Pemetaan Kesalahan Pemodelan Pesawat 3D sebagai Dasar Pengembangan AI-Assisted Formative Feedback

T. Rafli Abdillah[1], Novianti[2], Rahmi Hayati[3]

[1] Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Almuslim
[2] Program Studi Pendidikan Matematika, FKIP, Universitas Almuslim
[3] Program Studi Pendidikan Matematika, FKIP, Universitas Almuslim

[1]traflia@umuslim.ac.id
[2] novianti@umuslim.ac.id
[3]rahmihayati@umuslim.ac.id

Abstrak

Pemodelan objek 3D dalam pembelajaran animasi tidak hanya menuntut ketercapaian bentuk visual, tetapi juga penguasaan struktur mesh dan teknik pemodelan yang mendukung pengembangan model lebih lanjut. Identifikasi kesalahan pada tahap baseline diperlukan untuk memperoleh gambaran kemampuan peserta didik serta karakteristik kesalahan yang dapat menjadi dasar pemberian umpan balik formatif. Penelitian ini bertujuan memetakan kondisi baseline dan pola kesalahan pemodelan pesawat 3D peserta didik SMK bidang Animasi sebagai dasar pengembangan AI-assisted formative feedback. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif terhadap 18 peserta didik melalui expert assessment menggunakan rubrik penilaian, checklist komponen wajib, dan error log. Hasil assessment menunjukkan rata-rata skor baseline sebesar 71,68, dengan skor terendah 59,05 dan tertinggi 82,50. Sebanyak 13 peserta didik (72,22%) berada pada kategori Baik dan 5 peserta didik (27,78%) berada pada kategori Cukup. Error log mencatat 74 occurrence kesalahan, dengan Mesh Integrity sebagai kategori terbanyak sebanyak 26 occurrence (35,14%), diikuti Bentuk/Proporsi sebanyak 20 occurrence (27,03%) dan Topology/Edge Flow sebanyak 16 occurrence (21,62%). Ketiga kategori tersebut mencakup 83,78% dari seluruh kesalahan yang teridentifikasi. Pada tingkat aspek penilaian, Kelengkapan Komponen menunjukkan capaian tertinggi dengan rata-rata 91,67, sedangkan Topology, Edge Flow & Mesh Integrity merupakan aspek terendah dengan rata-rata 58,33. Temuan menunjukkan bahwa kemampuan peserta didik dalam memenuhi komponen utama belum selalu diikuti oleh kualitas struktur mesh dan teknik pemodelan yang memadai. Pola kesalahan tersebut menunjukkan kebutuhan terhadap umpan balik formatif yang spesifik, berbasis artefak, dan dapat ditindaklanjuti. Hasil pemetaan baseline ini menjadi landasan untuk pengembangan AI-assisted formative feedback pada tahap penelitian selanjutnya.
Kata Kunci: pemodelan pesawat 3D, baseline assessment, error mapping, mesh integrity, formative feedback

Abstract

Three-dimensional modeling in animation learning requires not only the achievement of visual form but also mastery of mesh structure and modeling techniques that support further model development. Identifying errors at the baseline stage is necessary to obtain an overview of students' abilities and error characteristics that can inform formative feedback. This study aims to map the baseline condition and error patterns of 3D aircraft modeling among vocational high school students in the Animation field as a basis for developing AI-assisted formative feedback. A descriptive approach was employed with 18 students through expert assessment using an assessment rubric, a mandatory component checklist, and an error log. The assessment results showed a mean baseline score of 71.68, with scores ranging from 59.05 to 82.50. Thirteen students (72.22%) were categorized as Good, while five students (27.78%) were categorized as Fair. The error log recorded 74 error occurrences, with Mesh Integrity being the most frequent category with 26 occurrences (35.14%), followed by Shape/Proportion with 20 occurrences (27.03%) and Topology/Edge Flow with 16 occurrences (21.62%). These three categories accounted for 83.78% of all identified errors. At the

assessment-aspect level, Component Completeness showed the highest mean score (91.67), whereas Topology, Edge Flow & Mesh Integrity showed the lowest (58.33). The findings indicate that students' ability to complete the required major components does not necessarily correspond to adequate mesh structure and modeling technique. The identified error patterns indicate a need for formative feedback that is specific, artifact-grounded, and actionable. These baseline findings provide a foundation for the subsequent development of AI-assisted formative feedback.
Keywords: 3D aircraft modeling, baseline assessment, error mapping, topology, mesh integrity, formative feedback, AI-assisted formative feedback

1. PENDAHULUAN

Pemodelan objek tiga dimensi (3D) merupakan salah satu kompetensi penting dalam pembelajaran animasi karena peserta didik tidak hanya dituntut menghasilkan bentuk visual yang menyerupai objek acuan, tetapi juga membangun struktur model yang memungkinkan objek dikembangkan pada tahap berikutnya. Dalam proses pemodelan, kualitas artefak tidak cukup ditentukan oleh kemiripan bentuk secara visual, tetapi juga oleh kelengkapan komponen, keteraturan struktur mesh, aliran edge, integritas permukaan, serta ketepatan teknik pemodelan. Kondisi tersebut menjadikan proses penilaian pemodelan 3D lebih kompleks dibandingkan penilaian produk yang hanya berorientasi pada hasil visual. Dengan demikian, identifikasi kesalahan sejak tahap awal diperlukan agar pendidik dapat mengetahui bagian-bagian model yang membutuhkan perbaikan dan memberikan umpan balik yang sesuai.

Dalam konteks pembelajaran di SMK, penguasaan pemodelan 3D berkembang secara bertahap dari pemodelan objek sederhana menuju objek yang memiliki bentuk dan struktur geometris lebih kompleks. Peserta didik dalam penelitian ini telah memperoleh pengalaman pemodelan sejak kelas XI melalui latihan objek dasar seperti meja, kursi, dan interior sebelum mengerjakan pemodelan pesawat. Meskipun demikian, penguasaan pengalaman dasar tersebut belum dengan sendirinya menunjukkan bahwa peserta didik telah menguasai aspek struktural pemodelan yang lebih kompleks, seperti topology, edge flow, dan mesh integrity. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya assessment yang tidak hanya melihat keberadaan atau kemiripan komponen, tetapi juga mampu mengidentifikasi kesalahan teknis pada artefak.

Umpan balik formatif memiliki peran penting karena memungkinkan peserta didik memperoleh informasi mengenai kualitas pekerjaannya dan bagian yang perlu diperbaiki selama proses pembelajaran, bukan hanya setelah tugas selesai dinilai. Bukti penelitian menunjukkan bahwa assessment dan feedback merupakan bagian fundamental dalam proses pembelajaran, meskipun efektivitasnya sangat bergantung pada kualitas penerapan dan karakteristik konteks pembelajaran(Morris et al., 2021). Dalam pembelajaran pemodelan 3D, kebutuhan tersebut menjadi semakin penting karena suatu kesalahan dapat berada pada beberapa lapisan sekaligus, mulai dari bentuk dan proporsi hingga struktur mesh dan teknik pemodelan. Oleh karena itu, umpan balik yang hanya menyatakan bahwa suatu model “benar” atau “salah” belum memadai untuk membantu peserta didik memahami sumber masalah dan menentukan tindakan perbaikannya.

Perkembangan teknologi juga telah mendorong penggunaan sistem otomatis untuk mengevaluasi artefak 3D. Penelitian mengenai evaluasi otomatis model CAD mahasiswa menunjukkan bahwa model 3D dapat diperiksa secara terotomatisasi untuk membantu

proses evaluasi dalam skala banyak sekaligus memberikan dukungan terhadap pemahaman mahasiswa mengenai cara menghasilkan model sesuai persyaratan yang ditetapkan pengajar. Pendekatan tersebut kemudian berkembang melalui sistem yang mengevaluasi karakteristik geometris, fitur, dan parameter model CAD, termasuk sistem yang memungkinkan kriteria dan bobot penilaian ditentukan oleh pengajar (Eltaief et al., 2024). Perkembangan yang lebih baru bahkan telah mengintegrasikan automated grading dan feedback pada pembelajaran mechanical 3D CAD melalui perbandingan model, analisis visual, dimensi, serta informasi desain lainnya (Yoon et al., 2025). Temuan tersebut menunjukkan bahwa otomatisasi penilaian artefak 3D bukan lagi merupakan gagasan yang sepenuhnya baru.

Pada saat yang sama, perkembangan generative artificial intelligence (AI), khususnya large language models (LLMs), telah memperluas peluang pemberian umpan balik secara otomatis dalam pendidikan. Tinjauan sistematis terhadap 129 artikel penelitian menunjukkan peningkatan tajam penelitian mengenai AI-assisted feedback dan menemukan bahwa AI dapat digunakan untuk mendukung berbagai fokus umpan balik, termasuk task, process, dan self-regulation (Ba et al., 2025). Kajian yang lebih baru terhadap 47 studi empiris mengenai LLM-generated formative feedback juga menunjukkan bahwa pendekatan tersebut telah banyak digunakan untuk menghasilkan umpan balik yang bersifat elaboratif, tetapi sebagian besar penelitian masih berfokus pada tugas berbasis teks dan konteks pendidikan tinggi (Maier et al., 2026). Kajian tersebut juga mengidentifikasi risiko seperti hallucination, over-positivity, dan misclassification, serta menunjukkan pentingnya grounding pada artefak peserta didik dan keterlibatan pendidik dalam proses pemberian umpan balik (Maier et al., 2026).

Meskipun demikian, perkembangan otomatisasi penilaian 3D dan AI-assisted feedback tersebut belum secara langsung menjawab kebutuhan pembelajaran pemodelan 3D pada konteks pendidikan animasi. Studi automated CAD assessment telah menunjukkan kemampuan sistem dalam memeriksa karakteristik geometris atau kesesuaian model, sementara penelitian AI-assisted feedback secara lebih luas telah banyak membahas artefak berbasis teks dan domain seperti pemrograman (Bojcetic et al., 2021; Eltaief et al., 2024; Ba et al., 2025; Maier et al., 2026). Namun, masih terbatas bukti mengenai bagaimana kesalahan pada artefak pemodelan 3D peserta didik dapat dipetakan secara expert-grounded, bersifat diagnostik, dan diterjemahkan menjadi kebutuhan umpan balik yang spesifik serta dapat ditindaklanjuti, khususnya untuk permasalahan seperti topology/edge flow dan mesh integrity. Dengan demikian, tantangannya bukan sekadar membuat sistem yang mampu mengenali apakah sebuah model memiliki kesalahan, tetapi menyediakan representasi kesalahan yang cukup terstruktur untuk menjadi dasar pemberian umpan balik pembelajaran. Dalam penelitian ini, expert-grounded merujuk pada pemetaan kesalahan berdasarkan penilaian ahli terhadap artefak; diagnostik merujuk pada kemampuan pemetaan untuk mengidentifikasi jenis dan karakteristik masalah; artifact-grounded merujuk pada keterkaitan feedback dengan temuan pada artefak; sedangkan actionable merujuk pada kemampuan feedback untuk mengarahkan tindakan perbaikan yang dapat dilakukan peserta didik.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini memfokuskan tahap awal pada pemetaan kondisi baseline dan pola kesalahan pemodelan pesawat 3D yang dihasilkan peserta didik SMK bidang Animasi. Pemetaan dilakukan melalui expert assessment menggunakan rubrik penilaian, checklist komponen wajib, dan error log untuk

memperoleh gambaran capaian peserta didik sekaligus karakteristik kesalahan pada artefak yang dihasilkan. Hasil pemetaan tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pola kesalahan yang paling dominan dan kebutuhan terhadap umpan balik formatif yang spesifik, berbasis artefak, serta dapat ditindaklanjuti. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan memetakan kondisi baseline dan pola kesalahan pemodelan pesawat 3D peserta didik SMK bidang Animasi sebagai dasar pengembangan AI-assisted formative feedback pada tahap penelitian selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif untuk memetakan kondisi baseline dan pola kesalahan pada artefak pemodelan pesawat 3D peserta didik sebelum tahap pengembangan AI-assisted formative feedback. Data diperoleh melalui expert assessment terhadap artefak yang dihasilkan peserta didik dengan menggunakan rubrik penilaian, checklist komponen wajib, dan error log. Analisis difokuskan pada capaian kualitas model secara kuantitatif serta karakteristik dan frekuensi kesalahan yang ditemukan pada artefak.

2.2 Subjek dan Artefak Penelitian

Subjek penelitian terdiri atas 18 peserta didik kelas XII program keahlian Animasi pada satu SMK. Peserta didik telah memperoleh pembelajaran pemodelan 3D sejak kelas XI. Sebelum mengerjakan tugas pemodelan pesawat, peserta didik telah mempelajari pemodelan dasar melalui latihan pembuatan objek seperti meja, kursi, dan interior. Dengan demikian, tugas pemodelan pesawat diberikan setelah peserta didik memiliki pengalaman awal dalam pemodelan objek 3D.

Dalam konteks pembelajaran di sekolah, pengajaran bidang Animasi masih menghadapi keterbatasan sumber daya pengajar dengan latar belakang keilmuan yang secara khusus sesuai dengan bidang Animasi. Terdapat seorang guru yang telah mengikuti upskilling terkait bidang tersebut, tetapi dukungan kompetensi khusus Animasi masih terbatas. Kondisi ini dipandang sebagai konteks pembelajaran yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil baseline, tetapi penelitian ini tidak menguji hubungan antara latar belakang pengajar dan capaian atau kesalahan pemodelan peserta didik.

Setiap peserta didik menghasilkan satu artefak model pesawat Boeing 737-300 yang dinilai secara individual. Pemodelan dilakukan menggunakan Blender 4.5. Artefak mencakup komponen utama berupa fuselage, main wing, empennage/tail, dan engine assembly. Komponen landing gear atau roda tidak termasuk komponen wajib sehingga keberadaan atau ketiadaannya tidak digunakan sebagai dasar penilaian kelengkapan model.

2.3 Instrumen Penelitian

Baseline assessment menggunakan tiga instrumen yang saling melengkapi, yaitu rubrik final penilaian baseline modeling pesawat 3D, checklist komponen wajib, dan error log expert baseline assessment.

Rubrik penilaian digunakan untuk memperoleh skor kualitas model secara kuantitatif. Penilaian mencakup lima aspek, yaitu Bentuk dan Proporsi (25%), Kelengkapan

Komponen (20%), Topology, Edge Flow & Mesh Integrity (25%), Kerapian Modeling (15%), dan Teknik Modeling & Modifier (15%). Masing-masing aspek diberikan skor pada rentang 1–100, kemudian dikombinasikan berdasarkan bobot untuk memperoleh skor baseline setiap peserta didik.

Secara matematis, skor baseline dihitung menggunakan persamaan:

$$S=0,25B+0,20K+0,25T+0,15R+0,15M$$

$S=$ skor baseline akhir;
$B=$ skor Bentuk dan Proporsi;
$K=$ skor Kelengkapan Komponen;
$T=$ skor Topology, Edge Flow & Mesh Integrity;
$R=$ skor Kerapian Modeling;
$M=$ skor Teknik Modeling & Modifier.

Hasil skor baseline kemudian dikategorikan menjadi Sangat Baik (85–100), Baik (70–84,99), Cukup (55–69,99), Perlu Perbaikan (35–54,99), dan Perlu Perbaikan Intensif (1–34,99).

Checklist komponen digunakan untuk mendokumentasikan ketercapaian komponen wajib yang terdiri atas fuselage, main wing, empennage/tail, dan engine assembly. Setiap komponen diberi status Lengkap, Sebagian, atau Belum. Checklist berfungsi sebagai dokumentasi kelengkapan komponen dan tidak digunakan untuk menilai kesesuaian bentuk, topology, atau aspek teknis lainnya.

Error Log digunakan untuk mendokumentasikan masalah nyata yang ditemukan pada artefak sebelum tahap AI. Kesalahan diklasifikasikan ke dalam sembilan kategori, yaitu Bentuk/Proporsi, Reference Accuracy, Kelengkapan Komponen, Topology/Edge Flow, Mesh Integrity, Mirror Modifier, Knife/Edge Editing, Kerapian Mesh, dan Lainnya. Setiap temuan dicatat berdasarkan keberadaan error, deskripsi masalah, bagian model sebagai bukti, prioritas, status feedback sebelumnya, status perbaikan, dan catatan expert. Aspek Kerapian Modeling pada rubrik digunakan untuk menentukan kualitas model secara kuantitatif, tetapi tidak digunakan sebagai kategori occurrence dalam Error Mapping. Error Mapping menggunakan kategori kesalahan diagnostik yang telah ditetapkan untuk mengidentifikasi masalah spesifik pada artefak.

2.4 Prosedur Expert Assessment

Setiap artefak peserta didik diperiksa melalui expert assessment oleh satu expert, yaitu peneliti, yang memiliki pengalaman dalam pembelajaran dan pemodelan animasi 3D. Assessment dilakukan secara individual terhadap 18 artefak menggunakan instrumen yang telah ditetapkan.

Proses assessment dimulai dengan pemeriksaan komponen wajib menggunakan checklist, dilanjutkan dengan penilaian kualitas model berdasarkan lima aspek dalam rubrik. Setelah itu, kesalahan yang ditemukan dicatat pada Error Log berdasarkan kategori, lokasi, dan karakteristik kesalahan.

Untuk menjaga konsistensi penilaian, seluruh artefak dinilai menggunakan rubrik, kriteria kategorisasi, checklist komponen, dan struktur Error Log yang sama. Penilaian dilakukan berdasarkan kondisi artefak yang dikumpulkan pada tahap baseline. Kesalahan yang dicatat dalam Error Log tidak dikonversikan menjadi pengurang skor secara langsung

untuk menghindari double penalty, karena kualitas model telah direpresentasikan melalui skor pada masing-masing aspek rubrik. Error Log digunakan sebagai informasi diagnostik mengenai jenis, lokasi, dan karakteristik kesalahan serta kebutuhan feedback yang menyertainya.

Kategorisasi kesalahan mempertimbangkan perbedaan antara konsekuensi kesalahan yang terlihat pada artefak dan faktor teknis yang mungkin menyebabkannya. Sebagai contoh, kerusakan topology yang berkaitan dengan penggunaan Mirror Modifier dicatat berdasarkan konsekuensi utama yang terlihat pada struktur mesh, sedangkan Mirror Modifier dapat dicatat sebagai faktor penyebab. Pendekatan ini digunakan untuk mengurangi risiko satu permasalahan dihitung berulang sebagai beberapa kesalahan yang berbeda.

2.5 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif pada dua tingkat. Pertama, analisis skor baseline digunakan untuk memperoleh rata-rata, skor minimum, skor maksimum, dan distribusi kategori capaian peserta didik. Analisis juga dilakukan terhadap rata-rata masing-masing aspek penilaian untuk mengidentifikasi aspek yang relatif kuat dan aspek yang membutuhkan perhatian lebih besar.

Kedua, analisis error mapping dilakukan dengan menghitung frekuensi *occurrence* pada setiap kategori Error Log. Satu *occurrence* merepresentasikan satu temuan kesalahan yang dicatat pada artefak dan tidak secara otomatis menunjukkan jumlah peserta didik yang mengalami kesalahan tersebut. Frekuensi setiap kategori kemudian dikonversikan menjadi persentase terhadap keseluruhan *occurrence* untuk mengidentifikasi pola kesalahan yang dominan.

Hasil analisis skor baseline dan *error mapping* selanjutnya diinterpretasikan secara terpadu. Skor baseline digunakan untuk menggambarkan tingkat capaian umum peserta didik, sedangkan *error mapping* digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik masalah yang lebih spesifik pada artefak. Kedua informasi tersebut menjadi dasar dalam mengidentifikasi kebutuhan terhadap feedback formatif yang spesifik, berbasis artefak, dan dapat ditindaklanjuti.

2.6 Batasan Tahap Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada baseline assessment dan pemetaan kesalahan artefak pemodelan pesawat 3D. Penelitian belum mencakup pengembangan, implementasi, maupun evaluasi AI-assisted formative feedback. Oleh karena itu, penelitian ini tidak menyimpulkan kemampuan AI dalam mendeteksi kesalahan atau menghasilkan feedback, melainkan menyediakan basis empiris berupa pola kesalahan dan kebutuhan feedback yang akan digunakan pada tahap penelitian selanjutnya.

Salah satu keterbatasan penelitian adalah assessment dilakukan oleh satu expert sehingga inter-rater agreement tidak dapat dihitung. Konsistensi penilaian diupayakan melalui penggunaan rubrik terstruktur, checklist komponen wajib, dan pedoman kategorisasi Error Log yang diterapkan secara konsisten pada seluruh artefak. Penelitian lanjutan dapat melibatkan lebih dari satu expert untuk menguji kesepakatan penilaian dan memperkuat validitas pemetaan kesalahan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL

3.1.1 Kondisi Baseline Pemodelan Pesawat 3D

Hasil expert assessment terhadap 18 artefak pemodelan menunjukkan bahwa skor baseline peserta didik berada pada rentang 59,05–82,50, dengan rata-rata 71,68. Berdasarkan kategori capaian, sebanyak 13 peserta didik (72,22%) berada pada kategori Baik, sedangkan 5 peserta didik (27,78%) berada pada kategori Cukup. Tidak terdapat peserta didik yang berada pada kategori Sangat Baik, Perlu Perbaikan, maupun Perlu Perbaikan Intensif.

Tabel 1. Distribusi Skor Baseline Peserta Didik

Indikator	Hasil
Jumlah peserta didik	18
Rata-rata	71,68
Nilai tertinggi	82,50
Nilai terendah	59,05
Sangat Baik	0 (0%)
Baik	13 (72,22%)
Cukup	5 (27,78%)
Perlu Perbaikan	0 (0%)
Perlu Perbaikan Intensif	0 (0%)

Distribusi tersebut menunjukkan bahwa pada konteks penelitian ini, capaian pemodelan peserta didik secara umum berada pada tingkat Baik. Rentang skor yang cukup lebar antara nilai terendah dan tertinggi juga menunjukkan adanya variasi kemampuan antar peserta didik. Dengan demikian, nilai rata-rata 71,68 tidak sepenuhnya menggambarkan keseragaman kualitas model, sehingga diperlukan analisis pada tingkat aspek dan jenis kesalahan untuk memperoleh gambaran yang lebih diagnostik.

3.1.2 Capaian Berdasarkan Aspek Penilaian

Analisis terhadap lima aspek penilaian menunjukkan perbedaan yang cukup jelas antar aspek. Kelengkapan Komponen memperoleh rata-rata tertinggi, yaitu 91,67, sedangkan Topology, Edge Flow & Mesh Integrity memperoleh rata-rata terendah, yaitu 58,33. Tiga aspek lainnya berada pada rata-rata Bentuk & Proporsi sebesar 75,00, Kerapian Modeling sebesar 70,56, dan Teknik Modeling & Modifier sebesar 62,89.

Tabel 2. Rata-rata Capaian Setiap Aspek Penilaian

Aspek Penilaian	Bobot	Rata-rata
Bentuk & Proporsi	25%	75,00
Kelengkapan Komponen	20%	91,67
Topology, Edge Flow & Mesh Integrity	25%	58,33
Kerapian Modeling	15%	70,56
Teknik Modeling & Modifier	15%	62,89

Nilai rata-rata pada Tabel 2 merupakan rata-rata skor masing-masing aspek pada skala 1–100 sebelum diterapkan bobot. Bobot aspek digunakan dalam perhitungan skor baseline akhir setiap peserta didik.

Temuan tersebut memperlihatkan adanya perbedaan antara kemampuan menyelesaikan komponen model dan kemampuan membangun struktur model yang baik. Rata-rata kelengkapan komponen sebesar 91,67 menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik telah mampu menghadirkan komponen utama yang dipersyaratkan. Sebaliknya, rata-rata 58,33 pada aspek Topology, Edge Flow & Mesh Integrity menunjukkan bahwa kualitas struktural model masih menjadi persoalan utama.

3.1.3 Pola dan Frekuensi Kesalahan

Error Log menghasilkan 74 occurrence kesalahan dari 18 artefak yang diperiksa. Kesalahan paling banyak berada pada kategori Mesh Integrity, yaitu 26 occurrence (35,14%), diikuti Bentuk/Proporsi sebanyak 20 *occurrence* (27,03%) dan *Topology/Edge Flow* sebanyak 16 *occurrence* (21,62%). Selanjutnya ditemukan 7 occurrence Mirror Modifier (9,46%), 4 *occurrence* Kelengkapan Komponen (5,41%), dan 1 occurrence Kerapian Mesh (1,35%). Tidak ditemukan *occurrence* pada kategori *Reference Accuracy*, *Knife/Edge Editing*, maupun Lainnya.

Tabel 3. Distribusi Error Log

Kategori Kesalahan	Occurrence	Persentase
Mesh Integrity	26	35,14%
Bentuk/Proporsi	20	27,03%
Topology/Edge Flow	16	21,62%
Mirror Modifier	7	9,46%
Kelengkapan Komponen	4	5,41%
Kerapian Mesh	1	1,35%
Reference Accuracy	0	0%
Knife/Edge Editing	0	0%
Lainnya	0	0%
Total	**74**	**100%**

Tiga kategori dengan frekuensi tertinggi, yaitu *Mesh Integrity*, Bentuk/Proporsi, dan *Topology/Edge Flow*, mencapai 62 *occurrence* atau 83,78% dari keseluruhan kesalahan. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan baseline terutama terkonsentrasi pada integritas struktur mesh, kesesuaian bentuk, dan kualitas topology, bukan tersebar secara merata pada seluruh kategori kesalahan.

3.2 PEMBAHASAN

3.2.1 Capaian Komponen Tidak Identik dengan Kualitas Struktur Model

Salah satu temuan utama penelitian adalah adanya perbedaan antara capaian kelengkapan komponen dan kualitas struktur model. Rata-rata Kelengkapan Komponen mencapai 91,67, sedangkan Topology, Edge Flow & Mesh Integrity hanya 58,33. Dengan

kata lain, peserta didik relatif mampu memenuhi tuntutan “apa yang harus dimodelkan”, tetapi belum selalu mampu memenuhi tuntutan “bagaimana komponen tersebut dibangun secara struktural”.

Temuan ini penting dalam konteks pembelajaran pemodelan 3D karena artefak yang tampak lengkap secara visual belum tentu memiliki struktur mesh yang memadai. Model dapat memiliki fuselage, wing, tail, dan engine assembly, tetapi masih mengandung permasalahan pada konektivitas mesh, edge flow, atau integritas permukaan. Dengan demikian, assessment yang hanya berorientasi pada keberadaan komponen berpotensi belum sepenuhnya merepresentasikan penguasaan pemodelan 3D, khususnya pada aspek struktural model.

Perbedaan tersebut juga memperkuat alasan penggunaan tiga instrumen secara bersamaan. Rubrik memberikan ukuran kualitas, checklist memberikan informasi mengenai ketercapaian komponen, sedangkan Error Log memberikan informasi diagnostik mengenai jenis permasalahan yang terdapat pada artefak. Kombinasi ketiganya memungkinkan kondisi baseline dipahami tidak hanya berdasarkan skor peserta didik, tetapi juga berdasarkan jenis permasalahan yang ditemukan pada artefak.

3.2.2 Mesh Integrity dan Topology Menjadi Masalah Utama

Dominasi Mesh Integrity dan Topology/Edge Flow merupakan temuan paling penting dari pemetaan kesalahan. Kedua kategori tersebut menghasilkan 42 occurrence atau 56,76% dari seluruh kesalahan. Jika digabungkan dengan kategori Bentuk/Proporsi, ketiga kategori utama mencakup 83,78% dari keseluruhan occurrence.

Temuan ini memberikan informasi yang lebih spesifik dibandingkan skor baseline rata-rata. Rata-rata 71,68 menunjukkan bahwa capaian umum peserta didik berada pada kategori Baik, tetapi Error Log memperlihatkan bahwa di balik capaian tersebut terdapat permasalahan struktural yang cukup dominan. Kondisi ini menunjukkan bahwa skor agregat saja belum cukup untuk menggambarkan kebutuhan feedback secara diagnostik. Dua peserta didik dengan skor yang relatif sama dapat membutuhkan feedback yang berbeda apabila jenis kesalahan pada artefaknya berbeda.

Dominannya Mesh Integrity juga menunjukkan bahwa feedback yang dibutuhkan tidak cukup berupa instruksi umum seperti “rapikan mesh”. Feedback yang lebih relevan perlu menghubungkan lokasi masalah, karakteristik error, dan tindakan perbaikan. Misalnya, apabila masalah berada pada integritas permukaan, peserta didik perlu memperoleh informasi mengenai bagian model yang bermasalah dan tindakan teknis yang perlu dilakukan untuk memperbaikinya. Prinsip bahwa feedback perlu memberikan informasi yang dapat digunakan peserta didik untuk menentukan langkah berikutnya sejalan dengan kajian mengenai formative feedback yang menekankan pentingnya feedback yang informatif dan dapat ditindaklanjuti (Morris et al., 2021).

3.2.3 Bentuk/Proporsi Tetap Menjadi Komponen Penting

Bentuk/Proporsi merupakan kategori error kedua tertinggi dengan 20 occurrence (27,03%), sementara rata-rata aspek Bentuk & Proporsi berada pada 75,00. Temuan ini menunjukkan bahwa persoalan visual masih cukup sering muncul meskipun secara agregat aspek tersebut memperoleh capaian yang lebih baik dibandingkan topology dan mesh integrity.

Kondisi ini menunjukkan bahwa kesalahan pemodelan tidak dapat dipandang hanya sebagai persoalan teknis mesh. Peserta didik dapat menghadapi masalah pada dua level yang berbeda: kesesuaian model terhadap bentuk objek acuan dan kualitas struktur

geometris yang digunakan untuk membentuknya. Oleh karena itu, feedback yang dikembangkan pada tahap berikutnya perlu mampu membedakan kedua jenis kebutuhan tersebut. Feedback terhadap proporsi, misalnya, membutuhkan rujukan terhadap bentuk atau dimensi visual, sedangkan feedback terhadap topology membutuhkan pemeriksaan terhadap struktur mesh.

3.2.4 Temuan Baseline sebagai Dasar Pengembangan AI-Assisted Formative Feedback

Pola kesalahan yang terkonsentrasi pada beberapa kategori memberikan dasar empiris untuk menentukan karakteristik feedback yang diperlukan pada tahap penelitian selanjutnya. Secara khusus, 62 dari 74 occurrence (83,78%) berada pada tiga kategori utama: Mesh Integrity, Bentuk/Proporsi, dan Topology/Edge Flow. Konsentrasi tersebut menunjukkan bahwa sistem feedback yang akan dikembangkan nantinya tidak seharusnya hanya menghasilkan komentar umum mengenai kualitas model, tetapi perlu mampu menghubungkan artefak → error → kategori → lokasi → rekomendasi tindakan.

Kebutuhan tersebut menjadi semakin relevan karena penelitian mengenai AI-assisted feedback menunjukkan bahwa kualitas feedback sangat dipengaruhi oleh keterkaitannya dengan artefak dan konteks tugas. Kajian sistematis terhadap AI-assisted feedback menunjukkan perkembangan penggunaan AI untuk berbagai bentuk feedback dalam pendidikan, tetapi juga menekankan pentingnya kesesuaian pedagogis dan karakteristik tugas (Ba et al., 2025). Kajian mengenai LLM-generated formative feedback juga menunjukkan bahwa hallucination, misclassification, dan feedback yang terlalu umum merupakan risiko yang perlu diperhatikan, terutama ketika sistem tidak memiliki grounding yang memadai pada pekerjaan peserta didik (Maier et al., 2026).

Dalam konteks penelitian ini, Error Log berperan sebagai representasi pengetahuan ahli mengenai kesalahan pada artefak. Representasi tersebut dapat menjadi dasar untuk merancang mekanisme feedback pada tahap berikutnya sehingga AI tidak hanya diminta memberikan komentar berdasarkan tampilan model, tetapi diarahkan menggunakan kategori error dan kriteria yang telah ditentukan melalui expert assessment. Pendekatan ini juga membedakan penelitian ini dari sekadar otomatisasi pemberian nilai. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa evaluasi otomatis model CAD dapat dilakukan dan dikembangkan untuk mendukung pembelajaran (Bojcetic et al., 2021) , termasuk sistem yang menggabungkan automated grading dan feedback pada pembelajaran 3D CAD (Yoon et al., 2025). Oleh karena itu, kontribusi tahap penelitian ini terletak pada pemetaan kesalahan artefak pembelajaran secara terstruktur sebagai dasar pengembangan feedback yang nantinya dapat di-grounding pada temuan ahli.

3.2.5 Implikasi terhadap Pembelajaran

Secara pedagogis, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian feedback pada pembelajaran pemodelan 3D perlu mempertimbangkan jenis kesalahan, bukan hanya tingkat pencapaian akhir. Peserta didik yang telah mampu menyelesaikan sebagian besar komponen model belum tentu membutuhkan feedback yang sama dengan peserta didik yang mengalami masalah bentuk atau proporsi. Pemetaan error memungkinkan feedback diarahkan pada kebutuhan spesifik peserta didik.

Temuan ini juga memberikan implikasi terhadap pengembangan sistem AI-assisted formative feedback. Sistem yang akan dikembangkan pada tahap berikutnya perlu mempertahankan prinsip bahwa AI berperan sebagai alat bantu feedback, bukan pengganti

penilaian ahli. Baseline assessment dalam penelitian ini menyediakan rujukan berbasis penilaian ahli berupa kategori kesalahan dan deskripsi masalah yang dapat digunakan pada tahap selanjutnya untuk menguji apakah AI mampu mengenali error dan menghasilkan feedback yang konsisten dengan penilaian ahli.

Dengan demikian, kontribusi penelitian ini bukan terletak pada klaim bahwa AI telah berhasil meningkatkan kemampuan pemodelan peserta didik, karena tahap tersebut belum dilakukan. Kontribusinya berada pada penyediaan peta empiris mengenai kondisi baseline dan pola kesalahan pemodelan 3D yang menunjukkan jenis permasalahan yang perlu ditangani melalui feedback formatif. Peta tersebut selanjutnya menjadi fondasi untuk tahap pengembangan dan evaluasi AI-assisted formative feedback.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi baseline pemodelan pesawat 3D pada 18 peserta berada pada kategori Baik secara umum, dengan rata-rata skor sebesar 71,68, skor terendah 59,05, dan skor tertinggi 82,50. Sebanyak 13 peserta didik (72,22%) berada pada kategori Baik dan 5 peserta didik (27,78%) berada pada kategori Cukup.

Meskipun kelengkapan komponen menunjukkan capaian yang relatif tinggi dengan rata-rata 91,67, aspek Topology, Edge Flow & Mesh Integrity memperoleh rata-rata terendah, yaitu 58,33. Hasil error mapping memperkuat temuan tersebut dengan 74 occurrence kesalahan, yang didominasi oleh Mesh Integrity (26 occurrence; 35,14%), Bentuk/Proporsi (20 occurrence; 27,03%), dan Topology/Edge Flow (16 occurrence; 21,62%). Ketiga kategori tersebut mencakup 83,78% dari seluruh kesalahan yang teridentifikasi.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan peserta didik dalam memenuhi komponen utama model belum selalu diikuti oleh kemampuan membangun struktur mesh dan kualitas geometris yang memadai. Oleh karena itu, penilaian berbasis skor agregat saja belum cukup untuk menggambarkan kebutuhan perbaikan peserta didik secara diagnostik. Pemetaan kesalahan melalui Error Log memberikan informasi yang lebih spesifik mengenai karakteristik permasalahan pada artefak dan menunjukkan kebutuhan terhadap feedback formatif yang spesifik, berbasis artefak, dan dapat ditindaklanjuti.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan basis empiris untuk pengembangan AI-assisted formative feedback pada tahap penelitian selanjutnya. Peta kesalahan yang dihasilkan dari expert assessment dapat digunakan sebagai acuan dalam merancang mekanisme feedback yang menghubungkan artefak, kategori kesalahan, lokasi permasalahan, dan rekomendasi tindakan perbaikan. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan dan menguji kemampuan AI dalam mengidentifikasi kesalahan serta menghasilkan feedback yang konsisten dengan penilaian ahli.

5. DAFTAR RUJUKAN

Ba, S., Yang, L., Yan, Z., Looi, C. K., & Gašević, D. (2025). Unraveling the mechanisms and effectiveness of AI-assisted feedback in education: A systematic literature review. *Computers and Education Open*, *9*, 100284. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100284

Bojcetic, N., Valjak, F., Zezelj, D., & Martinec, T. (2021). Automatized Evaluation of Students' CAD Models. *Education Sciences*, *11*(4), 145. https://doi.org/10.3390/educsci11040145

Eltaief, A., Ben Amor, S., Louhichi, B., Alrasheedi, N. H., & Seibi, A. (2024). Automated Assessment Tool for 3D Computer-Aided Design Models. *Applied Sciences*, *14*(11), 4578. https://doi.org/10.3390/app14114578

Morris, R., Perry, T., & Wardle, L. (2021). Formative assessment and feedback for learning in higher education: A systematic review. *Review of Education*, *9*(3). https://doi.org/10.1002/rev3.3292

Yoon, Y., Jeon, Y., Kim, J., Han, S., Kim, H., & Kwon, S. (2025). CADuBoost: Enhancing Education in Mechanical 3D CAD Modeling Through Automated Grading and Feedback System. *Computer Applications in Engineering Education*, *33*(6). https://doi.org/10.1002/cae.70096