

BAB 2

LANDASAN TEORI

Pada bagian ini dijabarkan teori-teori yang mendasari penelitian mengenai pengembangan game pembelajaran matematika berbasis web dengan pendekatan gamifikasi menggunakan *Octalysis Framework* serta penerapan mekanisme *adaptive difficulty adjustment* melalui metode *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA). Teori yang dibahas mencakup tinjauan penelitian terdahulu, konsep *game-based learning*, gamifikasi, *Octalysis Framework*, pembelajaran berbasis web, *adaptive difficulty adjustment*, *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA), pengujian fungsionalitas sistem, serta metode evaluasi menggunakan skala Likert.

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar untuk memahami perkembangan penelitian yang berkaitan dengan game pembelajaran matematika, gamifikasi, serta penerapan mekanisme adaptif dalam sistem pembelajaran digital. Selain itu, tinjauan penelitian terdahulu dilakukan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian (*research gap*) serta menentukan kontribusi yang diberikan oleh penelitian ini.

Tabel 2.1. Matriks perbandingan penelitian terdahulu

No	Penulis & Tahun	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Triantafyllou et al. (2025) [4]	Gamification in Education and Training: A Literature Review	Studi literatur sistematis mengenai penerapan gamifikasi dalam berbagai konteks pendidikan	Gamifikasi dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan partisipasi pengguna dalam proses pembelajaran

Tabel 2.1. Matriks perbandingan penelitian terdahulu (lanjutan)

No	Penulis & Tahun	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
2	Any & Rion (2025) [5]	The Impact of Gamification on Student Engagement: An International Literature Review	Studi literatur terhadap penelitian mengenai dampak gamifikasi terhadap keterlibatan siswa	Gamifikasi memberikan pengaruh positif terhadap aspek keterlibatan perilaku, emosional, dan kognitif siswa
3	Denham et al. (2025) [2]	Digital Game-Based Learning in Mathematics	Penerapan pendekatan <i>digital game-based learning</i> dalam pembelajaran matematika	Pendekatan berbasis permainan dapat meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep matematika siswa
4	Mortazavi et al. (2024) [10]	Dynamic Difficulty Adjustment in Games	Implementasi mekanisme <i>Dynamic Difficulty Adjustment</i> berdasarkan performa pemain	DDA mampu menyesuaikan tingkat kesulitan permainan secara dinamis untuk menjaga keseimbangan tantangan
5	Nisa et al. (2021) [1]	Gamified Web-Based Learning System	Pengembangan sistem pembelajaran berbasis web dengan integrasi elemen gamifikasi	Sistem berbasis web dengan gamifikasi meningkatkan interaktivitas dan aksesibilitas pembelajaran

Berdasarkan penelitian terdahulu pada Tabel 2.1, dapat diketahui bahwa penerapan gamifikasi dalam sistem pembelajaran digital telah banyak dilakukan dan terbukti mampu meningkatkan motivasi serta keterlibatan pengguna. Namun, sebagian penelitian masih berfokus pada penerapan elemen permainan sebagai pendukung proses pembelajaran tanpa mempertimbangkan mekanisme penyesuaian tingkat tantangan berdasarkan performa pengguna selama berinteraksi dengan sistem.

Selain itu, penelitian mengenai *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) telah banyak diterapkan dalam bidang permainan digital untuk menjaga keseimbangan antara kemampuan pemain dan tingkat tantangan permainan. Mekanisme ini memungkinkan sistem melakukan perubahan tingkat kesulitan berdasarkan hasil evaluasi performa pengguna sehingga pengalaman bermain dapat tetap menarik dan menantang. Meskipun demikian, penerapan DDA pada game pembelajaran matematika masih memiliki peluang untuk dikembangkan, khususnya pada platform berbasis web.

Sebagian besar penerapan DDA masih ditemukan pada permainan digital umum, sedangkan integrasi mekanisme tersebut dengan elemen gamifikasi pada game pembelajaran matematika untuk siswa sekolah dasar masih belum banyak dilakukan. Berdasarkan analisis penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa penelitian mengenai gamifikasi dalam pembelajaran lebih banyak berfokus pada peningkatan motivasi dan keterlibatan pengguna melalui penerapan elemen permainan. Sementara itu, penelitian mengenai DDA lebih banyak berfokus pada pengaturan tingkat kesulitan permainan tanpa mempertimbangkan penerapan pada konteks pembelajaran matematika.

Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi berupa pengembangan game pembelajaran matematika berbasis web yang mengintegrasikan elemen gamifikasi menggunakan *Octalysis Framework* dengan mekanisme penyesuaian tingkat kesulitan melalui metode *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA). Integrasi tersebut diharapkan mampu menciptakan pengalaman belajar berbasis permainan yang lebih menarik dengan menyediakan tingkat tantangan yang dapat berubah berdasarkan performa pengguna selama bermain.

2.2 Game-Based Learning dalam Pembelajaran Matematika

Game-based learning merupakan pendekatan pembelajaran yang memanfaatkan permainan sebagai media untuk menyampaikan materi pembelajaran. Pendekatan ini menggabungkan tujuan pendidikan dengan elemen permainan sehingga proses belajar menjadi lebih interaktif dan menarik bagi pengguna. Dalam pembelajaran matematika, penerapan *game-based learning* dapat membantu siswa memahami konsep abstrak melalui aktivitas yang lebih interaktif. Berbeda dengan metode pembelajaran konvensional yang sering berfokus pada penyampaian materi dan latihan soal secara berulang, pendekatan berbasis permainan memberikan pengalaman belajar melalui tantangan, umpan balik, serta pencapaian tertentu.

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan permainan digital dalam pembelajaran matematika dapat meningkatkan motivasi belajar serta membantu siswa memahami konsep matematika dengan lebih baik [2]. Hal ini disebabkan karena permainan mampu menciptakan lingkungan belajar yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk melakukan eksplorasi dan memperoleh umpan balik secara langsung. Dalam penelitian ini, konsep *game-based learning* diterapkan melalui pengembangan game pembelajaran matematika berbasis web yang menggabungkan elemen gamifikasi dan mekanisme penyesuaian tingkat kesulitan menggunakan *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA).

2.3 Gamifikasi dalam Pembelajaran

Gamifikasi merupakan pendekatan yang menerapkan elemen-elemen permainan ke dalam konteks non-permainan dengan tujuan meningkatkan motivasi dan keterlibatan pengguna [4]. Dalam bidang pendidikan, gamifikasi digunakan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik melalui penerapan elemen seperti poin, level, penghargaan (*reward*), tantangan, dan sistem perkembangan pengguna. Penerapan gamifikasi dalam pembelajaran tidak hanya berfokus pada pemberian penghargaan eksternal, tetapi juga bertujuan untuk meningkatkan motivasi pengguna melalui pengalaman interaktif. Elemen permainan dapat memberikan umpan balik secara langsung kepada siswa sehingga membantu mempertahankan keterlibatan selama proses pembelajaran.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan gamifikasi dalam sistem pembelajaran mampu meningkatkan keterlibatan siswa melalui aspek

perilaku, emosional, dan kognitif [5]. Selain itu, penerapan elemen permainan juga dapat mendukung terbentuknya kondisi *flow experience*, yaitu keadaan ketika pengguna merasa fokus dan terlibat secara mendalam dalam aktivitas yang dilakukan [8]. Dalam penelitian ini, elemen gamifikasi dirancang menggunakan *Octalysis Framework* sebagai dasar pemilihan mekanisme permainan yang sesuai dengan aspek motivasi pengguna.

2.4 Octalysis Framework

Dalam merancang sistem gamifikasi yang efektif, diperlukan suatu kerangka kerja yang dapat membantu menentukan elemen permainan berdasarkan aspek motivasi pengguna. Salah satu framework yang dapat digunakan adalah *Octalysis Framework*, yaitu framework gamifikasi yang dikembangkan oleh Yu-kai Chou yang berfokus pada delapan *core drive* motivasi manusia [6]. Berbeda dengan pendekatan gamifikasi yang hanya berfokus pada pemberian penghargaan eksternal seperti poin atau lencana, *Octalysis Framework* mempertimbangkan aspek motivasi intrinsik maupun ekstrinsik pengguna. Framework ini membantu perancang sistem dalam memilih elemen permainan yang mampu meningkatkan keterlibatan pengguna secara lebih menyeluruh.

Delapan *core drive* dalam *Octalysis Framework* terdiri dari:

1. *Epic Meaning and Calling*

Merupakan dorongan motivasi ketika seseorang merasa bahwa aktivitas yang dilakukan memiliki tujuan atau makna yang lebih besar. Dalam sistem pembelajaran, aspek ini dapat diterapkan melalui penyediaan tujuan belajar atau konteks permainan yang membuat siswa merasa memiliki misi tertentu.

2. *Development and Accomplishment*

Merupakan motivasi yang berasal dari keinginan seseorang untuk berkembang, meningkatkan kemampuan, serta mencapai suatu tujuan. Elemen seperti poin, level, indikator perkembangan, dan penghargaan dapat digunakan untuk memberikan rasa pencapaian kepada pengguna.

3. *Empowerment of Creativity and Feedback*

Merupakan dorongan motivasi yang muncul ketika pengguna diberikan kesempatan untuk mencoba berbagai strategi serta memperoleh umpan balik terhadap tindakan yang dilakukan. Dalam game pembelajaran, mekanisme

umpan balik dari jawaban soal dapat membantu siswa memahami hasil pembelajaran mereka.

4. *Ownership and Possession*

Merupakan motivasi yang muncul akibat rasa memiliki terhadap suatu objek atau perkembangan yang telah dicapai. Dalam sistem gamifikasi, aspek ini dapat diterapkan melalui pengumpulan poin, item virtual, atau perkembangan akun pengguna.

5. *Social Influence and Relatedness*

Merupakan dorongan motivasi yang berkaitan dengan hubungan sosial, kerja sama, kompetisi, dan pengaruh dari pengguna lain. Elemen seperti papan peringkat atau pencapaian bersama dapat digunakan untuk meningkatkan interaksi sosial.

6. *Scarcity and Impatience*

Merupakan motivasi yang muncul akibat adanya sesuatu yang terbatas atau sulit diperoleh. Mekanisme seperti tantangan khusus atau penghargaan tertentu dapat digunakan untuk meningkatkan rasa ingin mencoba.

7. *Unpredictability and Curiosity*

Merupakan motivasi yang berasal dari rasa ingin tahu terhadap sesuatu yang belum diketahui. Dalam game pembelajaran, variasi soal dan sistem tantangan dapat digunakan untuk mempertahankan minat pengguna.

8. *Loss and Avoidance*

Merupakan motivasi yang berasal dari keinginan untuk menghindari kehilangan atau konsekuensi negatif. Dalam sistem permainan, mekanisme seperti batas kesempatan atau pengurangan poin dapat digunakan untuk mendorong pengguna tetap berpartisipasi.

Dengan menggunakan *Octalysis Framework*, elemen gamifikasi dalam penelitian ini dirancang secara lebih terstruktur sehingga tidak hanya berfokus pada aspek hiburan, tetapi juga mendukung peningkatan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran matematika. Kerangka kerja ini membantu mengidentifikasi dan mengintegrasikan berbagai faktor motivasi yang dapat mendorong siswa untuk lebih aktif berpartisipasi dalam setiap aktivitas pembelajaran. Dengan demikian, penerapan elemen gamifikasi yang dirancang berdasarkan *Octalysis Framework* diharapkan mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih

menarik, bermakna, dan efektif dalam meningkatkan motivasi serta hasil belajar siswa.

2.5 Pembelajaran Berbasis Web

Sistem pembelajaran berbasis web merupakan metode penyampaian pembelajaran yang memanfaatkan teknologi web sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem pembelajaran. Platform berbasis web memberikan kemudahan akses karena dapat digunakan melalui berbagai perangkat seperti komputer, laptop, maupun perangkat mobile tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan. Keunggulan lain dari pembelajaran berbasis web adalah kemampuannya dalam menyediakan pembelajaran yang fleksibel karena pengguna dapat mengakses sistem kapan saja dan dari berbagai lokasi selama memiliki koneksi internet [9].

Selain itu, sistem berbasis web memungkinkan integrasi berbagai fitur interaktif seperti penyajian materi, evaluasi otomatis, penyimpanan progres pengguna, serta penerapan elemen gamifikasi. Dalam penelitian ini, platform berbasis web digunakan sebagai media pengembangan game pembelajaran matematika untuk siswa sekolah dasar. Pemanfaatan teknologi web memungkinkan sistem dapat digunakan secara lebih mudah serta mendukung penerapan mekanisme gamifikasi dan penyesuaian tingkat kesulitan secara dinamis.

2.6 Adaptive Difficulty Adjustment

Adaptive difficulty adjustment merupakan pendekatan yang memungkinkan suatu sistem untuk menyesuaikan tingkat kesulitan berdasarkan kemampuan dan performa pengguna selama berinteraksi dengan sistem. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara tingkat tantangan yang diberikan dengan kemampuan pengguna sehingga pengguna tetap memperoleh pengalaman yang sesuai dengan tingkat kemampuannya. Dalam permainan digital, tingkat kesulitan yang terlalu rendah dapat menyebabkan pengguna merasa bosan, sedangkan tingkat kesulitan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pengguna mengalami frustrasi. Oleh karena itu, mekanisme adaptasi tingkat kesulitan diperlukan agar sistem dapat memberikan tantangan yang optimal berdasarkan kondisi pengguna.

Pada sistem pembelajaran berbasis permainan, pendekatan ini dapat diterapkan dengan menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan hasil interaksi siswa dengan sistem. Parameter yang dapat digunakan sebagai dasar adaptasi

antara lain jumlah jawaban benar, jumlah kesalahan, waktu penyelesaian soal, serta perkembangan kemampuan pengguna. Penerapan *adaptive difficulty adjustment* pada game pembelajaran matematika memungkinkan setiap siswa memperoleh tingkat tantangan yang sesuai dengan kemampuan masing-masing. Dengan demikian, siswa yang memiliki kemampuan lebih tinggi tetap memperoleh tantangan yang sesuai, sedangkan siswa yang mengalami kesulitan dapat memperoleh soal dengan tingkat kesulitan yang lebih rendah.

2.7 Dynamic Difficulty Adjustment (DDA)

Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menerapkan pendekatan *adaptive difficulty adjustment*. DDA merupakan mekanisme yang memungkinkan sistem mengubah tingkat kesulitan secara otomatis berdasarkan performa pengguna selama bermain [10]. Dalam permainan digital, DDA digunakan untuk menjaga keseimbangan antara kemampuan pemain dan tingkat tantangan permainan.

Sistem akan melakukan analisis terhadap performa pengguna kemudian menentukan perubahan tingkat kesulitan yang sesuai. Pendekatan ini bertujuan agar pengguna tetap berada pada kondisi tantangan yang optimal tanpa merasa permainan terlalu mudah maupun terlalu sulit. Pada penelitian ini, DDA diterapkan pada game pembelajaran matematika untuk menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan performa siswa selama bermain. Mekanisme adaptasi dilakukan berdasarkan hasil evaluasi jawaban siswa.

Contoh penerapan DDA dalam sistem yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

- Apabila siswa mampu menjawab beberapa soal dengan benar secara berturut-turut, sistem akan meningkatkan tingkat kesulitan soal pada sesi berikutnya.
- Apabila siswa mengalami kesulitan dalam menjawab soal atau memperoleh banyak jawaban salah, sistem akan menurunkan tingkat kesulitan agar sesuai dengan kemampuan siswa.

Dengan penerapan DDA, sistem dapat memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih personal karena tingkat kesulitan soal tidak bersifat tetap, tetapi dapat berubah mengikuti perkembangan kemampuan siswa selama menggunakan sistem. Pada penelitian ini, metode *Dynamic Difficulty Adjustment*

(DDA) yang digunakan menerapkan pendekatan berbasis aturan (*rule-based*) untuk menentukan perubahan tingkat kesulitan soal. Pendekatan ini memungkinkan sistem melakukan adaptasi secara langsung berdasarkan indikator performa siswa yang telah ditentukan sebelumnya, seperti persentase jawaban benar, jumlah kesalahan, dan waktu penyelesaian soal, tanpa membutuhkan proses pelatihan model yang kompleks. Secara umum, perubahan tingkat kesulitan ditentukan berdasarkan hasil evaluasi performa pengguna selama berinteraksi dengan sistem, kemudian tingkat kesulitan pada sesi berikutnya disesuaikan berdasarkan kemampuan pengguna pada sesi sebelumnya.

Melalui pendekatan berbasis aturan tersebut, sistem dapat memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih personal karena tingkat kesulitan soal tidak bersifat tetap, tetapi dapat menyesuaikan dengan perkembangan kemampuan masing-masing siswa selama menggunakan sistem. Apabila pengguna menunjukkan performa yang baik, sistem dapat meningkatkan tingkat kesulitan untuk memberikan tantangan yang lebih besar. Sebaliknya, apabila pengguna mengalami kesulitan, sistem dapat menurunkan tingkat kesulitan agar proses pembelajaran tetap berada pada tingkat yang sesuai. Sebagai contoh, apabila nilai performa siswa melebihi batas tertentu, sistem akan meningkatkan tingkat kesulitan soal. Sebaliknya, apabila performa berada di bawah batas minimum, sistem akan menurunkan tingkat kesulitan agar tetap sesuai dengan kemampuan siswa. Apabila performa berada pada rentang optimal, tingkat kesulitan akan dipertahankan.

Pendekatan berbasis aturan ini sesuai diterapkan pada game pembelajaran matematika berbasis web karena memiliki kompleksitas implementasi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan adaptif berbasis model yang lebih kompleks. Aturan adaptasi dapat dirancang secara eksplisit berdasarkan indikator performa pengguna, seperti jumlah jawaban benar, tingkat kesalahan, maupun waktu penyelesaian soal, sehingga proses pengambilan keputusan oleh sistem lebih mudah dipahami dan dikendalikan. Selain itu, pendekatan ini memungkinkan sistem memberikan respons adaptif secara langsung terhadap perubahan kemampuan pengguna tanpa membutuhkan proses pelatihan data dalam jumlah besar. Dengan demikian, metode berbasis aturan dapat menjadi solusi yang efektif untuk menciptakan pengalaman belajar yang personal dan sesuai dengan kemampuan masing-masing siswa.

2.7.1 Matchmaking Rating (MMR) dalam Sistem Permainan

Matchmaking Rating (MMR) merupakan sistem penilaian numerik yang digunakan untuk merepresentasikan estimasi kemampuan pengguna berdasarkan performa selama bermain. Pada permainan kompetitif, MMR umumnya digunakan untuk mencocokkan pemain dengan tingkat kemampuan yang sebanding. Namun, dalam permainan edukasi adaptif, MMR tidak digunakan sebagai sarana *matchmaking* antarpengguna, melainkan sebagai indikator performa yang digunakan oleh mekanisme *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) untuk menyesuaikan tingkat kesulitan soal secara *real-time* [10].

Sebagai variabel utama dalam proses adaptasi, nilai MMR diperbarui berdasarkan performa pengguna setelah menyelesaikan setiap soal. Berbagai penelitian mengenai DDA menunjukkan bahwa penyesuaian tingkat kesulitan umumnya mempertimbangkan dua indikator utama, yaitu akurasi jawaban dan waktu respons [10, 11]. Akurasi mencerminkan kemampuan pengguna dalam menyelesaikan soal dengan benar, sedangkan waktu respons menggambarkan efisiensi pengguna dalam memproses dan menyelesaikan permasalahan yang diberikan.

Berdasarkan kedua indikator tersebut, penelitian ini menerapkan fungsi pembobotan linier (*bounded linear weighting*) untuk menentukan nilai perubahan MMR ketika pengguna berhasil menjawab soal dengan benar. Fungsi ini dirancang agar setiap jawaban benar tetap memberikan penghargaan minimum, sementara jawaban yang diselesaikan lebih cepat memperoleh penghargaan yang lebih besar secara proporsional terhadap sisa waktu yang dimiliki pengguna. Dengan demikian, sistem tidak hanya mengevaluasi ketepatan jawaban, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi penyelesaiannya.

Rumus 3.1 menunjukkan cara perhitungan perubahan nilai MMR ketika pengguna menjawab soal dengan benar.

$$\Delta MMR = 0.25 + (0.75 \times T) \quad (2.1)$$

Keterangan:

- ΔMMR = perubahan nilai MMR.
- T = *time ratio*, yaitu rasio sisa waktu terhadap waktu maksimum ($0 \leq T \leq 1$).

Persamaan tersebut menggunakan pendekatan interpolasi linier, sehingga nilai penambahan MMR berada pada rentang 0.25 hingga 1.00. Ketika pengguna menjawab tepat pada akhir batas waktu, sistem tetap memberikan penambahan minimum sebesar 0.25. Sebaliknya, apabila pengguna menjawab dengan sangat cepat sehingga nilai *time ratio* mendekati 1, maka penambahan MMR akan mendekati nilai maksimum sebesar 1.00. Pemilihan rentang tersebut merupakan keputusan perancangan (*design choice*) dalam penelitian ini untuk memberikan penghargaan terhadap ketepatan jawaban sekaligus mendorong efisiensi penyelesaian soal tanpa memberikan keuntungan yang terlalu besar kepada pengguna yang hanya mengandalkan kecepatan.

Apabila pengguna menjawab soal secara salah, sistem memberikan penalti tetap sebesar 1 poin MMR. Sementara itu, apabila waktu pengerjaan habis (*timeout*), sistem memberikan penalti yang lebih besar, yaitu sebesar 1.5 poin MMR. Perbedaan nilai penalti tersebut bertujuan untuk membedakan antara kesalahan akibat pemilihan jawaban yang kurang tepat dengan kegagalan menyelesaikan soal dalam batas waktu yang telah ditentukan.

Rumus 3.2 menunjukkan cara pembaruan nilai MMR setelah perubahan nilai dihitung.

$$MMR_{baru} = MMR_{lama} + \Delta MMR \quad (2.2)$$

Keterangan:

- MMR_{baru} = nilai MMR setelah pembaruan.
- MMR_{lama} = nilai MMR sebelum pembaruan.
- ΔMMR = perubahan nilai MMR yang diperoleh berdasarkan hasil evaluasi jawaban pengguna.

Pada pertarungan melawan *boss*, perubahan nilai MMR yang diperoleh pengguna dikalikan dengan faktor sebesar 1.5. Faktor pengali tersebut digunakan untuk merepresentasikan tingkat tantangan yang lebih tinggi pada pertarungan *boss*, sehingga keberhasilan menyelesaikan tantangan tersebut memberikan perubahan MMR yang lebih signifikan dibandingkan musuh biasa.

Penggunaan kombinasi antara akurasi jawaban dan waktu respons juga bertujuan untuk mengurangi pengaruh perilaku *rapid guessing*, yaitu

kecenderungan pengguna memberikan jawaban secara terburu-buru tanpa melakukan proses penalaran yang memadai. Penelitian menunjukkan bahwa analisis yang menggabungkan akurasi dan waktu respons mampu memberikan estimasi performa yang lebih representatif dibandingkan hanya menggunakan salah satu indikator secara terpisah [12].

Nilai MMR yang diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar bagi mekanisme *Dynamic Difficulty Adjustment* untuk menentukan tingkat kesulitan soal berikutnya. Dengan melakukan penyesuaian tingkat kesulitan secara berkelanjutan, sistem diharapkan mampu mempertahankan keseimbangan antara kemampuan pengguna dan tantangan yang diberikan. Kondisi tersebut mendukung terbentuknya *flow experience*, yaitu keadaan ketika pengguna merasa tertantang tanpa mengalami kebosanan maupun frustrasi [8, 3]. Dalam konteks permainan edukasi, terciptanya *flow experience* berkontribusi terhadap peningkatan motivasi belajar dan keterlibatan pengguna selama proses pembelajaran.

2.8 Pengukuran Keberhasilan Sistem

Keberhasilan penelitian ini tidak hanya diukur dari kemampuan sistem dalam menghasilkan soal dengan tingkat kesulitan yang adaptif, tetapi juga dari dampaknya terhadap pengalaman belajar pengguna. Menurut Oliveira dkk. [8], mekanisme *Dynamic Difficulty Adjustment* bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara kemampuan pemain dan tingkat tantangan sehingga pengguna dapat mempertahankan kondisi *flow*. Dalam permainan edukasi, kondisi tersebut berkaitan erat dengan peningkatan motivasi belajar, keterlibatan (*engagement*), serta kepuasan pengguna selama proses pembelajaran.

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan pada Bab 1, keberhasilan sistem pada penelitian ini diukur menggunakan dua aspek utama sebagai berikut.

1. Keberhasilan Implementasi Sistem

Aspek ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi sistem, termasuk mekanisme *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA), berjalan sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan menggunakan *Black Box Testing* untuk memverifikasi bahwa setiap fitur sistem berfungsi dengan benar, termasuk proses penyesuaian tingkat kesulitan yang berlangsung sesuai dengan perubahan nilai *Matchmaking Rating* (MMR).

2. Keberhasilan dari Perspektif Pengguna

Aspek ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang dikembangkan mampu memberikan pengalaman penggunaan yang baik sekaligus meningkatkan motivasi belajar pengguna. Evaluasi dilakukan menggunakan dua instrumen, yaitu *System Usability Scale* (SUS) untuk mengukur tingkat kegunaan (*usability*) sistem serta Model Motivasi ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*) untuk mengukur motivasi belajar pengguna setelah menggunakan sistem.

Dengan demikian, penelitian ini mengevaluasi keberhasilan sistem tidak hanya berdasarkan aspek teknis implementasi, tetapi juga berdasarkan respon pengguna sebagai tujuan utama pengembangan permainan edukasi berbasis gamifikasi dan *Dynamic Difficulty Adjustment*.

2.9 Black Box Testing

Black Box Testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada evaluasi fungsionalitas sistem tanpa memandang struktur internal, logika, atau implementasi kode program yang digunakan. Pengujian ini beroperasi dengan memberikan masukan (*input*) tertentu ke dalam sistem dan mengevaluasi keluaran (*output*) yang dihasilkan untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi dan kebutuhan yang telah ditentukan [13]. Pendekatan ini sangat efektif untuk mengidentifikasi kesalahan pada antarmuka pengguna (*user interface*), alur data, serta inisialisasi dan terminasi fungsi *website*.

Dalam praktiknya, *Black Box Testing* sering diimplementasikan melalui teknik *Functional Testing* atau *Scenario-Based Testing*. Teknik ini melibatkan pembuatan skenario penggunaan sistem yang spesifik untuk memvalidasi apakah setiap fitur beroperasi sebagaimana mestinya di bawah kondisi pengoperasian yang realistis [14]. Dengan berfokus pada perspektif pengguna akhir, *Scenario-Based Testing* membantu menjamin bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya bebas dari galat teknis, tetapi juga secara fungsional mampu memenuhi kebutuhan pengguna secara komprehensif.

Pada pengembangan *game* edukasi berbasis web, penerapan metode pengujian ini menjadi sangat krusial. *Black Box Testing* akan digunakan secara ekstensif untuk memvalidasi berbagai skenario fungsional, mulai dari proses autentikasi pengguna, perhitungan *dynamic difficulty adjustment* (DDA),

pembaruan data *leaderboard*, hingga mekanisme perhitungan skor, pembaruan progres pengguna, penerapan algoritma Dynamic Difficulty Adjustment (DDA), serta fitur utama permainan lainnya.

2.10 Metode Evaluasi dengan Skala Likert

Skala Likert merupakan metode pengukuran yang digunakan untuk mengukur sikap, persepsi, atau pendapat responden terhadap suatu pernyataan dalam bentuk kuantitatif [15]. Skala ini banyak digunakan dalam penelitian berbasis kuesioner karena mampu mengubah data kualitatif menjadi data numerik yang dapat dianalisis secara statistik. Dalam penelitian ini, skala Likert digunakan untuk mengevaluasi respon pengguna terhadap sistem pembelajaran matematika berbasis web yang dikembangkan. Responden yang terdiri dari siswa dan/atau guru akan memberikan penilaian terhadap beberapa aspek, seperti kemudahan penggunaan, tingkat ketertarikan, serta manfaat sistem dalam mendukung proses pembelajaran.

Skala Likert yang digunakan adalah skala lima poin dengan rentang penilaian sebagai berikut:

1. Sangat Setuju (SS) = 5
2. Setuju (S) = 4
3. Netral (N) = 3
4. Tidak Setuju (TS) = 2
5. Sangat Tidak Setuju (STS) = 1

Setiap jawaban responden akan dikonversikan menjadi skor numerik, kemudian diolah untuk memperoleh nilai persentase. Proses ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan penilaian responden terhadap setiap pernyataan yang diberikan dalam kuesioner. Perhitungan persentase skor dilakukan menggunakan dua rumus, yaitu untuk pernyataan positif dan pernyataan negatif (skala terbalik). Rumus untuk pernyataan positif ditunjukkan pada Persamaan 2.3, sedangkan rumus untuk pernyataan negatif ditunjukkan pada Persamaan 2.4.

Rumus 2.3 menunjukkan cara perhitungan persentase skor untuk pernyataan positif.

$$PS = \frac{(SS \times 5) + (S \times 4) + (N \times 3) + (TS \times 2) + (STS \times 1)}{5 \times \text{Jumlah Responden}} \times 100 \quad (2.3)$$

Rumus 2.4 menunjukkan cara perhitungan persentase skor untuk pernyataan negatif.

$$PS = \frac{(STS \times 5) + (TS \times 4) + (N \times 3) + (S \times 2) + (SS \times 1)}{5 \times \text{Jumlah Responden}} \times 100 \quad (2.4)$$

Keterangan:

- PS : Persentase skor
- SS : Sangat Setuju
- S : Setuju
- N : Netral
- TS : Tidak Setuju
- STS: Sangat Tidak Setuju

Setelah nilai persentase diperoleh, langkah selanjutnya adalah menginterpretasikan hasil tersebut ke dalam kategori kualitatif. Proses ini dilakukan untuk mempermudah pemahaman terhadap hasil analisis yang telah dihitung. Tabel 2.2 menunjukkan interval nilai yang digunakan untuk mengklasifikasikan persentase skor ke dalam lima kategori, mulai dari sangat tidak setuju hingga sangat setuju.

Tabel 2.2. Interval nilai dan kategori jawaban

Interval Nilai	Kategori
0% – 20%	Sangat Tidak Setuju
20% – 40%	Tidak Setuju
40% – 60%	Netral
60% – 80%	Setuju
80% – 100%	Sangat Setuju

Melalui pendekatan ini, hasil evaluasi tidak hanya memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan, tetapi juga menyajikan interpretasi kualitatif yang memberikan

pemahaman lebih mendalam terhadap pengalaman pengguna. Analisis kualitatif tersebut membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi persepsi, kepuasan, serta kemudahan penggunaan sistem dari sudut pandang pengguna. Dengan demikian, hasil evaluasi dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif sebagai dasar untuk menilai efektivitas sistem sekaligus menjadi acuan dalam pengembangan dan penyempurnaan sistem di masa mendatang.

2.11 System Usability Scale (SUS)

System Usability Scale (SUS) merupakan salah satu instrumen kuesioner evaluasi yang dirancang khusus untuk mengukur tingkat kebolehgunaan (*usability*) suatu sistem berdasarkan persepsi pengguna. Instrumen ini pertama kali dikembangkan oleh John Brooke pada pertengahan 1980-an dan dipublikasikan secara luas pada tahun 1995 sebagai metode evaluasi sistem komputer yang efisien dan praktis [16]. Walaupun pada awalnya dilabeli sebagai pendekatan yang “*quick and dirty*”, validitas dan reliabilitas SUS telah teruji dalam berbagai penelitian akademik dan industri hingga menjadikannya acuan standar dalam evaluasi antarmuka secara global [17].

2.11.1 Instrumen dan Indikator SUS

Kuesioner SUS disusun menggunakan 10 butir pernyataan yang secara sengaja dirancang bergantian antara pernyataan yang mendukung dan mengkritik sistem[16]. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya bias konsistensi ketika responden mengisi kuesioner (*acquiescence bias*). Kesepuluh butir pernyataan baku yang digunakan dalam evaluasi ini telah diadaptasi ke dalam Bahasa Indonesia berdasarkan standar validasi akademis [18]. Rincian kesepuluh pernyataan baku tersebut disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Daftar pernyataan kuesioner SUS

No	Pernyataan
1	Saya rasa saya akan menggunakan sistem ini sesering mungkin.
2	Saya merasa sistem ini tidak perlu dibuat rumit.
3	Saya rasa sistem ini mudah digunakan.

Tabel 2.3. Daftar pernyataan kuesioner SUS (Lanjutan)

No	Pernyataan
4	Saya rasa saya akan memerlukan dukungan dari teknisi untuk menggunakan sistem ini.
5	Saya merasa berbagai fungsi dalam sistem ini terintegrasi dengan baik.
6	Saya rasa ada terlalu banyak ketidakkonsistenan dalam sistem ini.
7	Saya membayangkan kebanyakan orang akan belajar menggunakan sistem ini dengan sangat cepat.
8	Saya merasa sistem ini sangat janggal/kaku saat digunakan.
9	Saya merasa sangat percaya diri saat menggunakan sistem ini.
10	Saya harus belajar banyak hal terlebih dahulu sebelum saya dapat menggunakan sistem ini.

Pernyataan dengan nomor ganjil merupakan kalimat dengan sentimen positif, sementara pernyataan bernomor genap disusun menggunakan kalimat yang menyoroti kelemahan sistem (negatif). Sebagai catatan tambahan, pada evaluasi modern, beberapa istilah bahasa Inggris asli yang dianggap usang telah disesuaikan agar lebih mudah dipahami oleh responden [17]. Dalam proses pengumpulan data, setiap pernyataan dievaluasi menggunakan skala Likert lima tingkat.

Responden diinstruksikan untuk memilih salah satu opsi yang paling mencerminkan pengalaman pengguna, dengan pedoman pembobotan sebagai berikut [17]:

- 1 = Sangat Tidak Setuju
- 2 = Tidak Setuju
- 3 = Netral / Ragu-ragu
- 4 = Setuju
- 5 = Sangat Setuju

2.11.2 Mekanisme Kalkulasi Skor SUS

Nilai mentah yang diperoleh dari skala Likert responden tidak dapat langsung diinterpretasikan sebagai hasil akhir. Nilai-nilai tersebut harus melalui proses normalisasi perhitungan untuk menghasilkan skor komposit pada rentang 0 hingga 100 sehingga hasil evaluasi dapat dibandingkan secara lebih objektif dan konsisten. Proses normalisasi ini memungkinkan interpretasi hasil yang lebih mudah serta memberikan dasar yang lebih akurat dalam menentukan tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem berdasarkan standar penilaian *System Usability Scale* (SUS).

Tahapan konversi skor dilakukan dengan ketentuan baku sebagai berikut [16]:

1. Pada pernyataan bernomor ganjil, kontribusi skor dihitung dengan cara mengurangkan angka yang dipilih responden dengan 1 (Nilai – 1).
2. Pada pernyataan bernomor genap, kontribusi skor dihitung dengan cara mengurangkan angka 5 dengan nilai yang dipilih responden (5 – Nilai).
3. Total dari seluruh sepuluh kontribusi skor tersebut selanjutnya dijumlahkan lalu dikalikan dengan konstanta 2,5.

Rumus matematika dari keseluruhan proses kalkulasi tersebut dapat dijabarkan pada Persamaan (2.3) [16]. Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung nilai akhir *System Usability Scale* (SUS) berdasarkan hasil kuesioner yang telah diberikan kepada pengguna. Perhitungan dilakukan dengan melakukan penyesuaian skor pada pertanyaan bernomor ganjil dan genap, kemudian menjumlahkan seluruh nilai yang diperoleh. Hasil akhir perhitungan dikalikan dengan faktor 2,5 untuk menghasilkan skor SUS dengan rentang nilai 0 hingga 100.

$$SUS = 2.5 \times (\sum (\text{Skor Ganjil} - 1) + \sum (5 - \text{Skor Genap})) \quad (2.5)$$

2.11.3 Interpretasi dan Penilaian Hasil SUS

Meskipun hasil perhitungan SUS berwujud angka 0 hingga 100, nilai ini tidak merepresentasikan sebuah persentase. Untuk memahami kelayakan dari skor

yang didapat, hasil akhir tersebut harus dipetakan menggunakan panduan distribusi norma industri, salah satunya melalui *Sauro-Lewis Curved Grading Scale (CGS)* [17]. Klasifikasi peringkat nilai berdasarkan standar tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Pemetaan peringkat skor SUS

Rentang Skor SUS	Peringkat (Grade)	Persentil Kelayakan
84.1 – 100	A+	96 – 100
80.8 – 84.0	A	90 – 95
78.9 – 80.7	A-	85 – 89
77.2 – 78.8	B+	80 – 84
74.1 – 77.1	B	70 – 79
72.6 – 74.0	B-	65 – 69
62.7 – 72.5	C	15 – 64
0.0 – 51.6	F	0 – 14

Berdasarkan tolok ukur pengujian perangkat lunak secara global, nilai ambang batas (*baseline*) rata-rata untuk instrumen SUS berada di angka 68 (mendapat peringkat C) [17]. Oleh sebab itu, sistem yang memperoleh skor di atas 68 secara umum sudah dapat dikategorikan layak digunakan (*acceptable*). Namun, untuk mencapai predikat sistem dengan pengalaman pengguna yang luar biasa (*excellent*), nilai SUS yang ditargetkan umumnya harus menembus angka 80 atau lebih [17].

2.12 ARCS Model of Motivational Design

ARCS Model of Motivational Design merupakan suatu pendekatan desain instruksional yang pada awalnya dikembangkan oleh John M. Keller. Model ini dirancang khusus untuk memahami, merancang, dan mengevaluasi elemen-elemen yang dapat merangsang dan mempertahankan motivasi belajar siswa, dan telah terbukti sangat efektif digunakan dalam penelitian gamifikasi modern [19]. Dalam pengembangan media pembelajaran interaktif seperti *game* edukasi, penerapan elemen gamifikasi (*Octalysis*) dinilai belum cukup apabila tidak dievaluasi berdasarkan dampaknya terhadap motivasi belajar. Oleh karena itu, model ARCS

sangat tepat digunakan sebagai pelengkap pengukuran *usability* untuk mengevaluasi keberhasilan sistem dari sisi motivasi. Model ARCS terdiri dari empat dimensi utama, yaitu:

1. *Attention* (Perhatian)

Dimensi ini mengukur sejauh mana sistem pembelajaran mampu menarik dan mempertahankan perhatian siswa. Dalam konteks *game* pembelajaran, hal ini dapat dicapai melalui elemen visual yang menarik, variasi soal, serta elemen kejutan yang menjaga rasa ingin tahu siswa selama berinteraksi dengan sistem.

2. *Relevance* (Relevansi)

Dimensi ini berfokus pada persepsi siswa mengenai seberapa penting dan bermanfaat materi yang dipelajari terhadap tujuan atau kehidupan nyata mereka. Relevansi dibangun dengan menghubungkan konsep matematika dasar ke dalam skenario permainan yang bermakna bagi siswa.

3. *Confidence* (Kepercayaan Diri)

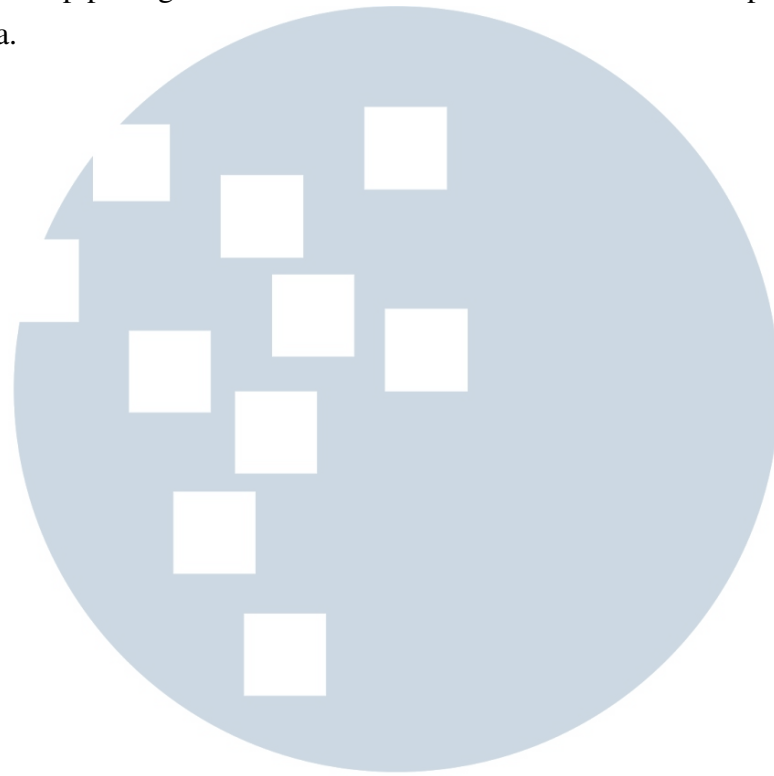
Dimensi ini mengevaluasi keyakinan siswa terhadap kemampuan mereka untuk berhasil menyelesaikan tantangan yang diberikan. Implementasi *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) berperan sangat krusial pada dimensi ini dengan memastikan tingkat kesulitan soal disesuaikan dengan kemampuan pemain, agar siswa tidak merasa terlalu mudah (bosan) atau terlalu sulit (frustrasi), sehingga berhasil membangun rasa kompeten.

4. *Satisfaction* (Kepuasan)

Dimensi ini mengukur kepuasan intrinsik maupun ekstrinsik siswa setelah berhasil mencapai suatu tujuan pembelajaran. Kepuasan ini diwujudkan melalui sistem gamifikasi dan penghargaan seperti poin, koin virtual, pembelian kostum, lencana, dan pencapaian.

Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengukur aspek motivasi belajar siswa secara objektif melalui instrumen yang telah disusun berdasarkan indikator-indikator motivasi yang relevan. Selain itu, pendekatan ini juga digunakan untuk mengevaluasi apakah integrasi elemen gamifikasi berbasis *Octalysis Framework* serta mekanisme *Adaptive Difficulty Adjustment* melalui *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) mampu meningkatkan kualitas pengalaman belajar siswa. Dengan demikian, hasil pengukuran diharapkan dapat memberikan

gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh penerapan kedua pendekatan tersebut terhadap peningkatan motivasi dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran matematika.



UMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA