

Pemodelan Probabilistik Ketersediaan Lahan Parkir Mobil Berbasis Markov Chain: Studi Kasus Gedung F ITERA

Disusun guna memenuhi tugas mata kuliah
Pemodelan Stokastik



**Disusun Oleh
Kelompok 13 :**

**Elisabeth Claudia S (122450123)
Virdio Samuel Saragih (122450124)
Nasywa Nur Afifah (122450125)
Mirzan Yusuf Rabbani (122450118)**

**PROGRAM SAINS DATA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
SUMATERA SELATAN
2025**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	1
ABSTRAK.....	1
BAB I	
PENDAHULUAN.....	2
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Proses Stokastik dan Rantai Markov.....	4
2.2 Model Markov pada Sistem Parkir.....	4
2.3 State dalam Model Markov untuk Parkir Gedung F ITERA.....	5
2.3 Matriks Transisi.....	5
2.4 Distribusi Stasioner.....	5
2.5 Studi Terdahulu.....	6
BAB III	
METODOLOGI.....	7
3.1 Desain Penelitian.....	7
3.2 Sumber Data.....	7
3.3 Penentuan State Okupansi Parkir.....	8
3.4 Model Markov.....	8
3.5 Diagram Alir.....	9
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	11
4.1 Deskripsi Data.....	11
4.2 Identifikasi Ruang Keadaan.....	12
4.2 Matriks Transisi.....	13
4.3 Diagram Transisi Markov.....	14
4.4 Prediksi Langkah ke-n.....	14
4.5 Distribusi Stasioner.....	15
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN.....	17
4.1 Kesimpulan.....	17
4.2 Saran.....	17
DAFTAR PUSTAKA.....	18
LAMPIRAN.....	19

ABSTRAK

Ketersediaan lahan parkir yang terbatas di Gedung F Institut Teknologi Sumatera (ITERA) sering menimbulkan kepadatan kendaraan pada jam sibuk, sehingga diperlukan analisis prediktif untuk mendukung pengelolaan parkir yang lebih efisien. Penelitian ini bertujuan untuk membangun dan menerapkan model rantai Markov dalam memprediksi dinamika ketersediaan parkir mobil pada waktu tertentu maupun dalam jangka panjang. Data diperoleh melalui observasi langsung jumlah mobil yang terparkir setiap 30 menit mulai pukul 07.00 hingga 17.00, kemudian kondisi parkir diklasifikasikan ke dalam tiga state okupansi, yaitu state 3 (kapasitas menengah), state 4 (mendekati penuh), dan state 5 (penuh). Matriks transisi dibentuk berdasarkan frekuensi perpindahan antar state yang terjadi selama pengamatan dan digunakan untuk menghitung probabilitas prediksi langkah ke- n serta distribusi stasioner. Hasil analisis menunjukkan bahwa perpindahan antar state didominasi oleh transisi antara state 4 dan state 5, sehingga parkir cenderung berada pada kondisi padat hingga penuh sepanjang aktivitas kampus berlangsung. Prediksi pada pukul 17.30 menghasilkan probabilitas 1,00 untuk kondisi mendekati penuh (state 4), dan distribusi stasioner menunjukkan bahwa state 5 memiliki probabilitas jangka panjang tertinggi sebesar 0,56 yang mengindikasikan lahan parkir beroperasi mendekati kapasitas maksimal. Dengan demikian, model Markov terbukti efektif dalam menggambarkan dinamika stokastik okupansi parkir serta memberikan informasi penting bagi optimalisasi pengelolaan fasilitas parkir kampus.

Kata Kunci : Rantai Markov, Prediksi Parkir, Distribusi Stasioner, Proses Stokastik, Okupansi Parkir, ITERA.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aktivitas mahasiswa, dosen, dan tenaga kependidikan di Gedung F Institut Teknologi Sumatera (ITERA) menyebabkan tingginya mobilitas kendaraan setiap harinya. Hal ini berpengaruh langsung terhadap kondisi ketersediaan lahan parkir, terutama pada jam-jam sibuk seperti pagi hari dan menjelang perkuliahan dimulai. Pola kedatangan dan keberangkatan mobil bersifat acak (*stochastic*) sehingga kondisi okupansi parkir selalu berubah dari waktu ke waktu. Jika perubahan ini tidak dimodelkan dengan baik, maka potensi masalah seperti kepadatan parkir, antrian panjang, serta ketidakefisienan penggunaan lahan dapat muncul.

Pendekatan matematis menggunakan rantai Markov (Markov Chain) merupakan salah satu metode yang efektif untuk menganalisis sistem dengan perubahan keadaan yang bersifat probabilistik, ini dapat ditunjukkan melalui penelitian yang serupa yang menunjukkan bahwa Markov Chain mampu menggambarkan probabilitas perpindahan antar keadaan parkir, menghitung distribusi stasioner, serta memprediksi jumlah kendaraan yang mungkin memenuhi area parkir pada jangka panjang [1]. Melalui pendekatan ini, dinamika perubahan kapasitas parkir dapat dianalisis secara lebih sistematis dan terukur.

Dengan menerapkan konsep Markov Chain pada konteks parkir mobil Gedung F ITERA, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran matematis mengenai dinamika okupansi parkir [2], potensi antrian, serta estimasi tingkat keterisian pada langkah ke- n maupun kondisi jangka panjang. Hasil analisis ini penting untuk mendukung pengelolaan fasilitas parkir yang lebih terukur dan efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas berdasarkan latar belakang adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana model stokastik berbasis rantai Markov dapat membantu memprediksi kondisi parkir pada waktu tertentu maupun jangka panjang?
2. Untuk apa hasil pemodelan ini digunakan, dan bagaimana kontribusinya terhadap peningkatan efisiensi pengelolaan area parkir kampus?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang juga menjadi dasar dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun dan menerapkan model berbasis rantai Markov untuk menggambarkan pola perpindahan keadaan ketersediaan parkir, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi kondisi parkir pada waktu tertentu maupun kondisi jangka panjang.
2. Menganalisis hasil prediksi dari model Markov untuk menjelaskan bagaimana model tersebut dapat memberikan informasi yang bermanfaat

dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir kampus, baik dari sisi perencanaan, kenyamanan, maupun mobilitas mahasiswa maupun tenaga pengajar.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dirumuskan untuk mendukung dan menjawab rumusan masalah, terutama terkait fungsi prediksi dan kontribusi hasil pemodelan, yaitu:

1. Memberikan gambaran probabilistik mengenai ketersediaan parkir pada waktu tertentu, sehingga mahasiswa dapat memperkirakan kondisi parkir dan mengatur waktu kedatangan secara lebih strategis.
2. Membantu mahasiswa mengurangi risiko keterlambatan masuk kelas akibat kepadatan parkir dengan memahami pola okupansi yang bersifat probabilistik dan dapat diprediksi melalui model Markov.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Stokastik dan Rantai Markov

Proses stokastik adalah proses matematika yang melibatkan perubahan keadaan secara acak dalam suatu sistem seiring waktu, dan sering digunakan untuk memodelkan fenomena dinamis yang bersifat probabilistik [3], seperti lalu lintas kendaraan, antrian, serta fluktuasi okupansi parkir. Salah satu proses stokastik yang paling banyak diterapkan adalah rantai Markov (*Markov Chain*), yang memiliki karakteristik dasar yaitu memori pendek (*Markov Property*), sehingga status berikutnya hanya bergantung pada keadaan sekarang dan tidak pada sejarah sebelumnya [3]. Rantai Markov dapat dinyatakan dalam bentuk State (ruang keadaan) dan matriks transisi yang menggambarkan probabilitas perpindahan antar keadaan dalam satu interval waktu [4]. Pada kasus okupansi parkir, state dapat didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang terparkir pada waktu tertentu.

2.2. Model Markov pada Sistem Parkir

Pada model Markov diskrit, matriks transisi P merupakan komponen inti yang berisi probabilitas perpindahan dari suatu state pada matriks P_{ij} merepresentasikan probabilitas bahwa sistem berpindah dari state i ke state j dalam satu interval waktu ke state lainnya. Setiap baris pada matriks menunjukkan keadaan saat ini, sedangkan kolom menunjukkan keadaan pada langkah berikutnya. Nilai

Dalam penelitian sistem parkir, nilai-nilai ini diperoleh dari frekuensi observasi transisi kondisi parkir. Membangun matriks transisi berdasarkan agregasi perubahan okupansi tiap rentang waktu tertentu. Dengan demikian, semakin banyak data observasi yang dikumpulkan, semakin akurat matriks transisi yang dihasilkan [5].

Pada pembahasan ini, matriks yang dibangun dan dihitung akan berdasarkan nilai transisi kategori sebagai berikut :

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} & P_{26} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} & P_{56} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} & P_{65} & P_{66} \end{bmatrix}$$

2.3 State dalam Model Markov untuk Parkir Gedung F ITERA

Dalam markov “*State*” digambarkan sebagai ruang keadaan, state berupa sebuah nilai dari variabel acak X_t pada waktu t , dan himpunan semua nilai yang mungkin ini disebut state space. State dapat berupa himpunan berhingga maupun tak berhingga yang mewakili kondisi sistem, misalnya cuaca, status perangkat, atau posisi dalam antrian.

Dalam penelitian ini, kondisi okupansi parkir Gedung F ITERA dimodelkan sebagai enam state yang merepresentasikan interval jumlah mobil terparkir dari 0 hingga kapasitas maksimum 60 mobil, sehingga membentuk ruang keadaan (state space) bagi rantai Markov yang digunakan. Setiap observasi jumlah mobil pada suatu interval waktu dipetakan ke salah satu dari enam state ini, dan probabilitas perpindahan antar state dihitung dari frekuensi perubahan kondisi parkir, sejalan dengan prinsip bahwa perilaku proses stokastik ke depan cukup ditentukan oleh state saat ini. Pembagian ini berfungsi sebagai ruang keadaan (state space) bagi rantai Markov sehingga setiap observasi jumlah mobil per interval waktu akan dipetakan ke salah satu dari enam state tersebut. Dengan pemetaan ini, probabilitas perpindahan antar state dapat dihitung berdasarkan frekuensi perubahan kondisi parkir.

2.3. Matriks Transisi

Matriks transisi mengandung nilai probabilitas pindah dari satu state ke state lain. Untuk sistem parkir, baris dan kolom matriks merepresentasikan jumlah mobil terparkir saat ini dan pada langkah berikutnya. P_{ij} merepresentasikan probabilitas bahwa sistem berpindah dari state i ke state j dalam satu interval waktu [6]. Berikut rumus untuk Matriks Transisi :

$$P_{ij} = \frac{\text{Jumlah Transisi } i \rightarrow j}{\text{Total dari state } i}$$

2.4. Distribusi Stasioner

Distribusi stasioner merupakan kondisi ketika probabilitas sistem berada pada setiap state tidak lagi berubah seiring waktu (steady-state). Distribusi ini penting untuk mengetahui kemungkinan sistem berada dalam keadaan tertentu, seperti parkir penuh, dalam jangka waktu panjang. Dengan membangun model Markov yang sesuai serta menghitung distribusi stasionernya, pengelola dapat memperkirakan risiko kepadatan parkir, antrian, ataupun kekurangan kapasitas, sehingga strategi pengelolaan yang lebih efisien dapat diterapkan. Perhitungan Distribusi Stasioner dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut [6] :

$$\pi = \pi P$$

2.5. Studi Terdahulu

Untuk mendukung penelitian ini, berikut disajikan ringkasan studi terdahulu yang relevan dengan topik analisis dan prediksi okupansi parkir menggunakan pendekatan Markov Chain.

Tabel 1. Studi Terdahulu

No	Judul	Data	Metode	Hasil
1	THE PREDICTION OF PARKING SPACE AVAILABILITY	Data historical parkir, Data jumlah kendaraan yang masuk dan keluar tempat parkir, dan Data interval waktu tertentu untuk membentuk matriks transisi	Discrete Time Markov Chain untuk prediksi ketersediaan parkir, pembagian state	Rantai markov terbukti dapat memprediksi tingkat keterisian parkir di masa yang akan datang
2	Cooperative Multiagent System for Parking Availability Prediction Based on Time Varying Dynamic Markov Chains	Data real-time hasil sensor parkir yang memantau status ruang parkir, data waktu saat pengamatan perpindahan kondisi ruang parkir	Multi Agent System, dan Markov Decision Process untuk prediksi dan menghitung probabilitas transisi	Sistem dapat memprediksi ketersediaan ruang parkir secara akurat, model mampu meningkatkan efisiensi pencarian parkir
3	Stochastic Model of Electric Vehicle Parking Lot Occupancy in Vehicle-to-Grid (V2G)	Stochastic Model of Electric Vehicle Parking Lot Occupancy in Vehicle-to-Grid (V2G)	Markov Chain untuk prediksi probabilitas kedatangan	Didapatkan hasil probabilitas, estimasi waktu tunggu rata rata, jumlah antrian

BAB III METODOLOGI

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan stokastik berbasis Rantai Markov (Markov Chain). Fokus utama penelitian adalah menganalisis perubahan keadaan (state) okupansi parkir dari waktu ke waktu dan menghitung peluang perpindahan antar state untuk memprediksi kondisi pada langkah berikutnya maupun jangka panjang. Desain penelitian ini bersifat deskriptif-analitis, karena tidak hanya menggambarkan pola perubahan data, tetapi juga mengkaji perilaku sistem parkir melalui model matematis.

3.2. Sumber Data

Data yang digunakan merupakan data primer hasil pengamatan langsung jumlah mobil yang parkir di Gedung F ITERA. Pengamatan dilakukan pada interval waktu setiap 30 menit, dimulai dari pukul 07.00 hingga 17.00. Setiap titik waktu mencatat:

1. Waktu pengamatan
2. Jumlah total mobil yang terparkir
3. Kategori tingkat kepadatan sesuai dengan state
4. State okupansi berdasarkan interval jumlah mobil

Pemilihan interval 30 menit dimaksudkan untuk memperoleh data deret waktu yang stabil, mengurangi fluktuasi kecil yang tidak signifikan, serta memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai dinamika perubahan okupansi parkir. Seluruh data disusun dalam format *time series*, sehingga memungkinkan terjadinya analisis transisi keadaan secara berurutan sebagaimana disyaratkan dalam pemodelan Markov.

3.3. Penentuan State Okupansi Parkir

Agar sistem parkir dapat dianalisis sebagai proses stokastik dengan keadaan diskrit, jumlah mobil pada setiap waktu observasi dikelompokkan ke dalam enam state berdasarkan perkiraan rentang kapasitas parkir gedung f yaitu sebanyak 60 kantong parkir sebagai berikut:

Tabel 2. Inisiasi state

State	Jumlah Mobil Terparkir	Keterangan
State 1	0-10	Longgar / Banyak Tempat
State 2	11-20	Masih Tersedia Banyak Tempat
State 3	21-30	Kapasitas Menengah
State 4	31-40	Mendekati Penuh
State 5	41-50	Sedikit Tempat Tersisa
State 6	51-60	Hampir Penuh

Klasifikasi ini disusun untuk mencerminkan tingkat keterisian secara proporsional terhadap kapasitas parkir yang tersedia. Selain itu, pembentukan state diperlukan agar dinamika perubahan okupansi dapat diformalkan ke dalam struktur rantai Markov melalui transisi antar keadaan.

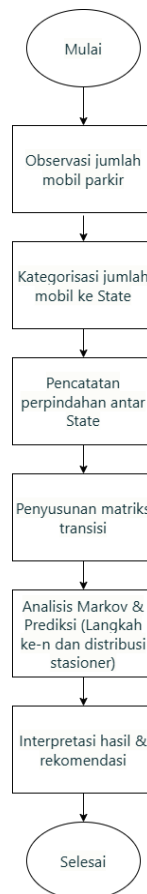
3.4. Model Markov

Model Markov dalam penelitian ini digunakan dengan mengklasifikasikan jumlah kendaraan yang terparkir ke dalam ruang keadaan (state space) berdasarkan tingkat okupansi parkir yang diamati setiap 30 menit. Tiga state digunakan untuk mewakili kondisi parkir Gedung F ITERA, yaitu State 3 (kapasitas menengah), State 4 (mendekati penuh), dan State 5 (penuh). Perubahan jumlah mobil dari satu interval waktu ke interval berikutnya akan dipakai sebagai perpindahan antar state sehingga menghasilkan deret perubahan kondisi parkir yang bersifat stokastik. Berdasarkan pola perpindahan tersebut, penyusunan matriks transisi dapat dibangun dengan menghitung frekuensi perpindahan dari setiap state, kemudian menentukan probabilitasnya melalui rasio jumlah transisi menuju state tertentu terhadap total transisi dari state asal.

Selanjutnya, probabilitas pada matriks transisi digunakan untuk melakukan prediksi kondisi parkir pada langkah ke-n dan menganalisis distribusi stasioner untuk melihat kecenderungan perilaku parkir dalam jangka panjang. Prediksi probabilitas langkah ke-n memberikan estimasi kondisi parkir pada waktu yang akan datang berdasarkan state terakhir yang teramati, sedangkan distribusi

stasioner memberikan gambaran kecenderungan parkir lebih sering berada dalam kondisi penuh ketika sistem berjalan secara kontinu. Dengan pendekatan metodologi ini, rantai Markov tidak hanya memberikan representasi matematis atas dinamika parkir yang fluktuatif, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan strategis terkait pengelolaan fasilitas parkir kampus secara lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

3.5. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir

Diagram alir pada Gambar 2 mempresentasikan langkah-langkah utama dalam pelaksanaan penelitian pemodelan stokastik dengan Markov Chain. Berikut penjelasan rinci tiap tahapan diagram alir:

1. Mulai
Tahapan awal penelitian yang menandai dimulainya seluruh proses, termasuk pemahaman tujuan utama dan penetapan ruang lingkup studi kasus pemodelan parkir Gedung F.
2. Observasi Jumlah Mobil Parkir
Melakukan pengamatan jumlah kendaraan yang terparkir pada interval waktu tertentu (setiap 30 menit) selama jam operasional kampus. Data dicatat secara berurutan untuk membangun deret waktu.

3. Kategorisasi Data ke State
Hasil observasi jumlah mobil parkir kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa kategori state (misal: longgar, sedang, penuh), berdasarkan pembagian kapasitas maksimum lahan parkir.
4. Pencatatan Perpindahan Antar State
Setiap perubahan dari satu state ke state lain pada interval waktu dicatat untuk memperoleh data perpindahan dan pola transisi antar kondisi okupansi parkir.
5. Penyusunan Matriks Transisi
Membangun matriks transisi berdasarkan data frekuensi perpindahan state yaitu, menghitung probabilitas perubahan dari satu kondisi parkir ke kondisi lain dalam satu periode waktu.
6. Analisis Markov dan Prediksi
Mengolah matriks transisi untuk:
 - a. Memprediksi kondisi parkir pada langkah ke-n (periode berikutnya).
 - b. Menghitung distribusi stasioner (kondisi probabilitas jangka panjang).
 - c. Menganalisis kecenderungan dinamika parkir Gedung F baik jangka pendek maupun panjang.
7. Interpretasi Hasil dan Rekomendasi
Menafsirkan hasil analisis, menarik kesimpulan, dan memberikan rekomendasi yang relevan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan fasilitas parkir kampus.
8. Selesai
Menyelesaikan seluruh proses penelitian, mulai dari pengumpulan data, analisis, hingga penulisan laporan dan saran.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada hasil observasi secara langsung selama satu hari aktivitas kampus, yaitu hari Senin dengan interval waktu 30 menit mulai dari pukul 07.00 hingga 17.00. Data kemudian disajikan dalam bentuk tabel jumlah kendaraan terparkir pada setiap waktu pengamatan yang dilengkapi dengan kategorisasi state berdasarkan tingkat okupansi parkir. Secara kasat mata, ringkasan statistik menunjukkan bahwa nilai jumlah mobil cenderung tinggi dengan rata-rata mendekati batas kapasitas kritis, yang mengindikasikan tingginya potensi kepadatan pada jam operasional.

Tabel 3. Dataset

Hari	Jam	Jumlah Mobil Parkir di Gedung F	
		Total	Jenis
Senin	7	48	Pagi
	7.30	33	
	8	47	
	8.30	32	
	9	44	
	9.30	34	
	10	39	Siang
	10.30	38	
	11	34	
	11.30	44	
	12	33	
	12.30	46	
	13	37	Sore
	13.30	30	
	14	48	
	14.30	46	
	15	36	
	15.30	22	
	16	37	
	16.30	47	
	17	21	

4.2. Identifikasi Ruang Keadaan

Pada penelitian, pengambilan data dilakukan secara observasi dengan interval waktu sebesar 30 menit pada dalam periode satu hari pengamatan (07.00-17.00). Dengan State yang telah dibuat, hasil observasi data menunjukkan kapasitas tersedia mencapai 60 lot, tetapi mayoritas waktu area parkir berada dalam kondisi padat dan mendekati penuh. Hasil observasi jumlah mobil per interval waktu kemudian dipetakan ke salah satu dari keenam state. Setiap perubahan jumlah mobil mengindikasikan perpindahan state, yang menjadi dasar perhitungan frekuensi transisi. Berikut hasil data setelah penambahan state sesuai rules yang ditentukan:

Tabel 4. Pengklasifikasi Data

Hari	Jam	Jumlah Mobil Parkir di Gedung F		Kondisi	State
		Total	Jenis		
Senin	7	48	Pagi	Penuh	State 5
	7.30	33		Sedang	State 4
	8	47		Penuh	State 5
	8.30	32		Sedang	State 4
	9	44		Penuh	State 5
	9.30	34		Sedang	State 4
	10	39	Siang	Sedang	State 4
	10.30	38		Sedang	State 4
	11	34		Sedang	State 4
	11.30	44		Penuh	State 5
	12	33		Sedang	State 4
	12.30	46		Penuh	State 5
	13	37	Sore	Sedang	State 4
	13.30	30		Sedang	State 3
	14	48		Penuh	State 5
	14.30	46		Penuh	State 5
	15	36		Sedang	State 4
	15.30	22		Sedang	State 3
	16	37		Sedang	State 4
	16.30	47		Penuh	State 5
	17	21		Sedang	State 3

Diperoleh rangkaian kondisi jumlah mobil yang kemudian direpresentasikan ke dalam tiga state, yaitu State 3 (21-30 mobil), State 4 (31-40

mobil), dan State 5 (41-50 mobil). Dalam penelitian ini, state-state tersebut digunakan untuk memodelkan perubahan kondisi parkir menggunakan pendekatan rantai Markov. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa area parkir cenderung berada pada kondisi mendekati penuh dan penuh selama sebagian besar waktu operasional perkuliahan. Hal ini terlihat dari dominasi perpindahan state yang terjadi antara State 4 dan State 5 sepanjang hari.

4.2. Matriks Transisi

Penyusunan matriks transisi berdasarkan data perpindahan state antar waktu pengamatan. Matriks transisi ini berisi probabilitas perpindahan antar state dalam satu langkah waktu (30 menit), dan dirumuskan berdasarkan perbandingan antara jumlah transisi spesifik dengan total transisi dari masing-masing state, berikut data perpindahan antar state :

Tabel 5. Data Perpindahan State

Perpindahan	State 3	State 4	State 5	Total
State 3	0	1	0	1
State 4	0	1	6	7
State 5	1	4	1	6

Proses pembangunan matriks transisi disesuaikan dengan rumus nya dimana Jumlah transisi $i \rightarrow j$ dibagi dengan Total dari state i . Hasil matriks transisi yang terbentuk seperti pada Tabel 5.

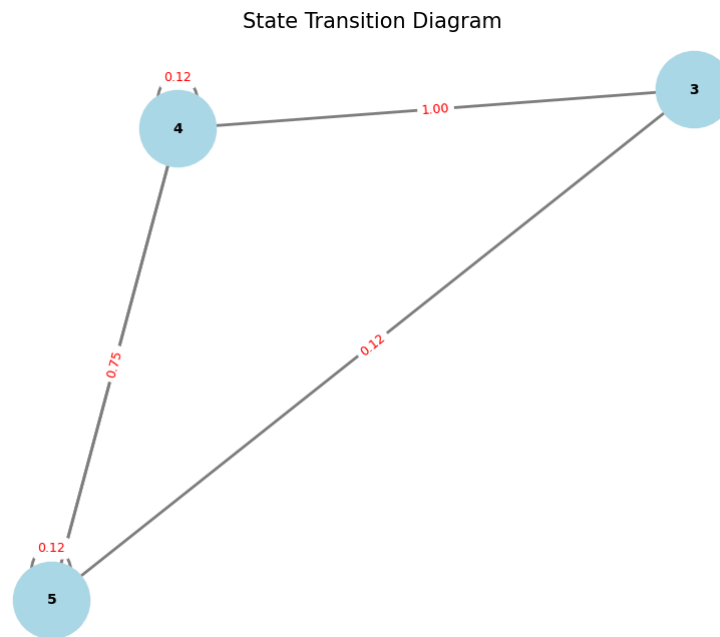
Tabel 6. Matriks Transisi

Kondisi	State 3	State 4	State 5
State 3	0.0	1.0	0.0
State 4	0.0	0.125	0.75
State 5	0.125	0.5	0.125

Pada Tabel 6 diperoleh bahwa peluang perpindahan dari State 4 ke State 5 mencapai 0,75, yang mengindikasikan kecenderungan lahan parkir menjadi penuh pada jam-jam sibuk. Begitu pula, transisi dari State 5 ke State 4 memiliki probabilitas 0,50, sehingga penggunaan lahan parkir bersifat fluktuatif antara kondisi padat dan penuh. Sementara itu, State 3 memiliki probabilitas yang sangat kecil untuk muncul kembali setelah terjadi transisi dari state lain, menunjukkan bahwa kondisi parkir yang longgar sangat jarang terjadi selama aktivitas kampus berlangsung.

4.3. Diagram Transisi Markov

Diagram Transisi dihasilkan dari hubungan antar state yang sudah dibuat berdasarkan nilai pada Tabel 6. Matriks Transisi, diagram ini yang memperlihatkan arah dan kekuatan perpindahan probabilitas. Berikut hasil Diagram Transisi yang dibangun :



Gambar 2. Diagram Matrix Transisi Markov Chain

Gambar 2 ini menegaskan pola dominan $4 \rightarrow 5$ dan $5 \rightarrow 4$ sebagai siklus utama kondisi parkir, sementara state 3 hanya muncul sesekali pada periode akhir jam aktivitas. Selanjutnya, model Markov ini diterapkan untuk memprediksi kondisi parkir pada waktu berikutnya. Berdasarkan kondisi aktual pukul 17.00 yang berada pada State 3, hasil perhitungan probabilitas langkah ke-1 (jam 17.30) menunjukkan bahwa parkir akan berada pada State 4 dengan probabilitas 100%. Artinya, meskipun terdapat penurunan jumlah kendaraan menjelang jam pulang, masih terdapat kemungkinan signifikan bahwa area parkir akan kembali padat.

4.4. Prediksi Langkah ke-n

Hasil model rantai markov yang telah dibangun ini, dapat langsung digunakan untuk menghitung probabilitas langkah ke-n. Pada pukul 17.00, kondisi aktual menunjukkan bahwa jumlah mobil terparkir berada pada State 3, yaitu rentang 21-30 kendaraan. Berdasarkan matriks transisi yang diperoleh dari data observasi, dilakukan perhitungan probabilitas satu langkah ke depan yang mewakili kondisi pada pukul 17.30.

$$X_1 = X_0 \cdot P \quad (1)$$

Menggunakan rumus ini untuk mendapatkan hasil prediksi pada jam 17.30. Nilai X_0 akan mempresentasikan nilai ke n-1 yang berarti merujuk pada jam 17.00 dan P memuat nilai matriks transisi seperti pada Tabel 5.

$$X_1 = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.75 \\ 0.125 & 0.5 & 0.125 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X_1 = [0 \ 1 \ 0]$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem memiliki probabilitas sebesar 100% untuk berpindah dari State 3 menuju State 4 pada langkah berikutnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa okupansi parkir pada pukul 17.30 diprediksi berada dalam kategori mendekati penuh dengan rentang 31-40 kendaraan yang terparkir. Hasil ini menggambarkan penggunaan parkir pada pukul 17.30 diprediksi berada dalam kategori mendekati penuh dengan rentang 31-40 kendaraan yang terparkir. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun menjelang akhir jam operasional kampus jumlah kendaraan sempat menurun, parkir masih berpeluang kembali padat dalam waktu singkat. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh pergerakan kendaraan yang dinamis, seperti mahasiswa yang tetap berada di kampus untuk menyelesaikan tugas, mengikuti kelas tambahan, ataupun menunggu jadwal kepulangan yang berbeda. Oleh karena itu, model Markov tidak hanya mampu menangkap pola kepadatan pada jam sibuk, tetapi juga memberikan gambaran prediktif mengenai kemungkinan meningkatnya okupansi parkir pada situasi yang terlihat mulai lengang.

4.5. Distribusi Stasioner

Distribusi stasioner akan dipresentasikan dari vektor baris, di transposisikan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi &= \pi P \\ \pi_1 &= 1\pi_2 \\ \pi_2 &= 0.125\pi_2 + 0.75\pi_3 \\ \pi_3 &= 0.125\pi_1 + 0.5\pi_2 + 0.125\pi_3 \end{aligned} \quad (3)$$

Selanjutnya hasil perhitungan dari rumus distribusi stasioner ini didapatkan State 5 memiliki probabilitas sebesar 0,56, State 4 sebesar 0,40, dan State 3 hanya sebesar 0,04. Jika diinterpretasikan untuk jangka panjang ini mengartikan bahwa parkir Gedung F ITERA akan lebih sering berada dalam kondisi penuh atau sistem parkir bekerja hampir pada kapasitas maksimum dan hanya sesekali memasuki kondisi yang lebih longgar. Hal ini menegaskan bahwa fasilitas parkir saat ini berada pada kondisi yang rawan mengalami kelebihan

kapasitas serta menimbulkan ketidaknyamanan pengguna parkir seperti antrian dan mobil yang tidak mendapatkan tempat.

Hasil analisis yang diperoleh melalui pendekatan rantai Markov mampu menunjukkan karakteristik dan pola perkembangan kondisi parkir Gedung F secara komprehensif. Model ini berhasil menangkap dinamika perpindahan antar kondisi parkir secara probabilistik dan memberikan prediksi yang relevan terhadap situasi nyata di lapangan. Hasil menunjukkan bahwa dinamika perubahan jumlah kendaraan terparkir di Gedung F ITERA secara signifikan dipengaruhi oleh jadwal aktivitas akademik. Puncak kepadatan umumnya terjadi pada pagi hingga siang hari, ketika mayoritas mahasiswa dan tenaga pengajar berada di gedung untuk kegiatan perkuliahan. Temuan ini memberikan gambaran nyata bagi pengelola kampus bahwa kapasitas parkir saat ini berada pada kondisi tidak ideal dan berisiko menimbulkan penumpukan kendaraan, maka strategi peningkatan efisiensi pengelolaan parkir, penyediaan informasi ketersediaan parkir secara real-time, dan penyediaan lokasi parkir alternatif sangat direkomendasikan untuk mendukung mobilitas civitas akademika secara lebih lancar dan efektif.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori proses stokastik pada sistem antrian dan pemodelan transportasi, di mana kedatangan kendaraan bersifat acak dan dapat dimodelkan melalui probabilitas transisi pada rantai Markov. Pola fluktuatif padat dan penuh yang ditemukan pada area parkir Gedung F juga konsisten dengan hasil penelitian terdahulu mengenai model Markov pada sistem parkir yang menyatakan bahwa keterbatasan ruang dan tingginya mobilitas kampus menyebabkan kondisi parkir sering berada pada keadaan jenuh. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memvalidasi penerapan Markov Chain dalam konteks parkir kampus, tetapi juga memperkuat temuan pada literatur bahwa sistem parkir membutuhkan pengelolaan berbasis prediksi agar lebih efisien dan responsif terhadap beban penggunaan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis prediktif okupansi parkir Gedung F ITERA menggunakan rantai Markov, dapat disimpulkan bahwa

1. Model Markov yang dibangun dari data observasi okupansi parkir mampu menggambarkan pola perpindahan antar state parkir secara probabilistik melalui matriks transisi. Prediksi langkah ke-n menunjukkan kemampuan model dalam memperkirakan kondisi parkir pada waktu berikutnya, seperti pada pukul 17.30 yang diprediksi berada pada State 4 (mendekati penuh). Analisis distribusi stasioner menunjukkan bahwa kondisi parkir Gedung F ITERA cenderung sering berada dalam keadaan penuh (State 5) dalam jangka panjang dengan probabilitas tertinggi sebesar 0,56. Temuan ini membuktikan bahwa rantai Markov efektif untuk memodelkan dan memprediksi dinamika okupansi parkir.
2. Informasi probabilistik yang dihasilkan model dapat digunakan mahasiswa untuk memperkirakan tingkat kepadatan parkir sehingga dapat mengatur waktu kedatangan secara lebih strategis dan mengurangi risiko keterlambatan. Selain itu, bagi pihak pengelola kampus, hasil prediksi ini dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan seperti penambahan kapasitas parkir, penyediaan sistem informasi ketersediaan parkir real-time, serta pengaturan mobilitas kendaraan agar penggunaan lahan lebih optimal. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk memberikan manfaat praktis dalam pengelolaan parkir telah tercapai.

4.2. Saran

Penelitian ini menyarankan agar pengembangan pada tahap berikutnya dilakukan dengan memperluas jangkauan data observasi, baik dari sisi durasi pengamatan, variasi hari, maupun penambahan variabel yang mempengaruhi pola kedatangan kendaraan, sehingga model Markov yang digunakan dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat. Selain itu, metode dapat dikembangkan menggunakan pendekatan probabilistik yang lebih kompleks seperti Hidden Markov Model atau integrasi dengan algoritma pembelajaran mesin, sehingga mampu menangkap dinamika perubahan okupansi parkir yang bersifat non-linier dan lebih adaptif terhadap kondisi nyata yang terus berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. L. Tilahun and G. Di Marzo Serugendo, "Cooperative multiagent system for parking availability prediction based on time varying dynamic markov chains," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2017, pp. 1-14, 2017, doi: 10.1155/2017/1760842.
- [2] A. Klappenecker, H. Lee, and J. L. Welch, "Finding available parking spaces made easy," *Ad Hoc Networks*, vol. 12, pp. 243-249, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.adhoc.2012.03.002.
- [3] H. Zhang *et al.*, "Stochastic occupancy modeling for spaces with irregular occupancy patterns using adaptive B-Spline-based inhomogeneous Markov Chains," *Building and Environment*, vol. 261, p. 111721, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111721.
- [4] H. Brožová and M. Růžicka, "THE PREDICTION OF PARKING SPACE AVAILABILITY," *Transport*, vol. 35, no. 5, pp. 462-473, Dec. 2020, doi: 10.3846/transport.2020.14016.
- [5] J. Riyono, C. E. Pujiastuti, and A. L. Riyana Putri, "Forecasting Laju Inflasi Indonesia Menggunakan Rantai Markov," *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, vol. 8, no. 1, p. 1, Jan. 2022, doi: 10.24014/jsms.v8i1.14767.
- [6] R. Serfozo, *Basics of Applied Stochastic Processes*. Springer Science & Business Media, 2009.
- [7] A. Abdurrahman, "Penerapan Rantai Markov dalam Menentukan Jumlah Tingkat Pengangguran di Provinsi Sumatera Utara ", *Innovative*, vol. 5, no. 3, pp. 5528-5539, Jun. 2025.

LAMPIRAN

Link Kode:

https://github.com/sains-data/Stokastik_13_RA