

Penerapan Model Markov Sebagai Alat Konseptual Untuk Meningkatkan Efektivitas Pembelajaran

Riski Safitri¹, Novela Aulia Zain²

Manajemen Pendidikan Islam, Universitas Islam Indragiri, Indonesia.

riskisafitri154@gmail.com¹, novelaauliazain@gmail.com²

Abstract

This study aims to apply the Markov Model as a conceptual tool to improve learning effectiveness. The Markov Model is considered relevant because it can illustrate sequential changes in learning states, offering a dynamic perspective on students' learning development. This approach not only highlights transitions between levels of mastery but also helps teachers understand patterns that emerge during the learning process. This research employs a literature review method by analyzing various scholarly sources related to the Markov Model, learning effectiveness, and learning dynamics. The findings indicate that the Markov framework can serve as a theoretical foundation for designing learning strategies that are more measurable and responsive to students' needs. Therefore, the application of the Markov Model has strong potential to help teachers anticipate changes in students' abilities and enhance overall learning effectiveness.

Kata Kunci:

Model Markov
Efektivitas pembelajaran
Transisi keadaan
Pembelajaran dinamis
Pendekatan konseptual

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan Model Markov sebagai alat konseptual dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran. Model Markov dianggap relevan karena mampu menggambarkan perubahan keadaan pembelajaran secara berurutan, sehingga memberikan perspektif dinamis terhadap perkembangan belajar siswa. Pendekatan ini tidak hanya menyoroti transisi antar tingkat penguasaan, tetapi juga membantu guru memahami pola perubahan yang terjadi selama proses pembelajaran. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan menganalisis berbagai sumber ilmiah terkait Model Markov, efektivitas pembelajaran, dan dinamika proses belajar. Hasil kajian menunjukkan bahwa kerangka Markov dapat menjadi dasar pemikiran untuk merancang strategi pembelajaran yang lebih terukur dan responsif terhadap kebutuhan siswa. Dengan demikian, penerapan Model Markov memiliki potensi untuk membantu guru mengantisipasi perubahan kemampuan siswa dan meningkatkan efektivitas pembelajaran secara keseluruhan.

Corresponding Author:

Journal homepage: <https://ejournal.unisi.ac.id/index.php/albahts/index>

Riski Safitri
Fakultas Ilmu Agama Islam
Manajemen Pendidikan Islam
Universitas Islam Indragiri
Email: riskisafitri@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Efektivitas proses belajar sering dijadikan tolak ukur penting untuk menilai keberhasilan pendidikan di sekolah. Peran guru pada konteks ini tidak hanya sebatas menyampaikan materi pelajaran, tetapi juga membaca bagaimana kemampuan siswa berubah dari waktu ke waktu. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa proses belajar bersifat dinamis, bergerak mengikuti berbagai faktor seperti strategi mengajar, motivasi internal siswa, kondisi kelas, dan kualitas interaksi antara guru serta peserta didik. Akan tetapi, dalam praktik sehari-hari, banyak guru belum memiliki kerangka analisis yang terstruktur untuk memahami perubahan kemampuan tersebut. Akibatnya, keputusan pembelajaran kerap diambil berdasarkan intuisi dan tidak didukung oleh data atau konsep yang tertata rapi. Situasi ini menegaskan perlunya sebuah pendekatan konseptual yang mampu membantu guru memetakan perkembangan belajar secara lebih sistematis dan terarah.[1]

Model Markov, atau yang sering disebut sebagai model transisi keadaan, memberikan sudut pandang alternatif dalam memahami proses belajar sebagai rangkaian pergeseran kemampuan yang saling berkaitan. Model ini umumnya dipakai untuk menggambarkan perpindahan dari satu kondisi ke kondisi berikutnya secara berurutan. Dalam konteks pendidikan, gagasan ini relevan untuk menjelaskan bagaimana siswa bergerak dari pemahaman rendah ke sedang, maupun dari sedang ke tinggi. Walaupun secara tradisional Markov digunakan dalam studi kuantitatif yang memerlukan perhitungan probabilistik, penelitian ini menempatkannya sebagai alat konseptual yang dapat membantu guru membaca pola perubahan tanpa harus melibatkan operasi matematis yang rumit. Dengan cara ini, Model Markov dapat mendukung guru dalam merancang, menjalankan, dan mengevaluasi pembelajaran secara lebih terstruktur.

Dalam satu dekade terakhir, beragam penelitian mulai memanfaatkan Markov chain untuk menilai perkembangan belajar secara lebih terukur. Studi Yekeen, Yakubu, dan Muhammad¹ (2024) menunjukkan bahwa model Markov dapat memprediksi perubahan performa akademik mahasiswa dari satu semester ke semester berikutnya. Hal serupa terlihat dalam penelitian Brezavšček, Bach, dan Baggia² (2017) yang menggunakan *absorbing Markov chain* untuk menganalisis perjalanan akademik mahasiswa hingga mencapai kelulusan. Di Indonesia, penelitian oleh Mardhiyah, Maiyastri, dan Devianto³ (2015) membuktikan bahwa model Markov dapat digunakan untuk memperkirakan indeks prestasi mahasiswa berdasarkan pola nilai antarsemester. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa *Markov chain* mampu menggambarkan pergeseran kemampuan secara sistematis dan berurutan.[2]

Meskipun begitu, terdapat celah penting yang belum banyak dijelaskan oleh penelitian sebelumnya. Mayoritas studi masih berfokus pada penerapan Markov dalam bentuk matematis dan berbasis data numerik, sementara pemanfaatannya sebagai kerangka konseptual dalam kegiatan belajar mengajar masih jarang dibahas. Sangat sedikit kajian yang mengupas bagaimana guru dapat menggunakan konsep transisi keadaan untuk memahami dinamika belajar secara kualitatif, memperkirakan kemungkinan pergeseran penguasaan materi, serta merancang strategi intervensi yang lebih responsif. Inilah ruang kosong yang ingin dijawab oleh penelitian ini.

Kebaruan penelitian ini terletak pada upaya mengangkat Model Markov sebagai pendekatan konseptual yang membantu guru memahami proses belajar sebagai sistem yang bergerak dan terus berubah. Dengan mengenali potensi transisi antar tingkat kemampuan, guru dapat mengidentifikasi hambatan belajar sejak dini, menyesuaikan strategi pengajaran, dan memilih intervensi yang paling sesuai. Pendekatan ini tidak hanya menekankan pada capaian akhir, tetapi juga memberikan perhatian pada perjalanan belajar yang dialami siswa dari tahap ke tahap.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan menerapkan Model Markov sebagai kerangka konseptual untuk memahami perubahan tingkat kemampuan siswa dan meningkatkan efektivitas pembelajaran. Unit analisis penelitian ini adalah proses transisi kemampuan siswa dalam konteks kelas. Artikel ini menyajikan pembahasan mengenai teori dasar, literatur terbaru, konteks penerapan konseptual, dan implikasinya terhadap praktik pembelajaran.

Selain itu, tantangan pembelajaran masa kini menuntut guru untuk memiliki kemampuan menganalisis perubahan belajar secara cepat dan akurat. Kurikulum yang terus diperbarui, tuntutan capaian kompetensi, serta keberagaman kemampuan siswa di dalam kelas memerlukan pendekatan yang memungkinkan guru mengidentifikasi pola perkembangan belajar tanpa harus mengandalkan prosedur evaluasi yang rumit. Dalam konteks inilah model transisi seperti Model Markov menawarkan potensi besar, karena menyediakan kerangka untuk membaca kecenderungan perubahan secara kontinu dari waktu ke waktu. Dengan memanfaatkan kerangka berpikir transisi keadaan, guru dapat mengamati apakah siswa bergerak ke arah penguasaan yang lebih baik atau justru stagnan, sehingga keputusan pembelajaran dapat dibuat lebih cepat, tepat, dan berbasis data konseptual. Hal ini sejalan dengan arah pengembangan pembelajaran modern yang menekankan pada responsivitas dan adaptivitas strategi mengajar terhadap perubahan kondisi siswa.

Selain memberikan gambaran perkembangan belajar, pendekatan konseptual berbasis Model Markov juga dapat memperkuat proses refleksi guru dalam mengevaluasi efektivitas metode pembelajaran yang digunakan. Dengan melihat setiap kegiatan pembelajaran sebagai bagian dari rangkaian keadaan yang saling memengaruhi, guru dapat mengidentifikasi titik-titik kritis yang menyebabkan peningkatan atau penurunan penguasaan materi siswa. Pendekatan ini membantu guru memahami bahwa efektivitas pembelajaran bukan semata-mata ditentukan oleh metode yang diterapkan, tetapi oleh kemampuan untuk membaca pola transisi yang terjadi setelah metode tersebut diberikan. Melalui pemahaman ini, guru dapat mengembangkan intervensi yang lebih terarah, terutama pada siswa yang berada dalam risiko stagnasi atau penurunan kemampuan. Dengan demikian, penggunaan Model Markov secara konseptual mendukung terciptanya pembelajaran yang lebih adaptif, terukur, dan berorientasi pada perkembangan siswa secara berkelanjutan.

Dengan semakin kompleksnya dinamika pembelajaran, pendekatan konseptual seperti Model Markov menjadi semakin relevan untuk menjembatani kebutuhan guru dalam memahami perkembangan siswa secara lebih komprehensif. Pendekatan ini memberikan gambaran bahwa proses belajar tidak berlangsung secara acak, tetapi mengikuti pola tertentu yang dapat diidentifikasi dan diprediksi. Pemanfaatan konsep transisi keadaan juga selaras dengan arah penelitian pendidikan berbasis data yang menekankan pentingnya pemantauan perkembangan belajar secara berkelanjutan (Slavin, 2018; Wibisono, 2020). Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa analisis berbasis transisi dapat meningkatkan kualitas perencanaan pembelajaran karena membantu guru menilai efektivitas intervensi pada setiap tahap perkembangan siswa (Arifin & Huda, 2019). Oleh karena itu, penelitian ini berupaya memberikan kontribusi teoretis dengan menempatkan Model Markov sebagai kerangka konseptual yang dapat mendukung guru dalam merancang proses pembelajaran yang lebih adaptif dan terukur, sekaligus memperkuat landasan ilmiah dalam memahami dinamika belajar di kelas.[3]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis studi literatur (*library research*). Jenis penelitian ini dipilih karena tujuan utama kajian bukan untuk mengolah data empiris atau melakukan perhitungan probabilistik sebagaimana penggunaan Model Markov pada analisis kuantitatif, tetapi untuk menggali konsep, menafsirkan teori, dan menyusun kerangka pemahaman baru mengenai bagaimana Model Markov dapat dimanfaatkan dalam menganalisis efektivitas pembelajaran. Pendekatan ini dianggap relevan karena studi literatur memungkinkan peneliti menelusuri berbagai teori, model, dan temuan penelitian sehingga menghasilkan pemahaman yang menyeluruh terkait dinamika transisi kemampuan siswa. Landasan akademik penelitian teoretis telah lama mengakui studi literatur sebagai metode yang valid untuk mengembangkan perspektif konseptual baru, terutama ketika fokus penelitian berada pada penguatan teori. Reliabilitas pendekatan kualitatif berbasis literatur terjaga melalui proses penelusuran sumber ilmiah yang teratur, terarah, dan dilakukan dengan kriteria yang jelas sejak tahap awal.

Sumber data penelitian mencakup berbagai jenis dokumen ilmiah, seperti buku referensi, artikel jurnal nasional dan internasional, laporan penelitian terdahulu, serta dokumen kebijakan pendidikan yang berkaitan dengan pengembangan pembelajaran dan analisis proses belajar. Penelusuran sumber dilakukan melalui database akademik seperti Google Scholar, SINTA, DOAJ, ResearchGate, dan portal jurnal perguruan tinggi. Kata kunci yang digunakan meliputi *Markov Model*, *learning effectiveness*, *state transitions*, *conceptual framework*, *learning process*, dan *learning dynamics* untuk memastikan bahwa literatur yang diperoleh selaras dengan fokus penelitian. Peneliti menetapkan kriteria inklusi berupa publikasi yang terbit dalam sepuluh tahun terakhir, relevan dengan konteks pendidikan, memiliki kredibilitas akademik yang terverifikasi, serta

mengandung pembahasan mengenai pola transisi atau konsep terkait efektivitas pembelajaran. Literatur yang terkumpul kemudian diseleksi kembali untuk memastikan konsistensi dan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

Dalam penelitian kualitatif, kehadiran peneliti merupakan instrumen utama yang menentukan arah dan kualitas analisis. Peneliti terlibat langsung dalam menyeleksi sumber, membaca secara kritis, mencatat gagasan penting, dan menafsirkan hubungan antarkonsep. Tahap ini melibatkan proses pembacaan mendalam terhadap teori transisi keadaan, pembelajaran berbasis perkembangan bertahap, dan pemanfaatan kerangka konseptual dalam pendidikan. Untuk menjaga keabsahan hasil analisis, penelitian ini menerapkan triangulasi sumber, yaitu membandingkan temuan dari berbagai literatur yang berasal dari perspektif berbeda. Triangulasi membantu memastikan bahwa interpretasi tidak bias pada satu penulis atau satu pendekatan, melainkan merupakan hasil sintesis dari pandangan-pandangan ilmiah yang saling melengkapi.

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahap sistematis. Tahap awal mencakup identifikasi isu inti yang terkait dengan Model Markov, efektivitas pembelajaran, serta dinamika perubahan kemampuan siswa. Tahap berikutnya berupa pengumpulan dan pengarsipan literatur sesuai kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Setelah itu, literatur dikelompokkan menjadi beberapa kategori tematik seperti teori transisi keadaan, pola perkembangan belajar, model konseptual dalam pendidikan, dan penerapan analisis model probabilistik dalam pembelajaran. Setiap kategori dianalisis untuk menemukan kesamaan pola, perbedaan temuan, serta potensi hubungan antar gagasan. Analisis ini kemudian digunakan untuk membangun pemahaman baru mengenai bagaimana Model Markov dapat diposisikan sebagai kerangka konseptual yang mendukung guru dalam membaca dinamika pembelajaran. Tahap terakhir berupa penyusunan interpretasi teoretis yang memuat pemaknaan menyeluruh mengenai posisi Model Markov dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis isi (*content analysis*). Teknik ini memberikan ruang bagi peneliti untuk mengidentifikasi makna yang terkandung dalam teks, menemukan tema-tema utama, menganalisis hubungan antar konsep, serta menyusun sintesis yang mewakili keseluruhan temuan. Analisis dilakukan secara induktif, dimulai dari pengumpulan data teoretis yang kemudian diolah untuk membangun konsep dan pemahaman yang lebih luas. Unit analisis dalam penelitian ini berfokus pada konsep transisi keadaan dalam proses belajar, terutama bagaimana siswa bergerak dari satu tingkat penguasaan menuju tingkat berikutnya. Hasil analisis diharapkan mampu menunjukkan bagaimana Model Markov dapat menjadi landasan konseptual bagi guru untuk merancang pembelajaran yang lebih adaptif, menyeluruh, dan sensitif terhadap perubahan yang terjadi pada siswa selama proses pembelajaran berlangsung.[4]

3. PEMBAHASAN

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa perkembangan kemampuan siswa tidak berlangsung secara acak, tetapi bergerak mengikuti pola tertentu yang mirip dengan mekanisme transisi keadaan. Berbagai penelitian melaporkan bahwa proses belajar dapat dipahami sebagai rangkaian perpindahan tingkat penguasaan, mulai dari tahap rendah menuju sedang hingga tinggi, dengan kemungkinan terjadinya kemunduran pada situasi tertentu (Smith & Lee, 2022). Pola berpindahnya kemampuan ini menjawab rumusan masalah pertama dalam penelitian ini, yaitu bagaimana dinamika kemampuan siswa dapat dipahami melalui pendekatan yang bersifat konseptual. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, Model Markov mampu menyediakan kerangka analitis yang membantu guru melihat proses belajar sebagai perjalanan yang bergerak secara bertahap, bukan sebagai capaian akhir yang bersifat statis. Perspektif ini memperkuat pemahaman bahwa pembelajaran merupakan proses progresif yang membutuhkan pengamatan berkelanjutan terhadap perubahan yang terjadi pada siswa.

Lebih jauh, hasil penelaahan terhadap berbagai penelitian nasional dan internasional memperlihatkan bahwa pemanfaatan Model Markov di bidang pendidikan selama ini masih dominan digunakan dalam konteks analisis kuantitatif. Sebagian besar studi menekankan pada penggunaan model tersebut untuk memprediksi kelulusan, pergerakan indeks prestasi, atau perkembangan nilai akademik mahasiswa dari waktu ke waktu (Yekeen et al., 2024; Brezavšček et al., 2017). Namun, setelah dilakukan sintesis mendalam terhadap berbagai literatur, terlihat bahwa prinsip inti Model Markov yang menggambarkan perpindahan dari satu keadaan ke keadaan lain sebenarnya dapat diterapkan dalam konteks konseptual tanpa harus bergantung pada perhitungan matematis yang rumit. Temuan ini muncul dari proses membandingkan berbagai penelitian sebelumnya, yang menunjukkan bahwa pendekatan Markov memiliki potensi kuat untuk digunakan sebagai alat bantu guru dalam memahami dinamika perkembangan belajar sehari-hari. Oleh karena itu, penerapan konsep transisi keadaan

pada ranah pedagogis dapat dianggap relevan dan layak dikembangkan lebih lanjut sebagai kerangka pendukung pembelajaran yang lebih adaptif dan terstruktur.[5]

Interpretasi terhadap berbagai temuan literatur menunjukkan bahwa proses pembelajaran dapat dipahami sebagai sebuah sistem yang bergerak dan terus berubah. Ketika seorang siswa berada pada tingkat penguasaan tertentu, misalnya pada tahap pemahaman dasar, terdapat kemungkinan tertentu bagi siswa tersebut untuk meningkat ke tingkat pemahaman yang lebih tinggi apabila diberikan intervensi yang sesuai. Pemahaman seperti ini sejalan dengan pandangan konstruktivistik yang menyebutkan bahwa pengetahuan tidak diperoleh secara instan, melainkan dibangun secara bertahap melalui keterlibatan aktif dalam proses belajar (Slavin, 2018). Dengan menggabungkan prinsip transisi dalam Model Markov dengan konsep konstruktivistik, muncul perspektif baru bahwa perkembangan belajar dapat diamati melalui perubahan keadaan yang dialami siswa, bukan hanya melalui penilaian hasil akhir seperti skor tes atau nilai ujian.

Berbeda dari sejumlah penelitian yang menggunakan Model Markov terutama untuk keperluan analisis matematis, pendekatan konseptual dalam kajian ini menawarkan pemaknaan yang lebih luas terhadap model tersebut. Penelitian-penelitian sebelumnya banyak menitikberatkan pada penggunaan Markov untuk memprediksi hasil belajar secara numerik, sedangkan kajian ini menyoroti potensi Markov sebagai alat refleksi bagi guru dalam merancang pembelajaran yang lebih adaptif. Sebagai contoh, penelitian Zhang et al. (2020) memanfaatkan analisis transisi untuk mengamati performa siswa dalam jangka panjang. Dalam kajian ini, logika transisi yang sama ditunjukkan dapat diadaptasi ke konteks kualitatif guna membantu guru menyusun strategi pengajaran yang lebih responsif terhadap kebutuhan siswa. Perbandingan tersebut menegaskan bahwa penelitian ini tidak hanya mengulang temuan sebelumnya, tetapi menawarkan posisi baru mengenai bagaimana Model Markov dapat digunakan secara lebih fleksibel dalam dunia pendidikan.[6]

Kontribusi utama kajian ini adalah menawarkan kerangka konseptual baru yang disebut sebagai "Pembelajaran Berbasis Transisi Keadaan," yaitu gagasan bahwa perubahan kemampuan dapat dianalisis melalui perpindahan antar state yang memiliki pola tertentu. Kerangka ini memodifikasi penggunaan Model Markov dari pendekatan matematis menjadi pendekatan pedagogis. Konsep ini dapat memperkuat teori evaluasi formatif dan asesmen berkelanjutan, karena membantu guru membaca proses belajar dengan lebih detail daripada sekadar melihat hasil akhir.

Temuan dari berbagai sumber literatur menunjukkan bahwa penggunaan Model Markov sebagai kerangka konseptual selaras dengan perkembangan teori belajar kontemporer yang memberi penekanan pada proses pemantauan pembelajaran secara terus-menerus. Salah satu konsep yang sejalan adalah *learning progression* yang diperkenalkan oleh Pellegrino dan Hilton (2012). Konsep ini menjelaskan bahwa pemahaman siswa berkembang mengikuti urutan tahapan tertentu yang dapat diamati dari waktu ke waktu. Ketika gagasan ini dihubungkan dengan Model Markov, tampak bahwa perubahan antar-tahap tersebut dapat direpresentasikan sebagai perpindahan antar-keadaan yang memiliki kecenderungan atau peluang tertentu. Dengan demikian, kajian ini tidak hanya konsisten dengan teori belajar yang telah mapan, tetapi turut memperkuat pandangan bahwa pembelajaran merupakan proses yang bergerak secara dinamis dan memerlukan alat konseptual untuk menafsirkan perubahan yang muncul sepanjang proses tersebut (Gonzalez & Patel, 2021). Integrasi antara konsep transisi keadaan dan teori belajar modern ini menunjukkan bahwa penerapan Model Markov dalam konteks pendidikan bukan sebatas adaptasi teknis, melainkan memberikan sumbangan teoretis yang relevan terhadap perkembangan kajian pembelajaran.

Hasil analisis juga memperlihatkan bahwa memandang pembelajaran sebagai rangkaian perpindahan keadaan memiliki implikasi praktis yang penting bagi perancangan strategi pengajaran. Dengan memahami bahwa kemampuan siswa tidak bersifat statis, tetapi bergerak melalui tahapan yang dapat diidentifikasi, proses asesmen memperoleh peran baru sebagai alat untuk memantau perkembangan siswa secara berkelanjutan. Model Markov menyediakan struktur yang membantu guru menafsirkan pola perubahan tersebut, misalnya dengan mengidentifikasi siswa yang berpotensi mengalami stagnasi atau penurunan pemahaman. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Zhang et al. (2020) yang menegaskan bahwa pemantauan berdasarkan transisi dapat membantu guru melakukan intervensi lebih dini guna mencegah kegagalan belajar. Dalam konteks ini, kajian ini memberikan kontribusi signifikan dengan menunjukkan bahwa prinsip probabilitas dalam Model Markov dapat diterapkan dalam bentuk kerangka pedagogis yang praktis dan sesuai dengan kebutuhan kelas yang memiliki tingkat kemampuan beragam.

Berdasarkan hasil komparasi literatur, tampak bahwa penelitian sebelumnya yang menggunakan Model Markov sebagian besar berfokus pada analisis kuantitatif, khususnya prediksi nilai, kelulusan, atau

perkembangan akademik (Yekeen et al., 2024; Brezavšček et al., 2017). Meskipun pendekatan tersebut menghasilkan gambaran penting mengenai kemungkinan perpindahan akademik, hasilnya masih terbatas dalam memberikan panduan aplikatif bagi guru untuk memahami dinamika pembelajaran di kelas. Kajian ini menawarkan sudut pandang alternatif dengan mengalihkan fokus dari analisis probabilistik menuju pendekatan konseptual yang lebih mudah diterapkan dalam praktik pembelajaran sehari-hari. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkaya kontribusi penelitian terdahulu, tetapi juga mengisi ruang kosong antara analisis numerik dan kebutuhan pedagogis yang bersifat praktis. Perbandingan tersebut menegaskan relevansi kajian ini karena memberikan perspektif yang lebih aplikatif tanpa menghilangkan karakter dasar Model Markov sebagai kerangka yang menggambarkan perpindahan antar-keadaan.[7]

Salah satu kontribusi teoretis yang dihasilkan dari kajian ini adalah munculnya konsep “Pembelajaran Berbasis Transisi Keadaan”, yaitu pendekatan yang memandang perkembangan kemampuan siswa sebagai rangkaian keadaan yang saling berhubungan. Perspektif ini memberikan revisi terhadap model evaluasi pembelajaran tradisional yang selama ini lebih menitikberatkan pada capaian akhir. Dengan memanfaatkan pola berpikir Model Markov, guru dapat menelaah perkembangan siswa secara lebih mendalam, misalnya dengan mengidentifikasi momen-momen penting yang menyebabkan peningkatan atau penurunan penguasaan materi. Temuan Wibisono (2018) turut memperkuat hal tersebut dengan menunjukkan bahwa perkembangan belajar siswa memiliki pola yang dapat dilacak apabila dilakukan pemantauan secara terus-menerus. Oleh karena itu, kajian ini tidak hanya menguatkan teori belajar yang sudah berkembang sebelumnya, tetapi juga menawarkan perluasan teoretis yang dapat digunakan sebagai pijakan untuk penelitian empiris pada tahap berikutnya.

Temuan penelitian ini juga menunjukkan bahwa pendekatan konseptual berbasis Model Markov memiliki peluang besar untuk terus dikembangkan dalam bidang pendidikan. Namun, karena penelitian ini merupakan studi literatur, hasil yang diperoleh masih berada pada tingkat konseptual dan memerlukan uji empiris untuk melihat bagaimana keefektifannya dalam praktik pembelajaran yang sesungguhnya. Penelitian lanjutan dapat menggunakan pendekatan *mixed methods* untuk menilai bagaimana guru menerapkan kerangka transisi dalam proses mengajar sehari-hari. Selain itu, penelitian *longitudinal* diperlukan untuk melihat bagaimana pola perpindahan kemampuan siswa berkembang dalam rentang waktu yang lebih panjang (Oliveira et al., 2016). Meski demikian, kontribusi teoretis kajian ini tetap berarti karena memberikan kerangka pemikiran baru yang dapat membantu guru memahami dinamika belajar dengan lebih mendalam.

Hasil analisis literatur juga mengindikasikan bahwa kerangka transisi keadaan dapat menjadi pelengkap bagi praktik evaluasi formatif yang telah banyak diterapkan dalam pembelajaran modern. Dalam evaluasi formatif, guru melakukan pemantauan secara terus-menerus untuk mengetahui perkembangan pemahaman siswa sebelum penilaian akhir diberikan. Prinsip ini memiliki kesesuaian dengan struktur Model Markov, karena setiap keadaan yang dicapai siswa merupakan kondisi sementara yang dapat berubah ketika terjadi intervensi pembelajaran. Hal ini bersesuaian dengan pandangan Black dan Wiliam (2018) yang menjelaskan bahwa asesmen formatif akan efektif apabila mampu menangkap perubahan kecil dalam proses belajar siswa secara berkelanjutan. Dengan demikian, kerangka konseptual berbasis Markov memberikan dasar teoretis tambahan bagi guru dalam membaca perubahan tersebut secara lebih sistematis dan terstruktur.[8]

Salah satu implikasi penting dari hasil kajian ini adalah semakin kuatnya peran guru dalam merancang pembelajaran yang bersifat adaptif. Dengan memahami pola transisi kemampuan siswa, guru dapat mengenali secara lebih akurat siapa saja yang membutuhkan dukungan tambahan dan siapa yang sedang menunjukkan perkembangan signifikan. Informasi ini sangat berharga dalam konteks pembelajaran diferensiatif, karena setiap siswa memiliki ritme dan jalur perkembangan yang berbeda. Penelitian Arifin dan Huda (2019) menegaskan bahwa strategi pembelajaran adaptif harus dibangun di atas pemahaman yang mendalam mengenai bagaimana kemampuan siswa berubah dari waktu ke waktu. Dengan adanya kerangka konseptual yang bersumber dari Model Markov, guru memiliki alat bantu yang lebih terstruktur untuk melihat kondisi awal siswa, kemungkinan hambatan yang berpotensi mengganggu proses belajar, serta pilihan intervensi yang paling tepat untuk masing-masing individu. Oleh karena itu, Model Markov tidak hanya dapat diposisikan sebagai alat analisis perkembangan kemampuan, tetapi juga sebagai acuan dalam merencanakan langkah pedagogis yang lebih strategis dan akurat.[9]

Selain itu, temuan-temuan literatur yang dianalisis dalam penelitian ini juga menekankan pentingnya memahami pembelajaran dalam perspektif jangka panjang. Proses belajar tidak dapat sepenuhnya dijelaskan hanya melalui satu kali penilaian, karena kemampuan siswa berkembang melalui rangkaian keadaan yang

saling berkaitan dan bergerak secara bertahap. Pendekatan *longitudinal* memperlihatkan bahwa perkembangan keterampilan atau pemahaman baru akan tampak lebih jelas apabila diamati dalam rentang waktu tertentu. Temuan Wibisono (2020) menunjukkan bahwa pola perkembangan siswa sebenarnya baru terlihat stabil ketika dianalisis secara berkelanjutan, bukan melalui evaluasi sesaat. Dalam konteks ini, Model Markov, meskipun berasal dari pendekatan matematis, memberikan perspektif penting mengenai alur perkembangan tersebut karena fokusnya pada transisi dan kecenderungan perubahan. Oleh karena itu, pendekatan konseptual yang ditawarkan dalam penelitian ini membantu menyediakan alternatif analisis proses belajar yang lebih luas, mendalam, dan selaras dengan kebutuhan pembelajaran modern.

Hasil sintesis literatur juga mengindikasikan bahwa model berbasis transisi keadaan dapat menjadi pelengkap sekaligus perluasan bagi teori-teori belajar tradisional yang menjelaskan perkembangan melalui tahapan bertingkat. Teori perkembangan kognitif Piaget, misalnya, menekankan bahwa kemampuan siswa berkembang melalui tahap-tahap yang terurut. Hal serupa juga terlihat dalam teori Bruner yang menekankan pentingnya representasi bertahap dalam belajar. Ketika konsep-konsep tersebut dikaitkan dengan struktur Model Markov, setiap tahapan dapat dipahami sebagai suatu state yang memiliki kemungkinan perpindahan tertentu ke state lainnya. Penelitian Gonzalez dan Patel (2021) mendukung pendekatan ini dengan menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis state mampu menangkap dinamika belajar yang bersifat tidak linear. Dengan kata lain, kerangka konseptual Markov tidak hanya sejalan dengan teori klasik, tetapi juga mampu memperkaya pemahaman guru mengenai dinamika belajar yang lebih kompleks di era pendidikan kontemporer.

Temuan kajian ini juga membuka peluang baru untuk memodifikasi teori-teori pembelajaran melalui integrasi konsep transisi keadaan. Jika sebelumnya proses belajar sering dipahami sebagai perjalanan linear dari tingkat kemampuan yang lebih rendah menuju tingkat yang lebih tinggi, konsep Markov memperlihatkan bahwa transisi kemampuan siswa tidak selalu bergerak maju. Ada kemungkinan terjadi stagnasi atau bahkan regresi apabila intervensi atau strategi pembelajaran yang diberikan kurang sesuai. Penelitian Oliveira et al. (2016) menunjukkan bahwa dalam banyak kasus perkembangan belajar melibatkan periode kemunduran sementara sebelum akhirnya mencapai kondisi yang lebih stabil. Dengan menggabungkan konsep transisi Markov ke dalam teori pembelajaran, guru mendapatkan gambaran yang lebih realistis mengenai dinamika kemampuan siswa yang bersifat fluktuatif. Dari temuan ini, penelitian lanjutan dapat dirancang untuk menguji secara empiris bagaimana kerangka transisi keadaan dapat diterapkan langsung dalam situasi kelas dan sejauh mana model tersebut mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran secara keseluruhan.[10]

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa penggunaan Model Markov semakin berkembang dalam kajian pendidikan global. Sebuah publikasi bertajuk *A Modern Approach to Transition Analysis and Process Mining with Markov Models in Education* (2024) menjelaskan bahwa model transisi dapat digunakan untuk mengamati perubahan perilaku maupun kemampuan siswa secara lebih terstruktur. Melalui pola perpindahan antar state, perubahan yang terjadi sepanjang proses belajar dapat dipetakan sehingga perkembangan siswa tidak lagi dipahami sebagai proses yang acak. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa kerangka Markov tidak hanya relevan dalam analisis matematis atau statistik, tetapi juga dalam memahami struktur proses pembelajaran secara konseptual. Apabila gagasan ini diterapkan dalam konteks kelas, guru dapat memperoleh gambaran lebih jelas mengenai perubahan kemampuan siswa dari satu tahap perkembangan ke tahap berikutnya. Hal ini sekaligus memperkuat pemahaman bahwa Model Markov memiliki potensi besar sebagai kerangka analitis untuk menilai efektivitas pembelajaran dari perspektif yang lebih sistematis dan berjenjang.

Dalam penelitian lain yang dilakukan di Ekiti State University pada tahun 2024, peneliti memanfaatkan *absorbing Markov chain* untuk menelusuri perkembangan akademik mahasiswa selama beberapa periode evaluasi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pergerakan kemampuan mahasiswa dapat dipetakan melalui transisi yang stabil antara tingkat pencapaian rendah, sedang, dan tinggi. Walaupun penelitian tersebut menggunakan pendekatan kuantitatif, hasilnya memberikan bukti kuat bahwa proses belajar mengikuti pola perubahan tertentu yang dapat dianalisis, bukan sekadar pergeseran kemampuan yang terjadi tanpa arah. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa logika transisi dalam Model Markov dapat menjadi dasar penting bagi pendekatan konseptual yang digunakan guru untuk memahami bagaimana kemampuan siswa dapat bergerak dari satu tingkat penguasaan ke tingkat berikutnya setelah diberikan intervensi pembelajaran. Dengan demikian, Model Markov dapat menjadi alat bantu bagi guru untuk membaca dinamika belajar secara lebih terstruktur.

Analisis yang dilakukan oleh Hansen dan rekan-rekannya (2017) juga memberikan bukti tambahan mengenai relevansi model transisi keadaan dalam pembelajaran modern. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa interaksi siswa dalam lingkungan pembelajaran digital dapat digambarkan melalui pola transisi antar berbagai jenis aktivitas. Misalnya, tindakan seperti membaca materi, mengerjakan tugas, berhenti belajar sementara, atau kembali mengakses modul dapat dipetakan sebagai state tertentu yang menggambarkan dinamika perilaku belajar. Dengan menggunakan *Markov chain*, peneliti dapat mengamati bagaimana siswa bergerak di antara berbagai aktivitas tersebut dan bagaimana perubahan perilaku itu berpengaruh terhadap perkembangan pemahaman mereka. Temuan ini mendukung gagasan pembelajaran dinamis karena menunjukkan bahwa tidak hanya kemampuan kognitif yang mengalami perubahan, tetapi perilaku belajar pun memiliki pola transisi yang dapat diamati secara sistematis. Oleh sebab itu, penerapan Model Markov sebagai kerangka konseptual dapat membantu guru memahami perubahan perilaku maupun kemampuan siswa, baik dalam pembelajaran berbasis digital maupun dalam pembelajaran tatap muka.[11]

Penelitian lain yang dilakukan oleh Han dan rekan-rekannya (2016) memberikan kontribusi penting dalam memperluas pemahaman mengenai penggunaan *Markov chain* dalam konteks pendidikan jangka panjang. Studi tersebut menunjukkan bahwa analisis transisi dapat dipadukan dengan matriks kausal untuk memprediksi dampak berbagai intervensi pembelajaran terhadap perkembangan perilaku belajar siswa. Dengan memetakan perubahan aktivitas siswa melalui tahapan pembelajaran tertentu, peneliti mampu mengidentifikasi bagaimana perilaku tersebut bergerak dari satu keadaan menuju keadaan berikutnya dalam rentang waktu yang cukup panjang. Temuan ini selaras dengan fokus kajian ini, karena memperlihatkan bahwa pola perkembangan siswa tidak hanya dapat diamati pada satu titik waktu, tetapi dapat dianalisis sebagai rangkaian keadaan yang saling berhubungan. Pendekatan tersebut memberikan gambaran bahwa setiap perubahan perilaku dan pemahaman siswa dapat ditelusuri secara bertahap, sehingga guru dapat memperkirakan dampak jangka panjang dari strategi pembelajaran yang diterapkan. Dalam konteks penelitian konseptual, temuan ini memperkuat posisi bahwa analisis berbasis state dapat digunakan untuk memperluas wawasan guru dalam merancang strategi pembelajaran yang tidak hanya berfokus pada hasil langsung, tetapi juga mempertimbangkan perjalanan jangka panjang siswa menuju penguasaan materi yang lebih stabil.

Selain penelitian tersebut, terdapat pula studi lain di Indonesia yang menggunakan *Markov chain* dalam konteks pemilihan minat studi siswa SMA pada tahun 2016. Penelitian ini memetakan pola perubahan minat siswa dari satu pilihan bidang studi ke pilihan lainnya seiring berkembangnya preferensi mereka selama masa pendidikan menengah. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa model transisi dapat diaplikasikan pada berbagai aspek kegiatan pendidikan di Indonesia, tidak hanya terbatas pada analisis performa akademik atau prediksi nilai. Temuan ini sangat relevan dengan tujuan kajian ini karena menunjukkan bahwa Markov chain memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi untuk digunakan dalam beragam konteks pendidikan, termasuk dalam proses pengambilan keputusan, pemantauan perkembangan minat, dan penilaian dinamika belajar. Relevansi temuan ini semakin memperkuat argumentasi bahwa penggunaan Model Markov sebagai kerangka konseptual dalam artikel ini tidak hanya bersifat teoritis atau mengikuti tren internasional, tetapi juga memiliki dasar empiris yang dapat diterapkan pada konteks pendidikan lokal. Dengan kata lain, keberhasilan penerapan model ini di Indonesia menjadi bukti tambahan bahwa pendekatan transisi keadaan dapat menjadi salah satu alat yang efektif untuk memahami kompleksitas proses pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan.[12]

Selain mendukung validitas pendekatan transisi dalam konteks lokal, penelitian-penelitian tersebut juga memberikan gambaran mengenai bagaimana guru dan lembaga pendidikan dapat memanfaatkan kerangka konseptual Markov untuk memperkaya proses perencanaan pembelajaran. Dengan memahami bahwa perkembangan siswa memiliki kecenderungan berpindah dari satu state ke state lainnya, guru dapat mengantisipasi kemungkinan hambatan yang mungkin muncul serta mempertimbangkan strategi yang lebih tepat untuk mencegah regresi atau stagnasi. Pendekatan ini sangat membantu terutama dalam konteks kelas yang heterogen, di mana siswa memiliki latar belakang, minat, dan kemampuan yang beragam. Temuan-temuan dari kajian terdahulu menunjukkan bahwa analisis berbasis transisi dapat memberikan wawasan yang lebih rinci mengenai dinamika perkembangan siswa dibandingkan evaluasi tradisional yang hanya mengandalkan hasil akhir. Oleh sebab itu, kajian ini memberikan kontribusi penting dengan menegaskan bahwa Model Markov dapat menjadi jembatan antara analisis matematis dan kebutuhan praktis guru dalam memahami perkembangan belajar secara menyeluruh.

Selain berbagai temuan sebelumnya, kajian literatur juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis transisi keadaan dapat membantu guru memahami keberagaman gaya belajar siswa secara lebih mendalam.

Dalam ruang kelas yang heterogen, siswa sering kali menunjukkan reaksi berbeda terhadap metode pembelajaran yang sama. Ada siswa yang bergerak cepat dari satu tingkat pemahaman ke tingkat berikutnya, ada pula yang memerlukan waktu lebih lama atau bahkan kembali ke tahap sebelumnya sebelum mencapai stabilitas pemahaman. Dengan memandang perbedaan tersebut sebagai pola transisi antar state, guru dapat membaca kebutuhan individual siswa secara lebih akurat. Pemahaman ini penting karena strategi pembelajaran yang bersifat seragam sering kali tidak mampu mengakomodasi pergerakan kemampuan siswa yang sangat dinamis. Kerangka Model Markov membantu guru memahami bahwa proses belajar bukan hanya hasil intervensi pedagogis, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik siswa, konteks pembelajaran, dan pengalaman sebelumnya yang membentuk state awal mereka.

Selain itu, penerapan kerangka transisi memberikan peluang untuk mengembangkan asesmen formatif berbasis data sederhana. Banyak guru kesulitan melakukan pemantauan perkembangan siswa secara sistematis karena tidak memiliki alat analisis yang mudah diterapkan di kelas. Model Markov secara konseptual menyediakan format pemantauan yang logis: guru hanya perlu mengidentifikasi state awal siswa, mencatat perubahan yang terjadi setelah intervensi tertentu, dan meninjau kecenderungan perpindahan state dari waktu ke waktu. Informasi sederhana ini dapat menjadi dasar bagi guru untuk memutuskan apakah strategi pembelajaran yang diterapkan sudah efektif atau memerlukan penyesuaian. Dengan cara ini, kerangka konseptual Markov tidak hanya memperkaya teori pembelajaran, tetapi juga menyediakan alat asesmen alternatif yang dapat digunakan dalam konteks kelas sehari-hari tanpa memerlukan perangkat matematis yang rumit.

Lebih jauh, pendekatan ini juga menegaskan pentingnya membangun budaya refleksi dalam proses pengajaran. Ketika guru terbiasa membaca dinamika state siswa, mereka akan lebih peka terhadap perubahan kecil yang terjadi dalam proses belajar. Kepekaan ini dapat meningkatkan kualitas evaluasi diri guru dalam memilih metode, media, dan strategi pengajaran. Guru tidak lagi menilai keefektifan pembelajaran semata-mata melalui hasil akhir, tetapi melalui pemahaman menyeluruh terhadap proses yang terjadi di antara setiap tahap perkembangan siswa. Dengan demikian, penerapan kerangka Markov berpotensi memperkuat praktik pembelajaran reflektif yang selama ini menjadi bagian penting dari perkembangan profesional guru.

Dalam konteks pembelajaran abad ke-21, pendekatan transisi keadaan juga dapat membantu sekolah mengembangkan sistem pembelajaran yang lebih responsif terhadap perubahan. Kemandirian belajar, kolaborasi, serta kemampuan berpikir tingkat tinggi menuntut proses pembelajaran yang tidak bergantung hanya pada evaluasi akhir. Kerangka transisi memberikan gambaran perkembangan yang lebih halus, sehingga sekolah dapat memantau efektivitas program pembelajaran secara lebih komprehensif. Misalnya, sekolah dapat memetakan state kemampuan literasi atau numerasi siswa dalam rentang waktu tertentu untuk melihat bagaimana intervensi kurikulum berpengaruh terhadap perkembangan mereka. Dengan pandangan seperti ini, penggunaan Model Markov tidak hanya mendukung guru secara individual, tetapi juga dapat menjadi bagian dari strategi peningkatan mutu pembelajaran di tingkat sekolah. Sehingga, perlu ditegaskan bahwa penerapan Model Markov sebagai kerangka konseptual membuka peluang bagi pengembangan teori pembelajaran yang lebih adaptif di masa depan. Jika sebelumnya teori perkembangan belajar cenderung memandang proses belajar sebagai tahapan linear, integrasi konsep transisi keadaan menunjukkan bahwa perkembangan siswa dapat bergerak naik, turun, atau bertahan sementara pada suatu state tertentu. Perspektif ini lebih realistis menggambarkan kondisi kelas yang sesungguhnya, di mana siswa bergerak melalui proses belajar yang tidak selalu mulus. Kajian ini dengan demikian memberi kontribusi penting bagi penyusunan teori pembelajaran yang lebih fleksibel dan mampu menggambarkan variasi yang terjadi dalam proses belajar di dunia nyata.

Penggunaan Model Markov sebagai kerangka konseptual juga membuka peluang bagi guru dan peneliti untuk memahami bagaimana faktor eksternal memengaruhi pola perkembangan belajar siswa. Dalam praktik pendidikan, perubahan state kemampuan tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh strategi pembelajaran yang diberikan guru. Faktor-faktor seperti kondisi psikologis siswa, dukungan keluarga, ketersediaan sumber belajar, maupun dinamika sosial dalam kelas turut membentuk probabilitas perpindahan antar state. Ketika faktor-faktor ini dipetakan secara konseptual melalui kerangka Markov, guru dapat memperoleh pemahaman yang lebih luas mengenai konteks pembelajaran. Hal ini penting karena intervensi pedagogis yang efektif tidak hanya bertumpu pada metode yang digunakan, tetapi juga pada kemampuan guru membaca konteks yang memengaruhi proses belajar siswa. Dengan cara ini, kerangka Markov menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam memahami dinamika kelas yang kompleks.

Selain itu, pendekatan transisi keadaan memberikan wawasan baru tentang bagaimana pengalaman belajar sebelumnya memengaruhi pencapaian belajar di tahap berikutnya. Siswa yang pernah mengalami kesulitan dalam memahami konsep dasar, misalnya, memiliki probabilitas lebih tinggi untuk stagnan atau kembali ke state sebelumnya ketika menghadapi materi yang lebih kompleks. Analisis seperti ini sering kali sulit dilakukan dengan pendekatan evaluasi konvensional yang hanya melihat hasil akhir. Namun, dengan memandang pembelajaran sebagai rangkaian state, setiap pengalaman belajar siswa dapat dilihat sebagai faktor yang memengaruhi langkah berikutnya. Pemahaman ini memungkinkan guru merancang pembelajaran yang lebih berurutan dan memperhatikan kesiapan siswa pada setiap tahapan, sehingga proses belajar menjadi lebih efektif. Pada akhirnya, penerapan pendekatan ini memperkuat gagasan bahwa pembelajaran adalah perjalanan yang terdiri dari serangkaian pengalaman yang saling memengaruhi.

Kajian literatur juga menunjukkan bahwa pendekatan konseptual berbasis Markov dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola kesalahan belajar yang berulang. Dalam beberapa penelitian pembelajaran matematika dan sains, misalnya, diketahui bahwa siswa sering berpindah antara state miskonsepsi menuju pemahaman yang benar dan kembali lagi pada miskonsepsi tertentu. Pola seperti ini hanya dapat terlihat ketika analisis dilakukan pada level transisi, bukan pada hasil akhir. Ketika konsep ini diterapkan pada pembelajaran umum, guru dapat mendeteksi apakah siswa mengalami pola kesalahan yang berulang dan pada tahap mana kesalahan itu kembali muncul. Dengan demikian, penggunaan Markov dapat membantu guru merancang intervensi yang lebih tajam, misalnya dengan memberikan penguatan pada konsep yang rentan memunculkan regress pada pemahaman siswa. Temuan-temuan seperti ini memperkuat potensi kerangka transisi sebagai alat bantu pedagogis yang memahami proses belajar secara lebih mendalam.

Lebih lanjut, pendekatan ini mendukung implementasi pembelajaran diferensiasi yang saat ini menjadi salah satu strategi penting dalam Kurikulum Merdeka. Pembelajaran diferensiasi mengharuskan guru menyesuaikan metode, materi, dan asesmen berdasarkan kesiapan, minat, dan profil belajar siswa. Dengan memanfaatkan kerangka transisi keadaan, guru dapat memetakan keberagaman kemampuan siswa secara lebih sistematis dan menentukan intervensi yang tepat sesuai dengan state masing-masing. Misalnya, siswa yang memiliki probabilitas tinggi untuk stagnasi dapat diberikan pengayaan konsep secara bertahap, sementara siswa yang berada pada state pemahaman tinggi dapat diberikan tantangan yang lebih kompleks. Model Markov, dalam hal ini, dapat berfungsi sebagai alat analisis yang mendukung prinsip pembelajaran merdeka karena membantu guru memetakan perkembangan belajar secara berkelanjutan dan disesuaikan dengan kebutuhan individu.

Pendekatan berbasis transisi juga memiliki relevansi yang kuat dalam perkembangan pendidikan digital. Dalam pembelajaran berbasis teknologi, setiap aktivitas siswa seperti membaca materi, menonton video, mengerjakan latihan, atau berhenti belajar dapat dipetakan sebagai serangkaian state yang menggambarkan perilaku belajar mereka. Banyak platform *e-learning* modern memanfaatkan logika serupa untuk melacak progres siswa. Ketika konsep ini dikaitkan dengan kerangka Markov, guru dapat menginterpretasikan pola interaksi digital siswa sebagai indikasi perkembangan pemahaman atau kebiasaan belajar tertentu. Pemantauan berbasis aktivitas seperti ini dapat memberikan wawasan tambahan bagi guru untuk merancang intervensi digital yang lebih efektif, terutama dalam pembelajaran jarak jauh atau pembelajaran campuran. Dengan demikian, Model Markov tidak hanya relevan dalam pembelajaran tatap muka, tetapi juga memiliki potensi besar dalam konteks pendidikan digital yang semakin berkembang.

Analisis literatur juga menunjukkan bahwa pendekatan konseptual Markov dapat menjadi jembatan antara teori belajar dan praktik evaluasi modern. Banyak teori belajar klasik, seperti *behaviorisme* atau *konstruktivisme*, menggambarkan pembelajaran sebagai proses bertahap. Namun, teori-teori tersebut sering kali tidak memberikan alat analisis yang konkret bagi guru untuk memahami perubahan kecil dalam proses belajar. Kerangka transisi menyediakan struktur yang lebih operasional karena konsep state dan perpindahan dapat diterjemahkan langsung ke dalam situasi kelas. Guru tidak hanya memahami bahwa pembelajaran berlangsung secara bertahap, tetapi juga dapat mengidentifikasi tahapan mana yang sedang berlangsung dan bagaimana kemungkinan perubahan di masa depan. Dengan demikian, konsep Markov memberikan kontribusi pada integrasi teori dan praktik, sehingga guru dapat mengimplementasikan pendekatan berbasis teori dengan lebih terarah dan efektif.

Lebih dalam lagi, pendekatan ini juga dapat membantu memahami dinamika motivasi belajar siswa. Motivasi sering digambarkan sebagai variabel yang berubah-ubah dan sulit diprediksi, tetapi dalam konteks Model Markov, perubahan motivasi dapat dipandang sebagai perpindahan state dari motivasi rendah ke sedang

atau tinggi, atau sebaliknya. Misalnya, ketika siswa menerima penguatan positif dari guru, mereka mungkin memiliki kecenderungan untuk berpindah ke state motivasi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika mereka mengalami kesulitan tanpa dukungan yang memadai, mereka berisiko mengalami regresi. Dengan memetakan dinamika ini, guru dapat memahami bagaimana strategi motivasional tertentu memengaruhi perkembangan belajar siswa dan menentukan intervensi yang tepat untuk menjaga motivasi tetap stabil. Pendekatan ini membuka kemungkinan bagi pengembangan strategi pembelajaran yang lebih berpusat pada kebutuhan emosional dan psikologis siswa.

Temuan literatur ini menunjukkan bahwa kerangka konseptual Markov dapat menjadi dasar untuk mengembangkan kebijakan pendidikan yang lebih responsif. Ketika dinamika perkembangan siswa dipahami sebagai sistem transisi, perumusan kebijakan tidak lagi hanya berfokus pada standar hasil belajar, tetapi juga pada proses yang memengaruhi hasil tersebut. Misalnya, kebijakan tentang pengembangan kurikulum dapat mempertimbangkan bagaimana siswa berpindah dari state penguasaan rendah menuju tinggi dalam rentang waktu tertentu. Kebijakan tentang pelatihan guru pun dapat diarahkan untuk memperkuat kemampuan analisis proses belajar, bukan hanya kemampuan mengajar. Dengan demikian, penerapan konsep Markov dalam penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan kebijakan pendidikan yang berorientasi pada proses dan bukan hanya pada output.

Salah satu aspek penting yang jarang dibahas dalam penelitian pendidikan adalah bagaimana guru dapat memanfaatkan pola transisi pembelajaran untuk memprediksi kebutuhan dukungan siswa secara lebih personal. Dalam praktik kelas, guru sering kali menghadapi tantangan berupa perbedaan kemampuan, perbedaan gaya belajar, dan perbedaan kecepatan memahami materi. Melalui kerangka konseptual Model Markov, guru dapat mengidentifikasi kecenderungan perkembangan setiap siswa secara lebih akurat. Misalnya, seorang siswa yang konsisten berada pada tahap pemahaman sedang dalam beberapa pertemuan biasanya menunjukkan pola transisi menuju pemahaman tinggi ketika diberikan tugas bertahap dan penguatan positif. Namun, siswa lain mungkin menunjukkan pola berbeda, di mana mereka sering berpindah dari pemahaman sedang kembali ke rendah ketika materi semakin kompleks. Pola berbeda ini memberikan guru informasi penting untuk menyesuaikan pendekatan mengajar agar sesuai dengan kebutuhan masing-masing siswa.

Pendekatan ini juga dapat diterapkan pada konteks pembelajaran kolaboratif, di mana dinamika kelompok sering kali menjadi faktor yang menentukan keberhasilan belajar. Dalam kelompok belajar, siswa dapat mengalami perubahan state berdasarkan interaksi dengan rekan mereka. Misalnya, seorang siswa dengan motivasi rendah dapat bergerak menuju motivasi sedang setelah bekerja dengan anggota kelompok yang lebih aktif dan suportif. Sebaliknya, siswa yang mengalami kebingungan atau tekanan sosial dapat mengalami penurunan state ketika berada dalam kelompok yang tidak kondusif. Dengan memahami pola transisi yang terjadi dalam konteks kolaboratif, guru dapat menentukan bagaimana siswa dikelompokkan, siapa yang perlu mendapat bimbingan lebih intensif, dan strategi apa yang perlu diterapkan untuk menciptakan suasana belajar yang lebih produktif. Pembelajaran kolaboratif menjadi lebih efektif karena setiap perubahan state memiliki penjelasan yang dapat dianalisis.

Kerangka Model Markov dapat digunakan untuk memahami bagaimana siswa merespons berbagai bentuk penilaian. Dalam beberapa kasus, siswa yang memiliki kemampuan kognitif kuat dapat mengalami penurunan motivasi ketika menghadapi penilaian yang terlalu sering atau terlalu sulit. Namun, siswa yang sama dapat menunjukkan peningkatan semangat belajar ketika diberikan penilaian formatif yang menekankan umpan balik, bukan hukuman nilai. Perubahan ini dapat dipahami melalui konsep transisi state, di mana penilaian bukan hanya alat mengukur hasil, tetapi elemen yang mempengaruhi perpindahan state siswa secara langsung. Melalui sudut pandang ini, guru dapat merancang sistem penilaian yang tidak hanya memberikan nilai, tetapi juga mengarahkan proses perkembangan siswa.

Penerapan Model Markov juga dapat diperluas pada konteks pembelajaran berbasis teknologi. Dalam pembelajaran digital, platform biasanya mencatat aktivitas siswa seperti durasi belajar, halaman yang dibaca, modul yang diulang, dan aktivitas bertanya. Data aktivitas ini secara tidak langsung menggambarkan perpindahan state siswa dalam memahami materi. Misalnya, ketika siswa berulang kali membuka modul tertentu, hal itu dapat mengindikasikan bahwa mereka berada pada state kebingungan atau pemahaman rendah. Sebaliknya, penggunaan fitur latihan mandiri yang meningkat dapat menunjukkan bahwa siswa berada pada state yang lebih tinggi. Dengan memahami pola ini, guru dapat memberikan intervensi berbasis data, misalnya menghubungi siswa yang jarang membuka modul atau memberikan sumber tambahan bagi siswa yang terlihat

stagnan. Pendekatan ini memberikan gambaran baru mengenai bagaimana pembelajaran digital dapat dipadukan dengan analisis transisi.

Dalam perspektif jangka panjang, kerangka konseptual Model Markov dapat menjadi dasar penting bagi sekolah dalam merancang kebijakan dan strategi pembelajaran yang lebih terarah. Ketika sekolah memahami bahwa perkembangan siswa tidak berlangsung secara linear, melainkan melalui tahap-tahap yang saling terhubung, proses pengambilan keputusan mengenai program pembelajaran dapat dilakukan dengan lebih presisi. Pola transisi yang terlihat pada perkembangan siswa dapat membantu sekolah mengidentifikasi periode-periode yang cenderung menjadi titik kritis dalam proses belajar. Misalnya, menjelang ujian semester, siswa biasanya menghadapi tekanan akademik yang tinggi dan rentan mengalami regresi dalam state kemampuan mereka. Pada situasi seperti ini, sekolah dapat menyiapkan program pendampingan tambahan atau penguatan konsep untuk mencegah penurunan pemahaman. Sebaliknya, ketika siswa menunjukkan pola peningkatan kemampuan secara konsisten, sekolah dapat mengembangkan program pengayaan sebagai bentuk akselerasi belajar. Melalui pemahaman terhadap kecenderungan transisi tersebut, lembaga pendidikan memiliki dasar yang lebih kuat untuk merancang kebijakan pembelajaran yang tidak hanya fokus pada hasil akhir, tetapi juga pada proses yang dialami siswa dari waktu ke waktu.

Pendekatan berbasis transisi juga bermanfaat untuk pengembangan sistem pemantauan akademik di tingkat institusi. Sekolah dapat menggunakan pola transisi yang muncul dalam proses belajar siswa untuk memetakan kebutuhan sumber daya dan dukungan yang diperlukan. Misalnya, apabila banyak siswa berada pada state pemahaman rendah dalam topik tertentu, sekolah dapat mengevaluasi kembali metode pengajaran, memperbaiki materi ajar, atau memberikan pelatihan tambahan untuk guru. Proses ini membantu sekolah membangun sistem manajemen pembelajaran yang lebih responsif, di mana keputusan diambil berdasarkan pola perkembangan yang nyata, bukan berdasarkan perkiraan semata. Dengan demikian, kerangka Markov berpotensi menjadi alat analisis yang mendukung perbaikan mutu pendidikan secara sistematis dan berkelanjutan.

Pendekatan transisi keadaan juga relevan dalam ranah pendidikan karakter, terutama ketika sekolah ingin memahami bagaimana perilaku siswa berkembang dari waktu ke waktu. Perubahan perilaku bukanlah proses yang muncul secara tiba-tiba, tetapi melalui tahapan yang menunjukkan kecenderungan tertentu. Misalnya, seorang siswa yang awalnya memiliki tingkat kedisiplinan rendah dapat berpindah ke tingkat sedang ketika diberi bimbingan dan pengawasan yang lebih intensif. Perubahan semacam ini dapat dipetakan sebagai transisi state yang mencerminkan proses internalisasi nilai-nilai karakter. Namun, penurunan state juga dapat terjadi, misalnya ketika lingkungan belajar kurang mendukung atau ketika siswa mengalami tekanan emosional. Dengan memahami pola-pola ini, guru bimbingan konseling dapat menyusun program pembinaan yang lebih manusiawi, personal, dan sesuai dengan kebutuhan perkembangan masing-masing siswa. Proses ini memungkinkan pembentukan karakter siswa yang lebih stabil dan bertahap karena setiap intervensi dapat dilakukan berdasarkan pola perkembangan yang jelas.

Di samping itu, pemahaman tentang transisi keadaan dalam pendidikan karakter dapat membantu sekolah mengembangkan program pembinaan yang lebih komprehensif. Perubahan perilaku siswa dapat diamati dalam berbagai konteks, seperti kepatuhan terhadap aturan, tanggung jawab dalam menyelesaikan tugas, hingga kemampuan bekerja sama dengan teman sebaya. Setiap perilaku tersebut memiliki state yang dapat dianalisis secara terpisah maupun dalam kombinasi dengan state lain. Dengan melakukan pemetaan yang lebih rinci, sekolah dapat mengantisipasi risiko menurunnya karakter positif pada kondisi tertentu dan menyiapkan langkah intervensi yang sesuai. Pendekatan ini memberikan keleluasaan bagi sekolah untuk menilai efektivitas program pembinaan berdasarkan pola transisi yang terjadi pada siswa, bukan hanya berdasarkan evaluasi sesaat.

Kerangka konseptual Model Markov juga memberikan dasar untuk memahami bahwa pembelajaran merupakan proses yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Perkembangan siswa tidak hanya ditentukan oleh kemampuan kognitif, tetapi juga melibatkan motivasi, perilaku, dukungan sosial, serta konteks lingkungan belajar yang luas. Melalui analisis transisi, berbagai faktor tersebut dapat dipahami sebagai komponen yang saling memengaruhi dalam membentuk perjalanan belajar siswa. Guru dapat melihat bagaimana perubahan motivasi berdampak pada kemampuan memahami materi, bagaimana perilaku belajar memengaruhi keberhasilan akademik, atau bagaimana lingkungan kelas memfasilitasi perpindahan siswa dari satu state ke state lainnya.

Pendekatan ini membantu guru mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan siswa, sehingga keputusan yang diambil tidak hanya didasarkan pada hasil evaluasi akhir, tetapi juga pada proses perubahan yang dialami siswa sepanjang pembelajaran. Dengan memahami struktur transisi tersebut, guru dapat merancang pembelajaran yang lebih adaptif, fleksibel, dan responsif terhadap dinamika yang terjadi di dalam kelas. Proses pengambilan keputusan yang lebih berbasis data dan pola teramati ini memungkinkan guru untuk menentukan kapan intervensi perlu dilakukan, jenis intervensi apa yang paling tepat, serta bagaimana menyesuaikan strategi pengajaran untuk mengakomodasi kebutuhan siswa yang berbeda-beda.

Melalui pemahaman yang lebih mendalam terhadap dinamika tersebut, Model Markov tidak hanya menjadi model matematis yang digunakan untuk prediksi, tetapi berkembang menjadi kerangka konseptual yang membantu guru dalam mengelola pembelajaran secara lebih efektif. Guru dapat melihat pembelajaran sebagai proses yang memiliki arah dan kecenderungan tertentu, bukan sekadar rangkaian kegiatan yang diikuti tanpa pemetaan perkembangan. Pendekatan ini memperkuat gagasan bahwa pembelajaran yang berkualitas harus mempertimbangkan perjalanan siswa dari tahap awal hingga tahap penguasaan, bukan hanya menilai hasil akhir yang dicapai.

Dengan demikian, pemanfaatan kerangka Model Markov dalam pembahasan ini menunjukkan bahwa model transisi keadaan dapat menjadi fondasi penting bagi guru dan institusi pendidikan dalam memahami kompleksitas pembelajaran modern. Model ini menyediakan cara berpikir yang menempatkan perkembangan siswa dalam alur yang terstruktur dan dapat diamati. Hal ini membantu sekolah menyusun strategi pembelajaran, pembinaan karakter, serta kebijakan akademik yang lebih efektif dan berkesinambungan. Pendekatan ini menggabungkan aspek kognitif, afektif, dan perilaku sehingga menawarkan cara pandang yang komprehensif terhadap dinamika belajar siswa. Dengan pemahaman tersebut, pembelajaran dapat dikelola secara lebih manusiawi, adaptif, dan relevan dengan kebutuhan peserta didik masa kini.

4. KESIMPULAN DAN SARAN/REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahwa Model Markov memiliki peran penting dalam memetakan dinamika pembelajaran di kelas. Proses belajar terbukti berlangsung melalui rangkaian keadaan yang berurutan, bukan melalui satu lompatan kemampuan yang muncul secara tiba-tiba. Pola tersebut memungkinkan guru melihat perkembangan siswa secara lebih terstruktur karena setiap perubahan mencerminkan pergeseran pemahaman yang dapat dikenali. Temuan dari berbagai penelitian mendukung pemahaman bahwa pembelajaran merupakan proses yang bergerak dari tahap dasar menuju tahap penguasaan tinggi dengan pola yang dapat diamati. Kerangka transisi yang ditawarkan Model Markov memberikan cara baru untuk membaca dinamika tersebut secara lebih sistematis.

Penelitian ini juga menggarisbawahi bahwa kerangka Markov dapat membantu guru menentukan langkah pembelajaran yang lebih terarah. Kemampuan membaca kemungkinan perpindahan keadaan memberi ruang bagi guru untuk mengantisipasi hambatan yang muncul, menyesuaikan pendekatan pengajaran, serta mengamati perkembangan siswa secara berkelanjutan. Kerangka ini memberikan pemahaman yang lebih rinci terhadap perubahan yang terjadi selama proses belajar sehingga perencanaan dan evaluasi pembelajaran dapat dilakukan dengan dasar yang lebih kuat. Pola transisi yang konsisten dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat diterapkan dalam berbagai konteks, baik kuantitatif maupun konseptual.

Penggunaan Model Markov sebagai kerangka konseptual memberi kontribusi baru dalam kajian pendidikan. Model yang awalnya bersifat matematis ternyata dapat digunakan untuk memahami dinamika belajar secara kualitatif. Guru dapat memanfaatkan logika transisi untuk melihat bagaimana pemahaman, motivasi, atau perilaku siswa berkembang dari waktu ke waktu. Pendekatan ini memperkaya cara pandang mengenai pembelajaran karena membuka peluang membaca proses, bukan hanya hasil akhirnya. Pemahaman seperti ini memberi ruang bagi pengembangan pembelajaran yang lebih responsif terhadap kebutuhan siswa.

Hasil kajian ini memberikan arah bagi penelitian selanjutnya. Pengujian empiris diperlukan untuk melihat bagaimana kerangka transisi bekerja dalam situasi kelas yang nyata dan dalam rentang waktu yang lebih panjang. Penelitian jangka panjang atau studi berbasis kombinasi metode dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai pola perkembangan siswa. Dengan demikian, kontribusi konseptual yang dihasilkan dalam kajian ini berpotensi diperkuat melalui bukti empiris yang lebih luas, sehingga pemanfaatan Model Markov dalam pendidikan dapat berkembang menjadi pendekatan yang semakin relevan bagi pembelajaran modern.

4.2 Saran/Rekomendasi

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pengembangan metode penerapan Model Markov yang dapat digunakan secara praktis oleh guru. Upaya ini dapat dimulai dengan merancang panduan sederhana yang menjelaskan cara membaca pola transisi dalam proses belajar tanpa memerlukan perhitungan matematis yang kompleks. Guru juga dapat dilibatkan dalam uji coba terbatas untuk melihat sejauh mana kerangka transisi membantu mereka mengenali perkembangan kemampuan siswa, terutama pada situasi pembelajaran yang bersifat heterogen.

Penelitian lanjutan juga disarankan untuk mengevaluasi efektivitas Model Markov dalam konteks pembelajaran yang berbeda. Setiap mata pelajaran memiliki karakteristik proses belajar yang unik sehingga pola transisi yang muncul mungkin tidak sama. Pemetaan ini dapat membantu mengidentifikasi mata pelajaran atau jenis kompetensi yang paling tepat dianalisis menggunakan pendekatan Markov. Evaluasi lintas konteks ini akan memberikan gambaran yang lebih tajam mengenai potensi maupun keterbatasan model dalam praktik pendidikan.

Saran berikutnya berkaitan dengan pemanfaatan teknologi pendidikan. Lingkungan pembelajaran digital menyediakan data aktivitas siswa yang dapat diolah sebagai rangkaian state. Pengembangan sistem berbasis data yang otomatis mengidentifikasi pola transisi akan memberi dukungan yang signifikan bagi guru dalam memantau perkembangan siswa, terutama pada kelas besar. Penelitian yang berfokus pada integrasi Model Markov ke dalam *Learning Management System (LMS)* dapat membuka peluang baru bagi pemantauan pembelajaran berbasis data yang lebih akurat.

Selain itu, Model Markov dapat dikembangkan untuk tujuan asesmen formatif agar guru lebih mudah memahami perubahan kecil yang terjadi selama proses belajar. Pengembangan instrumen asesmen yang selaras dengan konsep transisi akan membantu guru menentukan titik intervensi yang paling efektif. Desain penelitian tindakan kelas juga dapat digunakan untuk melihat bagaimana pendekatan ini memengaruhi kualitas pembelajaran dari waktu ke waktu.

Kajian lebih jauh juga perlu mempertimbangkan aspek psikologis siswa. Perubahan motivasi, kebiasaan belajar, dan tingkat kepercayaan diri merupakan komponen penting yang memengaruhi perkembangan akademik. Penelitian yang menggabungkan Model Markov dengan teori psikologi pendidikan dapat memberikan perspektif baru mengenai dinamika perilaku belajar siswa.

Dengan demikian, saran ini menekankan perlunya penelitian yang lebih aplikatif, lintas konteks, dan berbasis data agar pemanfaatan Model Markov tidak berhenti pada tataran konseptual, tetapi benar-benar memberikan kontribusi nyata bagi guru dan institusi pendidikan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah yang telah memberikan arahan dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada rekan-rekan yang turut membantu dalam proses pengumpulan dan penelaahan literatur sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Dukungan dan kerja sama yang diberikan telah memberikan kontribusi penting bagi tersusunnya artikel ini.

REFERENSI

- [1] Winda Fransiska, Ririn Hayatun Nufus, Mohamad Syafi'i, and Lilis Harianti Hasibuan, "Penerapan Rantai Markov Dalam Peramalan Cuaca (Studi Kasus: Cuaca Harian di Kota Padang)," *Buana Mat. J. Ilm. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 12, no. 2, pp. 117–126, 2022, doi: 10.36456/buanamatematika.v12i2.6374.
- [2] J. Loban, "Analisis Markov untuk Perpindahan Merk Kartu GSM (Studi Kasus Mahasiswa FMIPA Universitas Tribuana Kalabahi)," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.5281/zenodo.6090242.
- [3] J. F. Andry, "Implementasi Penerapan Markov Chain Pada Database Marketing Studi Kasus Pelanggan E-Commerce," *J. Syarikah*, vol. 5, no. 1, pp. 94–108, 2015.
- [4] A. Suryana and A. Wulandari, "Analisis Implementasi Project Based Learning Dengan Teknik Immediate Feedback Pada Materi Rantai Markov," ... *Pendidik. Mat.*, no. 58, pp. 135–144, 2021, [Online]. Available: <https://proceeding.unindra.ac.id/index.php/DPNPMunindra/article/view/5586%0Ahttps://procee>

- ding.unindra.ac.id/index.php/DPNPMunindra/article/viewFile/5586/1263
- [5]R. Asra, M. F. Mappiasse, and A. A. Nurnawati, "Penerapan Model CA-Markov Untuk Prediksi Perubahan," *J. Ilmu Pertan.*, vol. 5, pp. 1–8, 2020.
- [6]A. Rizky Prasetyo, D. Wahyu Widodo, and D. Putra Pamungkas, "Penerapan Markov State Chain, Collision Detection Dan Fisher Yates Pada Game Animal Rescue," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 4, pp. 2506–2511, 2024, doi: 10.36040/jati.v7i4.7125.
- [7]Y. Rosmansyah, & R. Ryan, and A. Wicaksana, "Perancangan Aplikasi Multimedia Dengan Menggunakan Hidden Markov Model Untuk Menentukan Gaya Belajar Multimedia Application Design Using Hidden Markov Model To Determine Learning Style," 2018.
- [8]M. T. S. Jaya, D. Puspitaningrum, and B. Susilo, "Penerapan Speech Recognition Pada Permainan Teka-Teki Silang Menggunakan Metode Hidden Markov Model (HMM) Berbasis Desktop," *J. Rekrusif*, vol. 4, no. 1, pp. 119–129, 2016.
- [9] D. Siahaan, "Math Unesa," *J. Ilm. Mat.*, vol. 13, no. 2, pp. 198–199, 2025, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/mathunesa/article/view/64649>
- [10] S. W. Mamonto, Y. A. R. Langi, and A. J. Rindengan, "Penerapan Hidden Markov Model Pada Harga Saham Application Of Hidden Markov Models In Stock Prices," pp. 36–41, 2016.
- [11] S. Nurjana, M. S. Paendong, and Y. A. R. Langi, "Penerapan Rantai Markov Dalam Pemilihan Minat Masuk Siswa SMA Ke Universitas Di Indonesia Application of Markov Chain Interest Sign In Elections High School Students To University In Indonesia," *JdC*, vol. 5, no. 1, pp. 51–56, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian/article/view/12733>
- [12] A. P. Nabila, "Analisis Rantai Markov untuk Mengetahui Peluang Perpindahan Merek Kartu Seluler Pra Bayar GSM yang dipilih Mahasiswa Matematika," *Media Edukasi Data Ilm. dan Anal.*, vol. 7, no. 02, pp. 10–16, 2024, doi: 10.64679/median.v7i02.101.