

Penerapan Rantai Markov untuk Memprediksi Status Keramaian WICO Berdasarkan Pergerakan Jumlah Pengunjung

Pemodelan Stokastik



ITERA

Disusun Oleh:

Yohana Manik	122450126
Akmal Faiz Abdillah	122450114
Allya Nurul Islami Pasha	122450033
Khoirul Anam	122450039

**Program Studi Sains Data
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sumatera
2025**

ABSTRAK

Wifi Corner (WICO) Institut Teknologi Sumatera merupakan salah satu fasilitas pendukung kegiatan belajar yang memiliki dinamika kunjungan yang fluktuatif sepanjang hari. Variasi tingkat keramaian ini berpengaruh langsung terhadap kenyamanan belajar, ketersediaan tempat duduk, serta kualitas akses internet. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perpindahan kepadatan pengunjung WICO menggunakan pendekatan Rantai Markov berdasarkan data observasi *primer* dengan interval waktu 15 menit. Data jumlah pengunjung diklasifikasikan ke dalam tiga state yaitu Sepi, Normal, dan Ramai menggunakan metode kuantil untuk menghilangkan subjektivitas dalam penentuan kategori. Melalui perhitungan frekuensi transisi dan matriks probabilitas transisi satu langkah, ditemukan bahwa state Ramai memiliki tingkat stabilitas paling tinggi dengan probabilitas bertahan mencapai 0.9167, sedangkan state Sepi dan Normal menunjukkan stabilitas moderat. Analisis transisi multi-langkah (P^2 hingga P^5) mengungkapkan bahwa peluang perpindahan dari Sepi ke Ramai meningkat seiring bertambahnya langkah prediksi. Distribusi stasioner yang dihitung memberikan gambaran keseimbangan jangka panjang, dengan proporsi waktu masing-masing state berada pada kisaran 32–35%, menunjukkan bahwa tidak ada state yang mendominasi secara absolut. Selain itu, seluruh state diklasifikasikan sebagai recurrent, mencerminkan pola kunjungan yang berulang mengikuti ritme harian. Secara keseluruhan, model Rantai Markov terbukti efektif dalam memetakan dinamika kunjungan dan memberikan insight bagi pengelola dalam pengambilan keputusan terkait manajemen fasilitas WICO.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Wifi Corner (WICO) Institut Teknologi Sumatera merupakan fasilitas penunjang bagi sivitas akademika ITERA yang berfungsi sebagai tempat untuk berkumpul untuk mengakses internet maupun mengerjakan tugas kuliah secara mandiri maupun berkelompok. Oleh karena perannya yang krusial, kualitas pengalaman di WICO secara langsung mempengaruhi efektivitas studi dan produktivitas para mahasiswa dan dosen.

Permasalahan muncul ketika WICO mengalami fluktuasi keramaian. Ketika WICO menjadi terlalu ramai tempat duduk akan menjadi penuh, kebisingan meningkat, dan koneksi internet dapat melambat secara tidak langsung akan menghambat kegiatan belajar. Sebaliknya, kondisi terlalu sepi pada waktu-waktu yang seharusnya sibuk menandakan potensi *mismatch* antara ketersediaan fasilitas dan kebutuhan pengguna.

Untuk memastikan WICO ITERA dapat mempertahankan lingkungan belajar yang optimal yang mendukung aktivitas akademik, diperlukan sebuah mekanisme prediktif yang dapat mengantisipasi pergerakan jumlah pengunjung. Penelitian ini menerapkan metode Rantai Markov sebagai model yang efektif. Dengan metode ini diharapkan dapat memprediksi pergerakan pengunjung antar status keramaian ('Sepi', 'Sedang', 'Ramai') dan dapat dimodelkan berdasarkan probabilitas transisi historis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pola perpindahan state kepadatan pengunjung WICO dari satu interval waktu ke interval berikutnya dan bagaimana probabilitas transisinya terbentuk?
2. Sejauh mana tingkat stabilitas masing-masing state (Sepi, Normal, Ramai) melalui analisis *self-transition* dan probabilitas transisi multi-langkah?
3. Bagaimana klasifikasi ruang keadaan (*state space*) sistem kunjungan di WICO?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan adanya permasalahan diatas maka dari itu tujuan yang hendak dicapai melalui penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis pola perpindahan antar state kepadatan pengunjung dan menyusun matriks probabilitas transisi satu langkah.
2. Mengidentifikasi tingkat stabilitas masing-masing state serta memahami kecenderungannya melalui perhitungan probabilitas transisi multi-langkah.

3. Melakukan klasifikasi ruang keadaan untuk menentukan jenis state (*recurrent*, *transient*, *absorbing*) dalam sistem aktivitas WICO.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

- Manfaat Teoritis: Memberikan kontribusi pada penerapan model rantai Markov dalam analisis perilaku kunjungan fasilitas umum berbasis data observasi langsung.
- Manfaat Praktis:
 1. Bagi Pengelola Fasilitas ITERA: Menyediakan informasi prediksi keramaian yang memungkinkan manajemen ruang publik seperti WICO dapat lebih proaktif, seperti penyesuaian penambahan kursi portabel atau *power outlet* di area tertentu, serta manajemen kebersihan dan sirkulasi udara di area terbuka, untuk mempertahankan kenyamanan belajar.
 2. Bagi Pengguna WICO (Mahasiswa/Dosen): Secara tidak langsung meningkatkan kualitas kolaborasi dan fokus belajar karena prediksi keramaian dapat digunakan untuk mengoptimalkan lingkungan (mengurangi *noise* berlebihan) atau menginformasikan waktu terbaik untuk kerja kelompok.
 3. Bagi Peneliti Lanjutan: Menjadi model dasar untuk penelitian selanjutnya yang berfokus pada prediksi keramaian di ruang terbuka atau kecepatan *hotspot* Wi-Fi lainnya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada area WICO yang berada di lantai 2 Gedung F, sehingga cakupan lokasi pengamatan masih terbatas.
2. Data yang diperoleh tidak merepresentasikan kondisi WICO di gedung lain atau fasilitas lain di ITERA yang juga memiliki *Wifi Corner*.
3. Temuan penelitian berpotensi memiliki keterbatasan generalisasi karena dinamika kunjungan pada lokasi lain mungkin berbeda dari WICO yang diamati.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Stokastik

Proses stokastik merupakan sekumpulan variabel acak $X(t)$ yang masing-masing diindeks oleh suatu parameter t dalam himpunan T . Umumnya, T dianggap sebagai himpunan bilangan bulat tak negatif, sehingga $X(t)$ menggambarkan karakteristik atau besaran tertentu yang dapat diamati pada waktu t .

2.2 Matriks

Untuk suatu matriks persegi (A_{nxn}) , terdapat matriks lain B_{nxn} yang memenuhi persamaan $AB = I_n$ dan $BA = I_n$. Matriks (B) tersebut disebut sebagai invers dari A dan dituliskan sebagai $B = A^{-1}$. Sebaliknya, matriks A merupakan invers dari B dan dinyatakan dengan $A = B^{-1}$. Dengan demikian, berlaku hubungan $AA^{-1} = A^{-1}A = I$, di mana I adalah matriks identitas.

2.3 Probabilitas

Probabilitas memiliki rentang nilai dari 0 hingga 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa suatu peristiwa tidak mungkin terjadi, sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa peristiwa tersebut pasti terjadi. Jika himpunan sampel n memiliki n anggota dan A merupakan peristiwa yang berasal dari S , maka peluang terjadinya peristiwa A dapat dihitung dengan rumus:

$$P(A) = \frac{n(A)}{n(S)} \quad (1)$$

Dimana :

$P(A)$ adalah probabilitas terjadinya peristiwa A ,

$n(A)$ adalah jumlah anggota peristiwa A ,

$n(S)$ adalah jumlah anggota ruang sampel.

2.4 Rantai Markov

Rantai Markov (*Markov Chain*) merupakan metode matematika yang sering digunakan untuk melakukan pemodelan terhadap berbagai jenis sistem dan proses bisnis. Teknik ini berfungsi untuk memprediksi perubahan nilai suatu variabel dinamis di masa mendatang berdasarkan informasi pada waktu sebelumnya. Secara matematis, model rantai Markov dinyatakan dengan persamaan:

$$K_n = P \times K_{n-1} \quad (2)$$

K_n : peluang terjadinya peristiwa pada waktu ke- n

K_{n-1} : peluang terjadinya peristiwa pada waktu ke- $n - 1$

P : matriks probabilitas transisional

2.5 Matriks Peluang Transisi

Matriks peluang transisi merupakan matriks yang menggambarkan peluang perpindahan suatu sistem dari satu keadaan ke keadaan lainnya dalam proses Markov. Matriks ini juga disebut matriks stokastik karena setiap elemen transisi P_{ij} bernilai tetap dan tidak bergantung pada waktu. Nilai P_{ij} menyatakan peluang berpindah dari keadaan i ke keadaan j dalam satu langkah.

2.5.1. Matriks Peluang Transisi Satu Langkah

Pada suatu rantai Markov, peluang bahwa proses berpindah dari state i ke state j pada langkah berikutnya dinotasikan sebagai

$$P\{X(n+1) = j | X_n = i\} = p_{ij} \quad (3)$$

Dengan ruang state $\{0,1,2,\dots\}$, nilai P_{ij} tersebut menunjukkan besar kemungkinan bahwa proses, ketika berada pada state i , akan melakukan transisi menuju state j pada satu langkah selanjutnya.

2.5.2 Matriks Peluang Transisi Dua Langkah

Untuk sebuah rantai Markov, peluang bahwa sistem berpindah dari keadaan i ke keadaan j pada waktu berikutnya dapat dituliskan sebagai

$$P_{ij}^{(n)} = P\{X_{t+n} = j | X_t = i\} \quad (4)$$

Karena $P_{ij}^{(n)}$ merupakan peluang bersyarat, maka nilai-nilainya harus memenuhi sifat berikut:

1. $P_{ij}^{(n)} \geq 0$, untuk semua i dan j , dengan $n = 0, 1, 2, \dots, M$
2. $\sum_{j=0}^M P_{ij}^{(n)} = 1$, untuk setiap i , dan $n = 0, 1, 2, \dots, M$

Untuk memperoleh elemen-elemen matriks transisi langkah ke- n , dapat dilakukan melalui perkalian matriks secara berulang. Misalnya:

$$P_{ij}^{(2)} = \sum_k P_{ik} P_{kj} = (P^2)_{ij} \quad (5)$$

$$P_{ij}^{(3)} = (P^2 P)_{ij} = P^3 \quad (6)$$

Secara umum diperoleh :

$$P_{ij}^{(n)} = (P^{n-1} P)_{ij} = P^n \quad (7)$$

Dengan keterangan :

$P_{ij}^{(n)}$: matriks peluang transisi n -langkah

$P_{ij}^{(n-1)}$: matriks peluang transisi $n - 1$ langkah

P_{ij} : matriks peluang transisi satu langkah

3. Metodologi

3.1 Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikategorikan sebagai Data Kuantitatif dan Data Primer. Data ini bersifat primer karena seluruh informasi diperoleh melalui proses pengumpulan langsung di lapangan oleh peneliti, bukan dari sumber sekunder seperti laporan instansi, publikasi resmi, ataupun dataset yang telah tersedia sebelumnya. Dengan demikian, kualitas serta relevansi data dapat dikontrol sepenuhnya sesuai kebutuhan penelitian.

Sifat kuantitatif data tercermin dari fokus penelitian pada nilai-nilai numerik yang dapat diukur secara objektif, seperti jumlah orang, frekuensi kedatangan, dan perubahan kondisi dari waktu ke waktu. Karakteristik ini memungkinkan peneliti melakukan berbagai analisis statistik dan komputasional, termasuk perhitungan probabilitas transisi, identifikasi pola aktivitas, analisis tren, serta pemodelan menggunakan pendekatan rantai Markov. Selain itu, data kuantitatif memberikan dasar yang kuat untuk menghasilkan kesimpulan yang terukur, dapat direplikasi, dan dapat digunakan untuk memprediksi kondisi pada periode selanjutnya.

Dengan pengumpulan data secara primer dan penggunaan pendekatan kuantitatif, penelitian ini memperoleh data yang tidak hanya akurat dan kontekstual, tetapi juga kaya informasi sehingga mampu menggambarkan dinamika aktivitas secara lebih mendalam.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik utama yang diimplementasikan untuk mengumpulkan data adalah Observasi Langsung (Direct Observation). Pada metode ini, peneliti hadir secara fisik di lokasi penelitian untuk mengamati secara langsung perilaku, aktivitas, serta dinamika pergerakan pengunjung. Keterlibatan langsung ini memungkinkan peneliti menangkap fenomena apa adanya tanpa bergantung pada persepsi atau laporan pihak lain, sehingga reliabilitas data lebih terjamin.

Observasi langsung dengan pencatatan berkelanjutan menjadi sangat penting karena mampu menyediakan data real-time, akurat, dan minim bias interpretasi. Selain itu, teknik ini memungkinkan peneliti memahami konteks di lapangan secara lebih komprehensif, seperti variasi kondisi lingkungan, jam-jam tertentu yang mengalami peningkatan aktivitas, serta faktor eksternal yang mungkin mempengaruhi pola kedatangan pengunjung. Dengan demikian, metode

ini memberikan dasar yang kuat bagi analisis selanjutnya, terutama ketika penelitian membutuhkan keakuratan tinggi dalam memodelkan perubahan keadaan menggunakan pendekatan matematis seperti Rantai Markov.

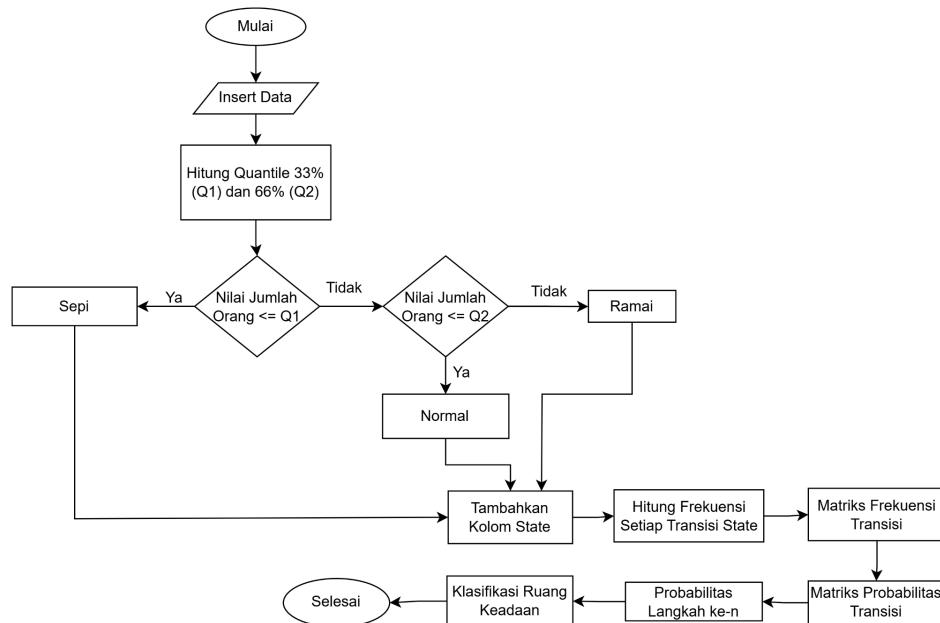
3.3 Variabel yang diamati

Dalam observasi lapangan ini, dua variabel kunci telah diidentifikasi dan diamati secara sistematis untuk mendukung proses analisis. Variabel Waktu berfungsi sebagai *variabel independen*, yang menjadi acuan utama dalam mencatat dinamika perubahan selama proses pengamatan. Variabel ini mencakup interval waktu tertentu baik per jam, per beberapa menit, maupun per hari yang telah ditetapkan secara konsisten oleh peneliti untuk memastikan bahwa pola perubahan dapat ditangkap secara runtut dan terstruktur. Dengan adanya standar interval pencatatan, setiap pengamatan dapat dibandingkan secara objektif antar periode waktu.

Variabel utama yang diukur adalah Variabel Jumlah Pengunjung, yang bertindak sebagai *variabel dependen*. Variabel ini menggambarkan total individu yang berada di lokasi pada setiap titik waktu pencatatan. Nilai jumlah pengunjung inilah yang berubah-ubah sesuai kondisi lapangan dan dipengaruhi oleh variasi waktu, sehingga memungkinkan peneliti menganalisis pola fluktuasi, tingkat keramaian, serta potensi kecenderungan naik-turun pada periode tertentu.

3.4 Diagram Alir

Sebagai alat bantu untuk mempermudah pemahaman alur kerja penelitian, Diagram Alir berikut disajikan untuk memvisualisasikan secara ringkas setiap tahap dalam penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Deskripsi Data

Data yang digunakan berisi jumlah pengunjung WICO pada interval waktu 15 menit, mulai dari pukul 08.00 hingga 17.00. Nilai “Jumlah Orang” kemudian diklasifikasikan menjadi tiga state menggunakan pendekatan *quantile*, yaitu:

1. Sepi: $\leq 33\%$ kuantil (≤ 17.22)
2. Normal: 33–66% kuantil (17.22–24.44)
3. Ramai: > 24.44

Pendekatan kuantil ini menghilangkan bias subjektif dalam menentukan kategori kepadatan. Namun, pendekatan ini juga mengasumsikan bahwa distribusi data relatif stabil sepanjang hari, sesuatu yang layak dipertanyakan jika terdapat pola puncak yang ekstrem.

Hasil klasifikasi menunjukkan pola harian yang wajar: pagi dominan *Sepi*, menjelang siang *Normal*, dan puncak pada jam makan siang berada pada kategori *Ramai*. Setelah pukul 15.00 kepadatan kembali turun.

4.2 Analisis Frekuensi Transisi

Dari 34 observasi, diperoleh frekuensi transisi yang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Frekuensi Transisi State

State Awal	State Akhir	Jumlah
Sepi	Sepi	9
Sepi	Normal	2
Sepi	Ramai	0
Normal	Sepi	2
Normal	Normal	8
Normal	Ramai	1
Ramai	Sepi	0
Ramai	Normal	1
Ramai	Ramai	11

Jika dianalisis secara lebih kritis, dominasi *self-transition* misalnya transisi *Ramai* → *Ramai* sebanyak 11 kali dapat diartikan sebagai indikasi bahwa keadaan sistem relatif stabil dalam jangka pendek. Namun, stabilitas yang tampak ini tidak selalu mencerminkan kondisi sebenarnya. Tingginya frekuensi *self-transition* juga bisa muncul akibat interval observasi 15 menit yang digunakan dalam pengambilan data. Interval yang terlalu pendek berpotensi menyebabkan variasi kondisi tidak tertangkap secara memadai, sehingga model Markov hanya mencatat keadaan yang “tetap” bukan karena sistem benar-benar stabil, melainkan karena perubahan belum sempat terjadi dalam rentang waktu tersebut.

Hal ini merupakan isu penting karena tujuan utama penerapan rantai Markov adalah untuk mempelajari mekanisme perubahan antar state secara probabilistik. Ketika nilai *self-transition* terlalu dominan, model menjadi kurang sensitif dalam mendeteksi transisi nyata, yang pada akhirnya dapat mengurangi kekuatan interpretatif dari analisis. Oleh sebab itu, penentuan interval observasi yang optimal menjadi aspek yang harus dipertimbangkan secara serius.

4.3 Matriks Probabilitas Transisi

Setelah normalisasi, diperoleh matriks probabilitas:

State	Sepi	Normal	Ramai
Sepi	0.8182	0.1818	0.0000
Normal	0.1818	0.7273	0.0909
Ramai	0.0000	0.0833	0.9167

Analisis terhadap matriks transisi menunjukkan bahwa state *Sepi* memiliki tingkat stabilitas yang cukup tinggi. Probabilitas bertahan sebesar 0.8182 mengindikasikan bahwa apabila WICO berada dalam kondisi sepi pada satu interval observasi, maka kemungkinan besar kondisi tersebut akan berlanjut pada interval berikutnya. Hal ini menggambarkan bahwa periode sepi cenderung berlangsung lebih lama dan tidak mudah beralih ke state yang lebih padat.

Sementara itu, state *Normal* dapat dikategorikan sebagai semi-stabil. Dari kondisi ini, sistem memiliki peluang untuk meningkat menjadi *Ramai* sebesar 0.0909 atau menurun menjadi *Sepi* sebesar 0.1818. Distribusi probabilitas tersebut mencerminkan dinamika alami pergerakan kunjungan selama jam operasional, khususnya pada periode menjelang atau sesudah jam puncak makan. Dengan kata lain, kondisi *Normal* berfungsi sebagai titik peralihan yang fleksibel antara keadaan rendah dan tinggi.

Di sisi lain, state *Ramai* merupakan state yang paling stabil dibandingkan yang lain. Nilai probabilitas bertahan sebesar 0.9167 menunjukkan bahwa ketika WICO sudah memasuki kondisi

padat, keadaan tersebut cenderung bertahan dalam beberapa interval pengamatan. Secara logis, hal ini sesuai dengan pola kunjungan pada jam makan siang yang biasanya mencapai titik puncak dan membutuhkan waktu untuk kembali mereda. Temuan ini juga menandakan bahwa pelepasan kepadatan kunjungan tidak terjadi secara cepat, melainkan memerlukan beberapa interval sebelum transisi menuju keadaan yang lebih longgar dapat teramat.

4.4 Probabilitas Transisi Multi-Langkah

Hasil perhitungan matriks transisi multi-langkah, mulai dari P^2 hingga P^5 , menunjukkan pola yang konsisten seiring bertambahnya jumlah langkah prediksi. Probabilitas untuk tetap berada pada state *Ramai* tetap menjadi yang tertinggi apabila kondisi awal juga *Ramai*, menandakan bahwa kepadatan yang sudah terjadi cenderung berlanjut dalam beberapa interval berikutnya. Sementara itu, probabilitas transisi dari *Sepi* menuju *Ramai* mengalami peningkatan bertahap, yakni dari 0.0165 pada dua langkah menjadi 0.0947 pada lima langkah, yang menunjukkan bahwa dalam jangka beberapa interval, peluang beralih ke keadaan lebih padat semakin terbuka.

Pada state *Normal*, penyebaran probabilitas terjadi ke arah *Sepi* maupun *Ramai*, namun proporsi terbesar tetap berada pada transisi *Normal* → *Normal*. Hal ini menandakan bahwa kondisi sedang relatif lebih stabil dibandingkan transisi naik atau turun yang mungkin terjadi.

Perhitungan multi-langkah ini bermanfaat untuk memprediksi kondisi beberapa interval ke depan dan memahami kecenderungan jangka pendek dari sistem. Namun demikian, interpretasinya harus dilakukan secara hati-hati karena model dibangun berdasarkan data dari satu hari pengamatan saja. Prediksi hingga lima langkah ke depan berpotensi memuat bias temporal yang mencerminkan pola harian spesifik dan belum tentu menggambarkan dinamika kunjungan secara lebih umum.

4.5 Distribusi Stasioner

Distribusi stasioner yang diperoleh dari matriks transisi memberikan gambaran mengenai proporsi waktu yang dihabiskan sistem pada masing-masing state dalam jangka panjang. Nilai-nilai ini merepresentasikan kecenderungan keseimbangan dinamika kunjungan setelah banyak kali transisi terjadi. Adapun distribusi stasioner yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Sepi: 0.323
- Normal: 0.323
- Ramai: 0.352

Interpretasi distribusi stasioner ini memberikan pemahaman mengenai perilaku jangka panjang sistem. Dalam jangka panjang, sekitar 32–35% waktu WICO akan berada pada masing-masing state, menunjukkan bahwa tidak ada state yang secara dominan menguasai keseluruhan periode observasi. Proporsi yang relatif berimbang ini mengindikasikan bahwa meskipun state *Ramai*

terlihat sangat stabil dalam jangka pendek, kondisi tersebut tidak mendominasi ketika dilihat dari perspektif jangka panjang. Hal ini menegaskan bahwa dinamika kunjungan cenderung bergerak menuju keseimbangan yang stabil di antara ketiga state yang diamati

Selanjutnya, analisis pada waktu kembali rata-rata (*mean recurrence time*) memberikan informasi mengenai berapa lama rata-rata waktu yang diperlukan bagi sistem untuk kembali ke state tertentu setelah meninggalkannya. Hasilnya adalah sebagai berikut:

- Sepi: 3.09 interval
- Normal: 3.09 interval
- Ramai: 2.83 interval

Dengan interval observasi 15 menit, state *Ramai* memiliki waktu kembali rata-rata yang paling cepat, yaitu sekitar 42 menit. Temuan ini sejalan dengan pola kunjungan harian, di mana kondisi ramai pada jam makan siang cenderung berulang dalam periode waktu yang relatif singkat.

4.6 Klasifikasi Ruang Keadaan

Seluruh state dalam model ini diklasifikasikan sebagai recurrent, tanpa adanya state yang bersifat *absorbing* maupun *transient*. Klasifikasi ini konsisten dengan struktur matriks transisi, di mana setiap state memiliki peluang untuk kembali pada dirinya sendiri dan tidak terdapat state yang memutus rantai perpindahan. Hal ini sejalan dengan karakteristik sistem kunjungan WICO yang secara alami berulang mengikuti ritme aktivitas harian.

Namun demikian, penting untuk menekankan bahwa interpretasi ini bersifat matematis. Secara fenomenologis, state *Ramai* menunjukkan kecenderungan yang lebih “*sticky*” dibandingkan kedua state lainnya, sehingga dalam praktiknya tampak hampir menyerupai *practically absorbing*. Catatan ini diperlukan agar pembaca tidak salah memahami dinamika sebenarnya, yaitu bahwa stabilitas *Ramai* dalam jangka pendek tidak serta-merta menjadikannya state yang menyerap secara teoritis.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola perpindahan antar state menunjukkan stabilitas jangka pendek, terutama pada state *Ramai*, dengan probabilitas self-transition tertinggi (0.9167). State *Sepi* dan *Normal* menunjukkan tingkat stabilitas menengah dan berfungsi sebagai titik transisi dalam dinamika harian.
2. Pada prediksi beberapa langkah ke depan (P^2 hingga P^5), peluang perpindahan dari *Sepi* → *Ramai* meningkat, menandakan adanya potensi kenaikan kepadatan dalam rentang

waktu yang lebih panjang. State Normal tetap menjadi posisi tengah yang fleksibel, dengan kecenderungan terbesar kembali ke dirinya sendiri.

3. Seluruh state diklasifikasikan sebagai *recurrent*, yang berarti ketiganya akan selalu kembali muncul dalam sistem dan tidak ada state yang bersifat transient atau absorbing.

Merujuk pada temuan di atas, beberapa saran dapat diberikan sebagai berikut:

1. Memanfaatkan hasil distribusi stasioner dan probabilitas transisi untuk menentukan waktu optimal penguatan layanan (misalnya penambahan kursi, pengaturan ventilasi, atau peningkatan kapasitas *Wi-Fi* saat mendekati jam puncak).
2. Interval waktu observasi dapat diperpanjang (misalnya 20–30 menit) untuk menangkap fluktuasi yang lebih signifikan dan mengurangi bias akibat self-transition yang terlalu tinggi.
3. Menambahkan variabel eksternal seperti cuaca, jadwal perkuliahan, atau kondisi akademik (minggu UTS/UAS) untuk melihat pengaruh faktor luar terhadap dinamika keramaian.

Daftar Pustaka

- [1] D. G. Allo, D. Hatidja, and M. Paendong, “Analisis Rantai Markov untuk Mengetahui Peluang Perpindahan Merek Kartu Seluler Pra Bayar GSM (Studi Kasus Mahasiswa Fakultas Pertanian Unsrat Manado),” *Jurnal MIPA UNSRAT Online*, vol. 2, pp. 17–22, 2013.
- [2] H. Anton and A. Kaul, *Elementary Linear Algebra*. Wiley, 2019.
- [3] H. Anton and C. Rorres, “Elementary Linear Algebra in American College of Radiology Network,” Wiley, 2004.
- [4] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*. Boston: McGraw-Hill, 2001.
- [5] Y. A. R. Langi, “Penentuan Klasifikasi State pada Rantai Markov dengan Menggunakan Nilai Eigen dari Matriks Peluang Transisi,” *Jurnal Ilmiah Sains*, vol. 11, pp. 124–130, 2011.
- [6] F. N. Masuku, Y. A. R. Langi, and C. Mongi, “Analisis Rantai Markov untuk Memprediksi Perpindahan Konsumen Maskapai Penerbangan Rute Manado–Jakarta,” *Jurnal Ilmiah Sains*, vol. 18, pp. 75–79, 2018.