



Analisis Rantai Markov Untuk Memprediksi Tren Metode Pembayaran Mahasiswa (QRIS vs UANG TUNAI)

Andika Pratama Tarigan¹, Rahmadi Pasha Ramadhan², Hizkia Simamora³, Rejeki Sihite⁴

¹⁻⁴ Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email: Andikatarigan042@gmail.com , rhmdipasharmdhn@gmail.com

hizkiakhairossimamora@gmail.com , rejekisihite928@gmail.com

Abstract

The rapid growth of digital payment systems, particularly QRIS (Quick Response Code Indonesian Standard), has significantly altered the payment behavior landscape among university students. This study applies the Markov Chain method to analyze transition patterns and predict future trends in student payment methods based on survey data from 150 respondents. Three states are defined: QRIS, Cash, and Mixed (combined usage). A stochastic transition matrix was constructed from observed behavioral shifts across three time periods: last semester, current semester, and next semester prediction. Analysis reveals a transition probability matrix in which QRIS users show a 60.0% retention rate, Cash users 49.1%, and Mixed users 61.9%. Multi-step projections demonstrate a convergent trend toward the steady-state distribution of 40.22% QRIS, 16.67% Cash, and 43.10% Mixed usage. The dominant factor driving QRIS adoption is practicality (38.0%), while habit remains the primary barrier (32.0%). These findings confirm that the Markov Chain is an effective linear algebraic tool for modeling behavioral transitions and forecasting equilibrium states in payment method adoption among students.

Keywords: Markov Chain, QRIS, Payment Method, Stochastic Matrix, Steady State

Abstrak

Pesatnya perkembangan sistem pembayaran digital, khususnya QRIS (Quick Response Code Indonesian Standard), telah mengubah lanskap perilaku pembayaran di kalangan mahasiswa secara signifikan. Penelitian ini menerapkan metode Rantai Markov untuk menganalisis pola transisi dan memprediksi tren metode pembayaran mahasiswa berdasarkan data survei dari 150 responden. Tiga state didefinisikan: QRIS, Uang Tunai, dan Campuran (penggunaan gabungan). Matriks transisi stokastik dibangun dari pergeseran perilaku yang diamati pada tiga periode waktu: semester lalu, semester ini, dan prediksi semester depan. Analisis menunjukkan matriks probabilitas transisi di mana pengguna QRIS memiliki tingkat retensi 60,0%, pengguna Tunai 49,1%, dan pengguna Campuran 61,9%. Proyeksi multi-langkah memperlihatkan tren konvergen menuju distribusi steady state sebesar 40,22% QRIS, 16,67% Tunai, dan 43,10% Campuran. Faktor utama yang mendorong adopsi QRIS adalah kepraktisan (38,0%), sementara kebiasaan menjadi hambatan utama (32,0%). Temuan ini mengonfirmasi bahwa Rantai Markov merupakan alat aljabar linear yang efektif untuk memodelkan

transisi perilaku dan memproyeksikan kondisi keseimbangan dalam adopsi metode pembayaran di kalangan mahasiswa.

Kata Kunci: Rantai Markov, QRIS, Metode Pembayaran, Matriks Stokastik, Steady State

PENDAHULUAN

Revolusi teknologi finansial (fintech) telah membawa perubahan mendasar dalam cara masyarakat bertransaksi, termasuk di kalangan mahasiswa yang tergolong generasi digital native. Salah satu wujud nyata dari perubahan ini adalah kehadiran QRIS (Quick Response Code Indonesian Standard), sebuah standar kode QR nasional yang diluncurkan Bank Indonesia pada tahun 2019 sebagai upaya mengintegrasikan berbagai platform pembayaran digital dalam satu ekosistem yang interoperable.

Lingkungan kampus menjadi salah satu ekosistem yang paling aktif mengadopsi QRIS. Kantin, koperasi mahasiswa, hingga pembayaran uang kuliah di berbagai perguruan tinggi kini telah terintegrasi dengan sistem pembayaran berbasis kode QR. Meski demikian, uang tunai tidak serta-merta ditinggalkan — faktor kebiasaan, keterbatasan sinyal, dan ketersediaan merchant yang menerima QRIS masih menjadi variabel yang menentukan perilaku pembayaran mahasiswa.

Dalam konteks ilmu matematika, khususnya aljabar linear, fenomena pergeseran perilaku yang bersifat probabilistik seperti ini dapat dimodelkan secara elegan menggunakan Rantai Markov (Markov Chain). Rantai Markov adalah sebuah proses stokastik diskret di mana probabilitas perpindahan ke suatu state berikutnya hanya bergantung pada state saat ini, bukan pada riwayat state sebelumnya — sifat ini dikenal sebagai Markov Property (Leon, 2015). Representasi matriks dari probabilitas transisi ini merupakan aplikasi langsung dari konsep matriks stokastik dalam aljabar linear.

Sejumlah penelitian telah mengeksplorasi penerapan Rantai Markov dalam analisis perilaku ekonomi dan keuangan. Trinh (2018) menggunakan Rantai Markov untuk menganalisis perpindahan merek di antara aplikasi ojek online dan menemukan bahwa model ini mampu memprediksi pangsa pasar jangka panjang dengan akurasi yang memadai. Chen (2021) menerapkan metode serupa pada prediksi pemasaran produk dan menunjukkan bahwa terdapat pola transisi yang stabil dan dapat diprediksi. Dalam lingkup domestik, penelitian oleh Rizkita dkk. (2025) mengonfirmasi bahwa model Rantai Markov merupakan pendekatan yang valid untuk memproyeksikan perpindahan perilaku konsumen di lingkungan perbelanjaan.

Di Indonesia, penelitian khusus mengenai penggunaan QRIS di kalangan mahasiswa masih relatif terbatas. Penelitian Hamzah Muchtar dkk. (2024) menyimpulkan bahwa adopsi QRIS di Indonesia dipengaruhi secara signifikan oleh faktor pengaruh sosial (social influence) dan kondisi yang memfasilitasi (facilitating conditions). Sementara itu, Indriani dkk. (2024) menemukan bahwa pengetahuan, kemudahan penggunaan, literasi keuangan, dan persepsi manfaat merupakan

determinan utama niat mahasiswa menggunakan QRIS, yang mengindikasikan adanya hubungan antara kemampuan finansial dan literasi digital dengan pola adopsi teknologi pembayaran.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi distribusi dan pola penggunaan metode pembayaran mahasiswa; (2) menyusun matriks transisi probabilitas menggunakan pendekatan Rantai Markov; (3) memproyeksikan tren metode pembayaran pada periode mendatang; dan (4) menentukan distribusi steady state jangka panjang sebagai ekuilibrium dari sistem pembayaran mahasiswa. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dalam penerapan aljabar linear pada fenomena sosioekonomi, sekaligus memberikan wawasan praktis bagi pemangku kebijakan kampus dalam mendukung ekosistem pembayaran digital.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Rantai Markov dalam Aljabar Linear

Rantai Markov merupakan model matematika yang menggambarkan urutan kejadian yang bersifat stokastik, di mana probabilitas terjadinya setiap kejadian hanya bergantung pada state yang dicapai pada kejadian sebelumnya. Secara formal, suatu proses stokastik $\{X_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ dengan ruang state S dikatakan sebagai Rantai Markov jika memenuhi sifat Markov berikut:

$$P(X_{n+1} = j \mid X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = j \mid X_n = i) = p_{ij}$$

Di mana p_{ij} adalah probabilitas transisi dari state i ke state j . Kumpulan seluruh probabilitas transisi direpresentasikan dalam sebuah matriks yang disebut Matriks Transisi P , di mana setiap elemen $p_{ij} \geq 0$ dan jumlah setiap baris sama dengan 1 (Leon, 2015).

Matriks yang memenuhi sifat ini disebut matriks stokastik baris (row stochastic matrix).

Distribusi State dan Vektor Probabilitas

Jika $\pi_0 = [\pi_0(\text{QRIS}), \pi_0(\text{Tunai}), \pi_0(\text{Campuran})]$ adalah vektor baris yang menyatakan distribusi probabilitas awal pada state tertentu, maka distribusi setelah n langkah diperoleh melalui perkalian matriks:

$$\pi_n = \pi_0 \cdot P^n$$

Ini adalah penerapan langsung perkalian matriks dalam aljabar linear. Untuk rantai Markov yang bersifat ergodic (irreducible dan aperiodic), terdapat distribusi stasioner atau steady state π^* yang unik, yaitu vektor yang memenuhi:

$$\pi^* \cdot P = \pi^* \text{ dan } \sum_i \pi^*(i) = 1$$

Secara numerik, steady state dapat dihitung dengan menyelesaikan sistem persamaan linear $(P^T - I)\pi^{*T} = 0$ dengan tambahan kendala $\sum \pi^*_i = 1$. Solusinya berkaitan erat dengan eigenvalue $\lambda = 1$ dari matriks transisi, yang selalu ada pada matriks stokastik (Kemeny & Snell, 1960).

QRIS sebagai Objek Kajian

QRIS adalah standar kode QR nasional yang ditetapkan Bank Indonesia melalui Peraturan Anggota Dewan Gubernur No. 21/18/PADG/2019. QRIS mengintegrasikan berbagai platform

pembayaran digital seperti GoPay, OVO, Dana, LinkAja, dan berbagai aplikasi perbankan dalam satu kode QR yang dapat digunakan secara universal (Bank Indonesia, 2020). Infrastruktur QRIS yang makin meluas di lingkungan kampus menjadikan kalangan mahasiswa sebagai populasi yang sangat relevan untuk diteliti pola adopsinya.

METODE PENELITIAN

Desain dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan analisis model Rantai Markov. Data diperoleh melalui survei terhadap 150 mahasiswa aktif. Variabel yang dikumpulkan meliputi: jenis kelamin, semester, kisaran uang saku bulanan, metode pembayaran semester lalu, metode pembayaran semester ini, frekuensi penggunaan QRIS dan tunai per minggu, ketersediaan merchant QRIS di sekitar kampus, skor masalah sinyal (skala 1–5), skor kenyamanan QRIS (skala 1–5), alasan utama menggunakan tunai, alasan utama menggunakan QRIS, dan prediksi metode yang akan digunakan semester depan.

Pendefinisian State

Dalam model Rantai Markov yang dibangun, tiga state diskret didefinisikan sebagai berikut:

State 1 — QRIS: Mahasiswa menggunakan QRIS sebagai metode pembayaran dominan atau eksklusif.

State 2 — Tunai: Mahasiswa menggunakan uang tunai sebagai metode pembayaran dominan atau eksklusif.

State 3 — Campuran: Mahasiswa menggunakan keduanya secara bergantian tanpa dominasi yang jelas.

Konstruksi Matriks Transisi

Matriks transisi P dibangun dari frekuensi perpindahan state yang diamati antara semester lalu dan semester ini. Jika n_{ij} menyatakan jumlah mahasiswa yang berpindah dari state i ke state j , maka probabilitas transisi dihitung sebagai:

$$p_{ij} = n_{ij} / \sum_j n_{ij}$$

Matriks P yang dihasilkan harus bersifat stokastik baris, yaitu semua elemen nonnegatif dan setiap baris berjumlah 1. Validasi sifat ini merupakan langkah kritis sebelum analisis lebih lanjut dilakukan.

Proyeksi Multi-Langkah dan Steady State

Proyeksi distribusi state pada periode mendatang dilakukan dengan mengalikan vektor distribusi saat ini π_1 dengan pangkat matriks transisi P^n secara iteratif:

$$\pi_{1+n} = \pi_1 \cdot P^n$$

Distribusi steady state π^* diperoleh dengan menyelesaikan sistem persamaan linear homogen. Secara komputasional, hal ini dikerjakan dengan menggantikan salah satu persamaan dalam sistem $(P^T - I)\pi^{*T} = 0$ dengan persamaan normalisasi $\sum_i \pi_i^* = 1$, lalu menyelesaikannya menggunakan eliminasi Gauss atau dekomposisi LU. Keberadaan solusi unik dijamin oleh teorema Perron-Frobenius untuk matriks stokastik yang irreducible.

Analisis Eigenvalue

Nilai eigen (eigenvalue) dari matriks transisi P turut dianalisis. Berdasarkan teorema Perron-Frobenius, matriks stokastik selalu memiliki eigenvalue dominan $\lambda_1 = 1$. Eigenvalue lainnya $|\lambda_i| < 1$ menentukan laju konvergensi menuju steady state — semakin kecil nilai eigenvalue kedua, semakin cepat sistem mencapai keseimbangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden dan Distribusi Pembayaran

Dari total 150 responden, 88 orang (58,7%) berjenis kelamin perempuan dan 62 orang (41,3%) laki-laki. Distribusi semester cukup merata, dengan 93 mahasiswa (62%) berada pada semester 1–4 dan 57 mahasiswa (38%) pada semester 5–8. Uang saku terbesar berada pada kisaran Rp500.000–Rp1.000.000 per bulan (43,3%), diikuti Rp1.000.000–Rp2.000.000 (27,3%), di bawah Rp500.000 (20,7%), dan di atas Rp2.000.000 (8,7%).

Tabel 1 menyajikan pergeseran distribusi metode pembayaran dari semester lalu ke semester ini, yang menjadi landasan empiris konstruksi matriks transisi.

Tabel 1. Distribusi Metode Pembayaran Mahasiswa

Metode Pembayaran	Semester Lalu	%	Semester Ini	%
QRIS	55	36,67%	57	38,00%
Uang Tunai	53	35,33%	36	24,00%
Campuran	42	28,00%	57	38,00%
Total	150	100%	150	100%

Tabel 1 menunjukkan pergeseran yang mencolok: proporsi pengguna Tunai turun dari 35,33% menjadi 24,00%, sementara pengguna Campuran naik signifikan dari 28,00% menjadi 38,00%. QRIS mengalami kenaikan moderat dari 36,67% menjadi 38,00%. Pergeseran ini mengindikasikan bahwa mahasiswa tidak langsung beralih penuh ke QRIS, melainkan melalui fase peralihan dengan menggunakan kedua metode secara bergantian.

Analisis berdasarkan tingkat semester menunjukkan bahwa mahasiswa semester 5– 8 memiliki kecenderungan lebih tinggi menggunakan QRIS (49,1%) dibandingkan mahasiswa semester 1–4 (31,2%). Hal ini konsisten dengan temuan Hamzah Muchtar dkk. (2024) bahwa pengaruh sosial dan kondisi fasilitasi merupakan pendorong utama adopsi QRIS, di mana pengalaman dan paparan lebih lama terhadap ekosistem digital kampus meningkatkan kenyamanan mahasiswa dalam menggunakan QRIS.

Konstruksi Matriks Transisi Markov

Berdasarkan data perpindahan state antara semester lalu dan semester ini, matriks frekuensi transisi yang teramati adalah sebagai berikut: dari 55 pengguna QRIS semester lalu, 33 orang tetap menggunakan QRIS, 6 beralih ke Tunai, dan 16 beralih ke Campuran. Dari 53 pengguna Tunai, 26 tetap menggunakan Tunai, 12 beralih ke QRIS, dan 15 beralih ke Campuran. Dari 42 pengguna Campuran, 26 tetap menggunakan Campuran, 12 beralih ke QRIS, dan 4 beralih ke Tunai.

Dari frekuensi tersebut, diperoleh Matriks Probabilitas Transisi P berikut:

Tabel 2. Matriks Probabilitas Transisi P

Dari \ Ke	QRIS	Tunai	Campuran
QRIS	0,6000	0,1091	0,2909
Tunai	0,2264	0,4906	0,2830
Campuran	0,2857	0,0952	0,6190

Verifikasi menunjukkan bahwa setiap baris matriks P berjumlah tepat 1,0000, mengonfirmasi sifat stokastik baris yang dipersyaratkan. Diagonal utama matriks mencerminkan tingkat retensi: QRIS (0,6000), Tunai (0,4906), dan Campuran (0,6190). Artinya, pengguna QRIS dan pengguna Campuran sama-sama memiliki kecenderungan kuat untuk bertahan di state mereka masing-masing, sementara pengguna Tunai menunjukkan tingkat retensi yang lebih rendah — mengindikasikan bahwa kelompok ini paling rentan untuk berpindah ke metode lain.

Tingkat Retensi dan Pola Transisi

Tabel 3 merangkum tingkat retensi untuk masing-masing state pembayaran, yang diperoleh langsung dari diagonal matriks transisi P.

Tabel 3. Tingkat Retensi Metode Pembayaran Mahasiswa

Metode	Jumlah Pengguna	Tetap (Semester Ini)	Tingkat Retensi
QRIS	55	33	60,0%
Uang Tunai	53	26	49,1%

Campuran	42	26	61,9%
----------	----	----	-------

Tingkat retensi Tunai yang hanya 49,1% menandakan bahwa hampir separuh pengguna Tunai berpindah ke metode lain dalam satu semester. Dari yang berpindah, 28,30% beralih ke Campuran dan 22,64% langsung beralih ke QRIS. Hal ini mencerminkan pola peralihan bertahap yang wajar secara perilaku: mahasiswa tidak langsung meninggalkan uang tunai sepenuhnya, tetapi melalui masa transisi menggunakan keduanya terlebih dahulu sebelum akhirnya bermigrasi penuh ke QRIS.

Faktor alasan penggunaan yang terungkap dalam survei memperkuat interpretasi ini. Alasan utama tetap menggunakan Tunai adalah kebiasaan (48 responden, 32,0%), diikuti merchant tidak menerima QRIS (35 responden, 23,3%), lebih kontrol pengeluaran (28 responden, 18,7%), dan tidak ada sinyal (28 responden, 18,7%). Sementara itu, alasan menggunakan QRIS didominasi oleh kepraktisan (57 responden, 38,0%), promo cashback (34 responden, 22,7%), pengaruh teman (32 responden, 21,3%), dan dukungan infrastruktur kampus (18 responden, 12,0%). Data ini menunjukkan bahwa hambatan adopsi QRIS bukan semata-mata teknis, tetapi juga bersifat psikologis dan sosial.

Proyeksi Multi-Langkah dan Konvergensi Steady State

Dengan menggunakan distribusi semester ini sebagai kondisi awal $\pi_1 = [0,3800; 0,2400; 0,3800]$ untuk [QRIS; Tunai; Campuran], proyeksi distribusi state dilakukan secara iteratif selama 5 langkah ke depan. Hasil proyeksi disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Proyeksi Distribusi State Metode Pembayaran (5 Semester ke Depan)

Periode	QRIS	Tunai	Campuran
Semester Ini (t=0)	0,3800	0,2400	0,3800
Semester +1 (t=1)	0,3909	0,1954	0,4137
Semester +2 (t=2)	0,3970	0,1779	0,4251
Semester +3 (t=3)	0,3999	0,1711	0,4290
Semester +4 (t=4)	0,4013	0,1684	0,4303
Semester +5 (t=5)	0,4018	0,1674	0,4308
Steady State	0,4022	0,1667	0,4310

Tabel 4 menunjukkan pola konvergensi yang jelas dan konsisten. Proporsi pengguna Tunai mengalami penurunan kontinu dari 24,00% menuju steady state 16,67%, sementara QRIS meningkat dari 38,00% menuju 40,22%, dan Campuran meningkat dari 38,00% menuju 43,10%.

Laju konvergensi tergolong cepat — pada semester ke-5, distribusi hanya berbeda 0,04% dari steady state, yang secara praktis sudah dapat dianggap tercapai.

Kecepatan konvergensi ini secara teoritis terkait dengan eigenvalue matriks P. Hasil perhitungan eigenvalue adalah $\lambda_1 = 1,0000$ (eigenvalue dominan yang menjamin existensi steady state), $\lambda_2 = 0,3835$, dan $\lambda_3 = 0,3262$. Karena nilai eigenvalue kedua terbesar $|\lambda_2| = 0,3835$ jauh di bawah 1, laju konvergensi berbanding eksponensial dengan pangkat λ_2^n , yang menjelaskan mengapa sistem mencapai steady state dalam waktu yang relatif singkat (sekitar 5 semester).

Distribusi Steady State: Kondisi Ekuilibrium Jangka Panjang

Distribusi steady state $\pi^* = [0,4022; 0,1667; 0,4310]$ diperoleh dengan menyelesaikan sistem persamaan berikut, di mana P adalah matriks transisi yang telah dikonstruksi:

$$(P^T - I)\pi^{*T} = 0 \text{ dengan kendala } \pi^*_{\text{QRIS}} + \pi^*_{\text{Tunai}} + \pi^*_{\text{Campuran}} = 1$$

Distribusi ini menyatakan bahwa dalam jangka panjang, sistem pembayaran mahasiswa akan berkonvergen ke kondisi di mana sekitar 40,22% mahasiswa menjadi pengguna QRIS dominan, 43,10% menggunakan keduanya secara campuran, dan hanya 16,67% yang masih mengandalkan uang tunai sepenuhnya. Penurunan drastis proporsi pengguna Tunai dari kondisi saat ini (24,00%) menuju steady state (16,67%) mencerminkan tekanan struktural yang kuat terhadap penggunaan uang tunai di ekosistem kampus.

Temuan ini sejalan dengan proyeksi Bank Indonesia yang menargetkan peningkatan signifikan transaksi nontunai dalam Cetak Biru Sistem Pembayaran Indonesia 2025 (Bank Indonesia, 2019). Namun demikian, proporsi Campuran yang justru menjadi state terbesar dalam steady state (43,10%) merupakan temuan yang menarik dan berbeda dari ekspektasi sederhana bahwa QRIS akan mendominasi sepenuhnya.

Dominannya state Campuran dalam ekuilibrium ini dapat dijelaskan oleh dua faktor komplementer. Pertama, tingkat retensi Campuran (61,9%) adalah yang tertinggi di antara ketiga state, menandakan bahwa begitu mahasiswa masuk ke state ini, mereka cenderung bertahan. Kedua, state Campuran merupakan "attractor" yang menerima aliran mahasiswa dari kedua state lain — 28,30% dari pengguna Tunai dan 29,09% dari pengguna QRIS berpindah ke Campuran dalam satu semester. Kondisi ini mencerminkan realitas pragmatis: mahasiswa cenderung memilih metode pembayaran yang paling sesuai dengan konteks transaksi, dan ketersediaan infrastruktur QRIS yang belum universal di semua merchant sekitar kampus mendorong penggunaan hibrida.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menerapkan model Rantai Markov sebagai alat aljabar linear untuk menganalisis dan memprediksi tren metode pembayaran mahasiswa. Beberapa kesimpulan utama yang dapat ditarik adalah sebagai berikut.

Pertama, telah terjadi pergeseran nyata dalam metode pembayaran mahasiswa: pengguna Tunai turun dari 35,33% menjadi 24,00%, sementara Campuran naik dari 28,00% menjadi 38,00% dalam satu semester. Pergeseran ini berlangsung secara bertahap, bukan secara langsung dari Tunai ke QRIS.

Kedua, matriks transisi probabilitas yang dikonstruksi menunjukkan bahwa pengguna Campuran memiliki tingkat retensi tertinggi (61,9%), diikuti QRIS (60,0%) dan Tunai (49,1%). Tingkat retensi Tunai yang relatif rendah mengindikasikan bahwa kelompok pengguna tunai paling terbuka terhadap perubahan metode pembayaran.

Ketiga, proyeksi multi-langkah menunjukkan konvergensi cepat menuju steady state $\pi^* = [40,22\%; 16,67\%; 43,10\%]$ untuk [QRIS; Tunai; Campuran] dalam sekitar 5 semester, didukung oleh eigenvalue $\lambda_2 = 0,3835$ yang menjamin laju konvergensi eksponensial.

Keempat, state Campuran diproyeksikan menjadi state terbesar dalam ekuilibrium jangka panjang (43,10%), mencerminkan perilaku pragmatis mahasiswa yang menggunakan metode pembayaran paling sesuai dengan konteks transaksi. Hal ini juga mengindikasikan bahwa hambatan infrastruktur (ketersediaan merchant dan sinyal) menjadi faktor yang menahan migrasi penuh ke QRIS.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian, terdapat beberapa rekomendasi yang relevan. Bagi pihak kampus, perluasan ekosistem QRIS di seluruh merchant sekitar kampus — termasuk warung-warung informal dan kios kecil — akan menjadi faktor kritis dalam mempercepat migrasi dari state Campuran ke QRIS. Program sosialisasi yang menargetkan mahasiswa semester awal, yang dalam penelitian ini terbukti masih memiliki proporsi pengguna Tunai lebih tinggi (29,0% vs 15,8% pada semester lanjut), juga perlu diprioritaskan.

Dari sisi akademik, penelitian lanjutan dapat mengembangkan model dengan lebih banyak state yang lebih granular, atau menggabungkan model Rantai Markov dengan analisis faktor konfirmatori untuk mengidentifikasi variabel laten yang mempengaruhi probabilitas transisi. Penggunaan data longitudinal nyata (bukan prediksi responden) juga akan meningkatkan validitas model secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bank Indonesia. (2019). *Cetak Biru Sistem Pembayaran Indonesia 2025*. Jakarta: Departemen Kebijakan Sistem Pembayaran Bank Indonesia.
- Bank Indonesia. (2020). *Panduan Implementasi QRIS untuk Merchant*. Jakarta: Bank Indonesia.
- Kemeny, J. G., & Snell, J. L. (1960). *Finite Markov Chains*. Princeton: Van Nostrand.
- Leon, S. J. (2015). *Linear Algebra with Applications* (9th ed.). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.

- Indriani, R., Valenty, Y. A., & Atmoko, A. T. (2024). Determinants of QRIS adoption among students: The roles of knowledge, ease of use, financial literacy, and perceived benefits. *E-Jurnal Akuntansi*, 34(10). <https://doi.org/10.24843/EJA.2024.v34.i10.p16>
- Trinh, V. D. (2018). Analysis of brand switching behavior in motorbike hailing app with Markov chain model. *Global and Stochastic Analysis*, 5(6), 93–101. <https://ssrn.com/abstract=3347889>
- Chen, H. (2021). Research on marketing prediction model based on Markov prediction. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 4535181. <https://doi.org/10.1155/2021/4535181>
- Rizkita, N. Z., Sutanto, S., & Kurdhi, N. A. (2025). Game theory and Markov chain analysis of the displacement of shopping mall visitors in Surakarta City. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 19(2), 1047–1056. <https://doi.org/10.30598/barekengvol19iss2pp1047-1056>
- Hamzah Muchtar, E., Trianto, B., Maulana, I., Alim, M. N., Marasabessy, R. H., Hidayat, W., Junaedi, E., & Masrizal. (2024). Quick response code Indonesia standard (QRIS) Epayment adoption: Customers perspective. *Cogent Business & Management*, 11(1), 2316044. <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2316044>