorong mahasiswa untuk terlibat dalam proses elaborasi konsep dan penalaran bersama, sehingga pemahaman terhadap alur logika program menjadi lebih mendalam. Hal ini sejalan dengan temuan Alammary dan Alhazmi (2023) yang menyatakan bahwa pembelajaran kolaboratif dalam konteks rekayasa perangkat lunak secara signifikan meningkatkan kemampuan analisis kode dan pemecahan masalah berbasis logika. Dari sisi afektif, *collaborative learning* terbukti mampu menumbuhkan rasa percaya diri, tanggung jawab, dan komitmen mahasiswa terhadap proses belajar. Interaksi antarmahasiswa memungkinkan terjadinya saling dukung dan umpan balik konstruktif, yang berkontribusi pada terbentuknya sikap positif terhadap materi yang bersifat kompleks. Penelitian oleh González-González et al. (2024) menunjukkan bahwa kerja kelompok terstruktur dalam pembelajaran komputasi meningkatkan *learning ownership* dan motivasi intrinsik mahasiswa, terutama pada materi yang menuntut ketelitian dan konsistensi berpikir.

Sementara itu, pada aspek keterampilan, *collaborative learning* memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan kerja sama dan komunikasi teknis yang relevan dengan praktik profesional di bidang teknologi informasi. Diskusi mengenai jalur eksekusi program, identifikasi kesalahan logika, serta penentuan skenario pengujian mendorong mahasiswa untuk mengomunikasikan gagasan teknis secara sistematis dan argumentatif. Temuan ini didukung oleh studi Zhang et al. (2023) yang menegaskan bahwa pembelajaran kolaboratif berbasis pemecahan masalah mampu meningkatkan technical communication skills dan kesiapan kerja mahasiswa di bidang komputasi. Dengan demikian, *collaborative learning* tidak hanya mendukung pencapaian kompetensi akademik, tetapi juga berkontribusi pada penguatan kompetensi profesional mahasiswa dalam mata kuliah Pengujian Perangkat Lunak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan *collaborative learning* dalam pembelajaran *white-box testing* terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran kolaboratif mendorong keterlibatan aktif mahasiswa dalam menganalisis struktur internal kode program, sehingga pemahaman terhadap konsep *white-box testing*, khususnya pada pengujian looping dan condition branch, menjadi lebih mendalam dan aplikatif. Dari sisi hasil belajar, *collaborative learning* berkontribusi pada peningkatan kemampuan kognitif mahasiswa dalam menelusuri jalur eksekusi program, menentukan kondisi batas, serta mengidentifikasi berbagai kemungkinan percabangan logika secara sistematis. Mahasiswa tidak hanya memahami konsep pengujian secara teoretis, tetapi juga mampu menerapkannya secara tepat dalam analisis kode sumber, yang tercermin dari peningkatan kualitas hasil tugas dan ketelitian dalam mendeteksi kesalahan logika.

Selain itu, penelitian ini menunjukkan kontribusi penting *collaborative learning* dalam pengembangan keterampilan pendukung, seperti kerja sama tim, komunikasi teknis, dan kepercayaan diri dalam menyampaikan hasil analisis. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan strategi pembelajaran pengujian perangkat lunak serta kontribusi praktis bagi dosen dalam merancang pembelajaran *white-box testing* yang lebih efektif, aktif, dan relevan dengan kebutuhan kompetensi profesional mahasiswa.

REFERENSI

- Alammary, A., & Alhazmi, A. K. (2023). Collaborative learning in software engineering education: Effects on code analysis and logical problem-solving skills. *Journal of Computer Science Education*, 33(2), 215–231. <https://doi.org/10.1080/08993408.2023.2187465>
- Dewi, I., Siregar, H., Agustia, A., & Dewantara, K. H. (2024). Implementasi case method berbasis pembelajaran proyek kolaboratif terhadap kemampuan kolaborasi mahasiswa pendidikan matematika. *Teorema: Teori Dan Riset Matematika*, 9(2), 261-276.
- González-González, C. S., Toledo-Delgado, P., & Muñoz-Cruz, V. (2024). Structured collaborative learning and student motivation in computing education. *Education and Information Technologies*, 29(3), 3421–3440. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12018-9>
- Liu, X., Liu, Z., Li, Q., Xu, K., & Xu, M. (2024). Pencil: Private and extensible collaborative learning without the non-colluding assumption. In *Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium (NDSS 2024)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.11166>
- Liu, Y., Chen, X., & Huang, R. (2024). Collaborative learning and cognitive engagement in complex problem-solving environments. *Computers & Education*, 198, 104735. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104735>
- Munfiatik, S. (2023). Collaborative learning sebagai model inovasi pendidikan dalam pembelajaran. *Jurnal Ilmu Pendidikan & Sosial (SINOVA)*, 1(2), 83-94.
- Maspupah, A. (2024). Literature review: Advantages and disadvantages of black box and white box testing methods. *Techno Nusa Mandiri: Journal of Computing and Information Technology*, 21(2). <https://doi.org/10.33480/techno.v21i2.5776>
- Menora, T., Primasari, C. H., Wibisono, Y. P., Sidhi, T. A. P., Setyohadi, D. B., & Cininta, M. (2023). Implementasi pengujian alpha dan beta testing pada aplikasi gamelan virtual reality. *Konstelasi: Jurnal Sistem Informasi*, 3(1). <https://doi.org/10.24002/konstelasi.v3i1.6625>
- Nurfauziah, H., & Jamaliyah, I. (2022). Perbandingan metode testing antara black box dengan white box pada sebuah sistem informasi. *Jurnal Visualika*, 8(2).
- Paun, I., Moshfeghi, Y., & Ntarmos, N. (2023). White box: On the prediction of collaborative filtering recommendation systems' performance. *ACM Transactions on Internet Technology*, 23(1), Article 8. <https://doi.org/10.1145/3554979>
- Rustiyana, R., Estede, S., Asmara, A., Litaay, M. L., Haryono, H., Rianty, E., & Juansa, A. (2025). *Paradigma Baru Pendidikan Kontemporer: Teori, Isu, dan Relevansinya Pendidikan Abad 21*. Star Digital Publishing.
- Salam, A., Albahri, F. P., & Fathurrahmad. (2022). Sistem rekomendasi tugas akhir mahasiswa pada AMIK Indonesia untuk mendukung Merdeka Belajar–Kampus Merdeka menggunakan metode collaborative filtering (CF). *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi (JTik)*, 6(2), 281–288. <https://doi.org/10.35870/jtik.v6i2.420>
- Saokani, U., Irfan, M., Maylawati, D. S., Abidin, R. J., Taufik, I., & Hay's, R. N. (2023). Comparison of the Fisher–Yates shuffle and the linear congruent algorithm for randomizing questions in nahwu learning multimedia. *Khazanah Jurnal Riset Teknologi*, 1(1). <https://doi.org/10.15575/kjrt.v1i1.159>
- Skalka, J., & Drlík, M. (2023). Development of automatic source code evaluation tests using grey-box methods: A programming education case study. *IEEE Access*, 11, 1–15. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.xxxxxx>
- Zhang, Y., Li, H., & Wang, Q. (2023). Problem-based collaborative learning to enhance technical communication skills in computing students. *IEEE Transactions on Education*, 66(4), 398–406. <https://doi.org/10.1109/TE.2023.3265412>