

# Kajian Pengelolaan Jalan Provinsi di Pekanbaru Dengan Aplikasi Model Rantai Markov

## *Study of Provincial Road Mangement in Pekanbaru Using the Markov Chain Model*

Jihan Ramadhania<sup>1</sup>, Sapitri<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution No. 113, Pekanbaru, Riau, Indonesia

Penulis korespondensi : spitriap@eng.uir.ac.id

Tel.: +62-853-5339-9057

Diterima: Mar 29, 2026 ; Direvisi: Apr 10, 2026 ; Disetujui: Apr 29, 2026

DOI: 10.25299/saintis.2026.vol26(01).27612

### Abstrak

Permasalahan infrastruktur jalan provinsi di wilayah Pekanbaru didominasi oleh tingginya laju kerusakan yang dipicu oleh beban kendaraan berlebih (*Over Dimension Over Load/ODOL*) serta pertambahan umur layan jalan. Seiring bertambahnya masa operasional, terjadi degradasi struktural secara bertahap yang menyebabkan penurunan tingkat pelayanan jalan secara signifikan. Kondisi ini mengakibatkan pola penurunan kondisi perkerasan menjadi sulit diprediksi secara deterministik, sehingga diperlukan pendekatan stokastik untuk memodelkan ketidakpastian transisi kerusakan tersebut demi optimasi manajemen pemeliharaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prediksi kerusakan jalan serta program pemeliharaan yang optimal guna mempertahankan dan meningkatkan kondisi jaringan jalan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model rantai Markov yang memodelkan perubahan kondisi perkerasan jalan dari waktu ke waktu berdasarkan probabilitas transisi antarkondisi. Penelitian dilakukan pada enam ruas jalan utama di Kota Pekanbaru, yaitu Jalan Soekarno-Hatta, Simpang Beringin-Meredan, Simpang Pramuka-Pt. Sir, Jalan Hangtuah, Jalan SM. Amin dan Jalan Tuanku Tambusai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanpa adanya pemeliharaan, kondisi jalan yang baik akan terus menurun, sementara kondisi rusak berat akan meningkat seiring waktu. Proporsi jalan dalam kondisi baik awalnya berkisar antara 66% hingga 77%, menurun menjadi 29% hingga 39%, sementara kondisi jalan rusak meningkat drastis, bahkan lebih dari 20% pada masing-masing ruas. Oleh karena itu, program pemeliharaan jalan yang diterapkan secara terstruktur berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan sesuai Permen PU No. 13/PRT/M/2011, meliputi pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi, dan rekonstruksi, sangat diperlukan untuk menjaga kualitas jaringan jalan di Pekanbaru.

**Kata Kunci:** Rantai Markov, Prediksi Kerusakan Jalan, Pengelolaan Jalan, Pemeliharaan Jalan

### Abstract

The problems with provincial road infrastructure in the Pekanbaru area are dominated by the high rate of damage caused by excessive vehicle loads (*Over Dimension Over Load/ODOL*) and the increasing age of the roads. As the operational period increases, there is a gradual structural degradation that causes a significant decline in road service levels. This condition makes the pattern of pavement condition deterioration difficult to predict deterministically, thus requiring a stochastic approach to model the uncertainty of damage transition for maintenance management optimisation. The purpose of this study is to determine the prediction of road damage and the optimal maintenance program to maintain and improve the condition of the road network. The approach used in this study is the Markov Chain Model, which models changes in pavement conditions over time based on the transition probabilities between conditions. The research was conducted on six main roads in the city of Pekanbaru, namely Jalan Soekarno-Hatta, Simpang Beringin-Meredan, and Simpang Pramuka-Pt. Sir, Jalan Hangtuah, Jalan SM. Amin, and Jalan Tuanku Tambusai. The results of the study show that without maintenance, the condition of roads in good condition will continue to decline, while severe damage conditions will increase over time. The proportion of roads in good condition initially ranged from 66% to 77%, decreasing to 29% to 39%, while the condition of damaged roads increased drastically, even exceeding 20% in each section. Therefore, a structured road maintenance program, based on the type and level of damage and in accordance with Minister of Public Works Regulation No. 13/PRT/M/2011, which includes routine, periodic, rehabilitation, and reconstruction, is essential to maintain the quality of the road network in Pekanbaru.

**Keywords:** Markov chain, Road management, Road maintenance

## PENDAHULUAN

Jalan merupakan sarana transportasi utama yang memfasilitasi pergerakan manusia dan barang, serta berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia [1] [2]. Seiring meningkatnya jumlah penduduk, volume kendaraan, serta bertambahnya umur pelayanan jalan, kondisi jalan cenderung mengalami penurunan akibat keru-

sakan yang terjadi secara bertahap [3]. Kerusakan pada jalan dapat berdampak pada penurunan kecepatan serta gangguan pada kenyamanan dan keselamatan kendaraan yang melintas [4].

Tahun 2023, Provinsi Riau tercatat memiliki panjang jalan provinsi sebanyak 2.694 km dengan 162 km berada di Pekanbaru [5]. Banyaknya jumlah kendaraan bermotor dan bertambahnya umur pelayanan jalan, jaringan jalan cenderung mengalami

penurunan tingkat pelayanan secara cepat atau lambat. Menurunnya tingkat pelayanan jalan akan ditandai dengan adanya kerusakan pada jalan. Kerusakan jalan di Pekanbaru secara umum berupa jalan yang berlobang, bergelombang, dan retak [6] [7]. Hal tersebut berpotensi disebabkan oleh adanya kendaraan berat yang melintas (potensi *overload*), bertambahnya volume kendaraan di Riau (khususnya di Pekanbaru), belum maksimalnya pengelolaan jalan di Pekanbaru, banjir saat musim hujan. Kerusakan yang terjadi juga bervariasi pada setiap segmen di sepanjang ruas jalan. Apabila dibiarkan dalam jangka waktu yang lama, maka akan semakin memperparah kerusakan ruas jalan itu sendiri dan akan memberikan rasa kurang aman dan nyaman bagi pengguna jalan.

Pengelolaan jalan yang efektif sangat dibutuhkan untuk menjaga dan memperbaiki kondisi jaringan jalan agar dapat digunakan secara efisien dan aman sepanjang tahun, sekaligus memperhatikan aspek lingkungan. Pengelolaan jaringan jalan yang berfokus pada perkerasan jalan, penyelenggara jalan dapat menerapkan sistem manajemen perkerasan (SMP) yang dilakukan mulai dari tahap perencanaan, perancangan, konstruksi, evaluasi pelayanan, serta pemeliharaan dan rehabilitasi [8]. Implementasi SMP memerlukan dukungan dari pemodelan kinerja jalan yang akurat, karena dengan pengamatan dan prediksi kinerja yang tepat, perencanaan pemeliharaan dan rehabilitasi dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Salah satu model kinerja jalan yang dapat diprediksi adalah tingkat kerusakan perkerasan jalan [9]. Terdapat dua metode yang digunakan untuk memprediksi kerusakan perkerasan jalan, yaitu model deterministik dan probabilitas [10]. Model deterministik memprediksi suatu nilai yang eksak berdasarkan fungsi matematis dari hasil observasi, sedangkan model probabilistik memprediksi kondisi sebagai nilai probabilitas terjadinya berbagai kemungkinan hasil.

Salah satu metode pemodelan probabilistik adalah teknik Markov, yang merupakan teknik probabilistik yang telah terbukti sebagai alat yang efektif dalam memprediksi kinerja perkerasan di masa depan [11]. Model rantai Markov adalah suatu metode matematis yang digunakan untuk memodelkan sistem yang berubah seiring waktu, dimana keadaan saat ini hanya bergantung pada keadaan sebelumnya. Rantai markov mengasumsikan perubahan kondisi perkerasan bergantung pada kondisi perkerasan saat ini. Pada proses penggunaannya, model rantai markov memerlukan matriks probabilitas transisi (MPT) untuk mendefinisikan perubahan kondisi

perkerasan jalan dari satu kondisi ke kondisi lainnya. Prediksi performa perkerasan dengan rantai markov juga dapat mengintegrasikan tingkat penurunan kondisi perkerasan dan tingkat perbaikan kondisi perkerasan [11]. Keuntungan penggunaan model rantai Markov dalam memprediksi kondisi adalah kemampuan mengatasi ketidakpastian dari konstruksi, lingkungan, dan kualitas bahan [12]. Selain itu, model rantai markov memiliki kelebihan dalam hal kemudahannya untuk digunakan pada penyusunan rencana anggaran pemeliharaan setiap tahun dengan memberikan hasil yang optimum ditinjau dari segi biaya untuk jenis pemeliharaan rutin [13]. Penggunaan model rantai Markov dalam memprediksi kondisi perkerasan jalan dapat membantu dalam membandingkan kondisi keseluruhan setelah dilakukan tindakan pemeliharaan pada jaringan jalan, sehingga tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan tepat dan optimal [14].

### **Model Rantai Markov**

Teori rantai Markov pertama kali dikemukakan oleh Prof. Andrei A. Markov pada tahun 1906. Rantai Markov adalah suatu teknik matematika yang bisa digunakan untuk pembuatan model bermacam-macam sistem dan proses bisnis. Analisis rantai Markov adalah suatu metode yang mempelajari sifat-sifat suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada sifat-sifatnya pada masa lalu dalam usaha menaksir sifat-sifat variabel tersebut di masa yang akan datang. Analisis rantai Markov ini sangat berguna untuk menganalisis pergerakan atau perubahan yang terjadi di berbagai aspek. Defenisi dari pergerakan yaitu pergerakan dari suatu tempat ke tempat lain atau dari suatu kondisi ke kondisi lain dan pergerakan dari satu state ke state lain. Dalam hal ini, state mengacu pada kelas/kelompok. Metode ini dapat digunakan sebagai teknik untuk menjelaskan kejadian di masa depan secara matematis [15]. Pendekatan probabilistik sederhana dikembangkan untuk memprediksi kinerja perkerasan. Pendekatan ini bisa dilakukan dengan rantai markov, seperti yang dilakukan pada penelitian ini, model rantai markov digunakan untuk memprediksi perubahan suatu kondisi jalan dari tahun ke tahun berikutnya. Prediksi kondisi masa depan dengan Rantai Markov merupakan proses stokastik dan disusun berdasarkan 3 batasan [10] meliputi:

1. Batasan pertama: prosesnya diskrit terhadap waktu.

- Batasan kedua: proses harus memiliki state yang dapat dihitung atau terhingga.
- Batasan ketiga: proses tersebut harus memenuhi properti Markov.

Ciri-ciri analisis Markov [10] yaitu sebagai berikut.

- Jika kondisi awal diketahui, maka proses acak terjadi pada kondisi pada periode berikutnya, yang dinyatakan dengan probabilitas yang disebut probabilitas transisi.
- Probabilitas transisi tidak akan berubah selama lamanya.
- Probabilitas transisi hanya bergantung pada keadaan awal.

Dalam prediksi performa perkerasan jalan dengan model stokastik dapat dikatakan memenuhi properti Markov apabila kondisi perkerasan di masa mendatang bergantung pada kondisi perkerasan saat ini.

### Pemeliharaan Jalan

Pemeliharaan jalan adalah kegiatan penanganan jalan, berupa pencegahan, perawatan dan perbaikan yang diperlukan untuk mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi secara optimal melayani lalu lintas sehingga umur rencana yang ditetapkan dapat tercapai [16]. Pemograman pemeliharaan jalan juga meliputi kegiatan menentukan ruas/segmen ruas jalan yang masuk dalam penanganan pekerjaan, pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi dan rekonstruksi. Penentuan jenis program penanganan jalan mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan untuk memastikan bahwa pemeliharaan jalan dilakukan secara sistematis dan terencana. Peraturan ini memberikan pedoman yang jelas mengenai standar dan prosedur yang harus diikuti dalam pelaksanaan pemeliharaan jalan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam penggunaan anggaran. Selain itu, peraturan ini juga bertujuan untuk menjamin keselamatan pengguna jalan dan memperpanjang umur infrastruktur jalan yang ada. Penentuan jenis penanganan jalan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13 Tahun 2011 ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Penentuan Jenis Penanganan Jalan

Kondisi Jalan	Persentase Batasan Kerusakan	Program Penanganan
Baik (B)	< 6 %	Pemeliharaan Rutin
Sedang (S)	6 - <11 %	Pemeliharaan Rutin/Berkala

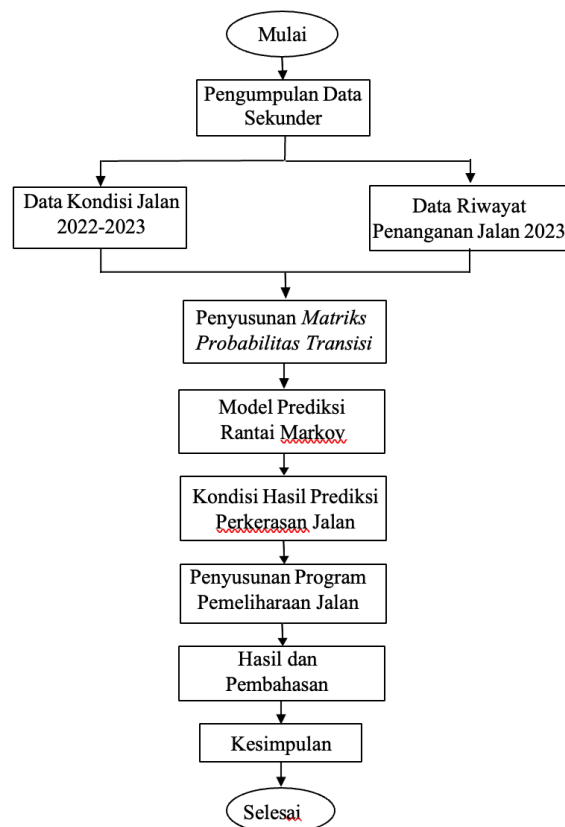
Kondisi Jalan	Persentase Batasan Kerusakan	Program Penanganan
Rusak Ringan (RR)	11 - < 15 %	Pemeliharaan Rehabilitasi
Rusak Berat (RB)	15 > %	Rekonstruksi / Peningkatan Struktur

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2011 [16]

Berdasarkan isu terkait pemeliharaan jalan provinsi yang berada dalam wilayah Pekanbaru, maka tujuan dari penelitian ini adalah melakukan prediksi kerusakan jalan serta program pemeliharaan yang optimal guna mempertahankan dan meningkatkan kondisi jaringan jalan dengan pemodelan Rantai Markov.

### METODOLOGI

Secara keseluruhan, proses penelitian ini dilakukan dengan empat tahapan, dimulai dari pengumpulan data, analisis proses rantai Markov (dari penyusunan matriks hingga prediksi perkerasan jalan), penyusunan program pemeliharaan dan pembahasan hasil penelitian. Setiap tahap memiliki hubungan sekuensial, di mana keluaran tahap sebelumnya menjadi masukan di tahap berikutnya. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan Penelitian

Ruas jalan yang ditinjau sebagai objek pada penelitian ini adalah jalan provinsi. Data yang digunakan adalah periode 2022-2023. Penelitian dilakukan pada enam ruas jalan provinsi yang ada di wilayah Pekanbaru, yaitu: (i) Jln. Soekarno-Hatta, (ii) Simpang Pramuka-PT.Sir, (iii) Simpang Beringin-Meredan, (iv) Jln. Hangtuah, (v) Jln. SM. Amin, dan (vi) Jln. Tuanku Tambusai. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas PUPR Provinsi Riau. Data tersebut antara lain: (1) Data kondisi perkerasan jalan, sebagai variabel yang akan digunakan dalam pemodelan. Data kondisi jalan ini terbagi menjadi empat tingkatan, yaitu: Baik, Sedang, Rusak Ringan dan Rusak Berat seperti (lihat Tabel 2). (2) Data riwayat penanganan jalan, digunakan untuk mengetahui jenis penanganan dan besaran alokasi biaya yang telah dilaksanakan pada tahun sebelumnya.

**Table 2.** Data Lokasi Penelitian

Nama Ruas Jalan	Panjang Ruas (km)	Jenis Perkerasan
Jln. Soekarno-Hatta	13.210	Aspal 12.51 km & beton 0.70 km
Simpang Pramuka-PT.Sir	23.900	Aspal
Simpang Beringin-Meredan	13.220	Aspal 0.10 km & beton 13.21 km
Jln. Hangtuah	8.500	Aspal
Jln. SM. Amin	5.130	Aspal
Jln. Tuanku Tambusai	7.500	Aspal

Sumber: Data Sekunder Dinas PUPR Provinsi Riau Tahun 2023

Pada proses permodelan rantai Markov, terdapat beberapa langkah yang dilakukan, yaitu:

- (1) Penentuan kriteria state kondisi;
- (2) Perhitungan distribusi kondisi awal;
- (3) Penyusunan matriks probabilitas transisi;
- (4) Model prediksi kondisi perkerasan;
- (5) Penyusunan program pemeliharaan jalan.

Pada penelitian ini, tahun 2023 ditentukan sebagai tahun dasar atau state kondisi (t=0). Dari data kondisi jalan tahun 2022-2023, distribusi kondisi perkerasan dapat dihitung berdasarkan klasifikasi nilai kondisi yang telah ditentukan. Selanjutnya perhitungan distribusi kondisi awal diperoleh dengan cara membandingkan panjang segmen jalan yang berada pada kondisi tertentu dengan panjang total dari ruas jalan yang ditinjau. Persamaan perhitungan proporsi distribusi kerusakan menggunakan rumus berikut,

$$\text{Proporsi distribusi kerusakan} = \frac{\text{kondisi kerusakan}}{\text{panjang total jalan}} \quad (1)$$

Dengan menggunakan analogi perubahan kondisi perkerasan, dapat ditentukan vektor awal. Vektor awal menunjukkan kemungkinan atau distribusi segmen perkerasan berada dalam kondisi atau keadaan tertentu, dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi awal setiap proses. Perhitungan vector kondisi awal dilakukan dengan Vektor kondisi awal ( $a_0$ ) disusun berupa sebagai:

$$a_0 = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (2)$$

$a_0$  = nilai kondisi state i pada tahun dasar (t = 0)

Berikutnya, Matriks Probabilitas Transisi (MPT) disusun berdasarkan data transisi kondisi jalan dalam satu tahun operasional perkerasan jalan (tahun 2022 - 2023). Kategori yang digunakan adalah tidak ada penanganan, pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi dan rekonstruksi. MPT yang disusun pada kategori ini berisikan nilai probabilitas transisi peningkatan.

Rantai Markov dengan MPT dapat menunjukkan kemungkinan suatu perkerasan dengan tingkat lalu lintas dan umur dapat berpindah dari satu kondisi kerusakan ke kondisi kerusakan lainnya dalam waktu tertentu. MPT juga dapat menampilkan perubahan kondisi dari suatu keadaan ke keadaan lainnya pada waktu yang akan datang. Penyusunan MPT memodelkan perubahan kondisi perkerasan terhadap waktu, yang diwakili dengan P. Bentuk umum dari P pada persamaan [10] [17].

$$P = \begin{bmatrix} P11 & P12 & \dots & P1n \\ P21 & P22 & \dots & P2n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ PN1 & PN2 & \dots & PNN \end{bmatrix} \quad (3)$$

MPT tersebut berisi segala informasi yang dibutuhkan untuk memodelkan pergerakan perubahan kondisi segmen. Perilaku proses markovian dimodelkan dengan menggunakan probabilitas transisi  $P_{ij}$ , yang memberikan probabilitas dimana bagian dari segmen jalan yang ditinjau berpindah dari *state i* ke *state j* dalam satu siklus. Pada setiap MPT harus memenuhi kondisi sebagai berikut [10]:

1. Jumlah masukan dari masing-masing baris sama dengan 1
2. Semua nilai masukan tidak boleh negatif.

Dengan diperolehnya vektor kondisi awal ( $a_0$ ) dan MPT dari hasil perhitungan, maka terbentuk model rantai Markov. Perhitungan estimasi kondisi perkerasan tahun ke-t menggunakan model prediksi ini dilakukan dengan

cara mengalikan vektor kondisi awal dengan MPT. Kondisi perkerasan di masa mendatang dapat diprediksi menggunakan rumus [10] [15], seperti yang ditampilkan pada Persamaan 4.

$$a_t = a_{t-1} x p = a_0 x p^t \quad (4)$$

Keterangan:

$a_t$  : distirbusi kondisi pada waktu t,

$a_0$  : distribusi kondisi pada waktu ke-0, yang merupakan vaktor awal ( $a_{t-1}$ )

$p^t$  : MPT yang ditingkatkan dengan kontrol waktu t

t : waktu yang berlalu dalam satuan tahun

Setelah mendapatkan model prediksi rantai Markov, maka aplikasi model untuk memprediksi kondisi perkerasan jalan di masa mendatang dapat dilakukan.

## HASIL DAN DISKUSI

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kondisi perkerasan jalan pada tahun 2023 sebagai vektor kondisi awal pada tahun dasar (t=0), data kondisi jalan pada tahun 2022-2023 sebagai data transisi kondisi jalan dalam satu tahun dan data riwayat penanganan jalan yang dilakukan pada tahun 2023. Data ini didapatkan dari instansi Dinas Pekerjaan Umum, Penataan Ruang, Perumahan, Kawasan Permukiman dan Pertanahan (PUPRPKPP) Provinsi Riau. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13/PRT/M/2011, terdapat empat jenis kondisi jalan, yaitu kondisi Baik (B), kondisi Sedang (S), kondisi Rusak Ringan (RR), kondisi Rusak Berat (RB). Berikut data kondisi jalan provinsi pada tahun 2022 (Tabel 3) dan 2023 (Tabel 4) berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas PUPR Provinsi Riau.

**Table 3.** Kondisi Jalan Tahun 2022

Nama Ruas	Panjang Jalan (Km)	Kondisi Jalan			
		B	S	RR	RB
Jln. Soekarno - Hatta (Km)	13.21	9.51	3.70	0	0
Simpang Pramuka - Pt. Sir (Km)	22.94	21.84	1.10	0	0
Simpang Beringin - Meredan (Km)	13.22	10.82	2.18	0.18	0.05
Jln. Hangtuah (Km)	8.54	8.24	0.30	0	0
Jln. S. M. Amin (Km)	5.16	3.10	2.06	0	0
Jln. Tuanku Tambusai (Km)	7.52	6.22	1.30	0	0

**Table 4.** Kondisi Jalan Tahun 2023

Nama Ruas	Panjang Jalan (Km)	Kondisi Jalan			
		B	S	RR	RB
Jln. Soekarno - Hatta (Km)	13.21	10.31	2.70	0.20	0
Simpang Pramuka - Pt. Sir (Km)	23.90	20.90	2.50	0.50	0
Simpang Beringin - Meredan (Km)	13.22	10.82	2.18	0.18	0.05
Jln. Hangtuah (Km)	8.50	7.70	0.60	0.20	0
Jln. S. M. Amin (Km)	5.13	3.40	1.63	0.10	0
Jln. Tuanku Tambusai (Km)	7.50	6.30	1.10	0.10	0

Tabel 3 dan Tabel 4 di atas menunjukkan kondisi keenam ruas jalan provinsi di Kota Pekanbaru pada tahun 2022 dan 2023. Tabel tersebut memperlihatkan adanya perbedaan kondisi pada masing-masing ruas jalan. Namun, secara umum, rata-rata kondisi jalan pada keenam ruas tersebut dalam kategori Baik (B) pada kedua tahun (2022 dan 2023).

### A. Prediksi Kerusakan Jalan dengan Rantai Markov

Prediksi kerusakan jalan dengan model rantai markov memerlukan vektor kondisi awal (proporsi distribusi kerusakan awal) dan matriks probabilitas transisi (MPT). Vektor kondisi awal merepresentasikan proporsi kondisi jalan pada tahun dasar dalam bentuk probabilitas. Pada penelitian ini yang dijadikan vektor kondisi awal atau tahun dasar (t=0) yaitu tahun 2023. Sementara itu, untuk menyusun matriks probabilitas transisi (MPT) menggunakan data kondisi jalan tahun 2022-2023 sebagai data transisi kondisi jalan tersebut.

#### Vektor Kondisi Awal

Vektor kondisi awal digunakan untuk menggambarkan proporsi atau distribusi kondisi awal ruas jalan pada tahun dasar (t=0) sesuai dengan kategori kondisi awal ruas jalan yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini data kondisi kerusakan jalan tahun 2023 yang dijadikan sebagai perhitungan untuk vektor kondisi awal. Perhitungan vektor kondisi awal, dilakukan dengan menentukan proporsi distribusi kerusakan yang dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

Sebagai contoh, perhitungan awal dilakukan dari Jalan Soekarno-Hatta hingga Jalan Tuanku Tambusai. Jalan Soekarno-Hatta memiliki total panjang 13,21 km, di mana 10,31 km dengan kondisi baik, 2,70 km dengan kondisi sedang, 0,20 km dengan kondisi rusak ringan, dan 0 km dengan

kondisi rusak berat. Selanjutnya, dengan persamaan 4, vektor kondisi awal dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Proporsi distribusi keadaan baik} &= \frac{\text{panjang kondisi baik}}{\text{panjang total jalan}} \\ &= \frac{10,31 \text{ Km}}{13,21 \text{ Km}} = 0,78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporsi distribusi kead sedang} &= \frac{\text{panjang kondisi sedang}}{\text{panjang total jalan}} \\ &= \frac{2,70 \text{ Km}}{13,21 \text{ Km}} = 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporsi distribusi R. Ringan} &= \frac{\text{panjang kondisi R. Ringan}}{\text{panjang total jalan}} \\ &= \frac{0,20 \text{ Km}}{13,21 \text{ Km}} = 0,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporsi distribusi R. Berat} &= \frac{\text{panjang kondisi R. Berat}}{\text{panjang total jalan}} \\ &= \frac{0 \text{ Km}}{13,21 \text{ Km}} = 0 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan proporsi distirbusi kerusakan jalan di atas, dapat ditentukan vektor kondisi awal adalah  $a_0 = 0,78; 0,20; 0,02; 0$ . Artinya, vektor kondisi awal pada tahun dasar ( $t=0$ ) mengidentifikasi bahwa terdapat 78% jalan dalam kondisi baik (B), 20% dalam kondisi sedang (S), 2% dalam kondisi rusak ringan (RR), dan 0% rusak berat (RB).

Begitu seterusnya dilakukan perhitungan vektor kondisi awal untuk keempat jalan provinsi lainnya yang menjadi objek penelitian ini. Rekapitulasi hasil perhitungan kondisi awal jalan provinsi yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

**Table 5.** Rekapitulasi Hasil Perhitungan Proporsi Distribusi Kerusakan Jalan Pada Kondisi Awal

Nama Ruas	Panjang Jalan (Km)	Kondisi Jalan			
		B	S	RR	RB
Jln. Soekarno - Hatta	13.21	0,78	0,20	0,02	0
Simpang Pramuka - Pt. Sir	23.9	0,87	0,11	0,02	0
Simpang Beringin - Meredan	13.22	0,82	0,16	0,015	0,005
Jln. Hangtuah	8.5	0,91	0,07	0,02	0
Jln. SM. Amin	5.13	0,66	0,32	0,02	0
Jln. Tuanku Tambusai	7.5	0,84	0,15	0,01	0

Berdasarkan Tabel 5, hasil perhitungan vektor kondisi awal menunjukkan bahwa persentasi keadaan jalan dalam kondisi baik relative tinggi dibandingkan ke tiga kondisi lainnya.

**Matriks Probabilitas Transisi (MPT)**

Matriks probabilitas transisi pada model rantai Markov adalah matriks yang berisi nilai-nilai probabilitas perpindahan dari suatu keadaan (state) ke keadaan lain dalam satu langkah waktu. Matriks yang digunakan adalah matriks 4x4 dan nilai disetiap baris matriks harus 1 tidak boleh negatif, dimana setiap baris dan kolom mewakili tingkat kondisi jalan, seperti: kolom/baris 1: Baik (S), kolom/baris 2: Sedang (S), kolom/baris 3: Rusak Ringan (RR), kolom/baris 4: Rusak Berat (RB).

Pada penelitian ini data kondisi jalan dalam satu siklus waktu diambil dari data kondisi jalan di tahun 2022 dan tahun 2023. Berdasarkan data yang tersedia pada Tabel 3 dan Tabel 4 didapat nilai Matriks Probabilitas Transisi (MPT). Berikut disajikan contoh hasil penyusunan MPT pemodelan rantai Markov pada ruas jalan Soekarno-Hatta,

MPT Tidak ada pemeliharaan (TP)

$$P = \begin{bmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks probabilitas transisi diatas menggambarkan kemungkinan perubahan kondisi jalan dari satu periode ke periode berikutnya, tanpa ada pemeliharaan. Setiap baris dan kolom mewakili tingkat kondisi jalan.

Baris 1 (kondisi awal: baik) 0.85 peluang jalan tetap baik, 0.13 peluang turun menjadi sedang, 0.02 peluang jalan turun menjadi rusak ringan dan tidak ada peluang jalan menjadi rusak berat. Baris 2 (kondisi awal: sedang) 0 tidak ada peluang membaik karena tidak dilakukan pemeliharaan, 0.7 peluang tetap sedang, 0.3 peluang turun menjadi rusak ringan, 0 tidak ada peluang jalan menjadi rusak berat. Baris 3 (kondisi awal:rusak ringan) 0 tidak ada peluang membaik ke kondisi baik atau sedang, 0.5 peluang tetap rusak ringan, 0.5 peluang jalan turun menjadi rusak berat. Baris 4 (kondisi awal:rusak berat) 1 peluang tetap rusak berat karena tidak ada perbaikan atau pemeliharaan.

MPT Pemeliharaan rutin (PR)

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0,6 \end{bmatrix}$$

MPT diatas menggambarkan perubahan kondisi jalan jika dilakukan pemeliharaan rutin. Baris 1 (kondisi awal: baik) 1 jalan tetap dalam

kondisi baik karena dilakukannya pemeliharaan rutin. Baris 2 (kondisi awal: sedang) 0.9 peluang membaik karena dilakukan pemeliharaan, 0.1 peluang tetap sedang, dan tidak ada peluang jalan menjadi rusak ringan dan rusak berat. Baris 3 (kondisi awal: rusak ringan) 0 tidak ada peluang membaik ke kondisi baik 0.3 peluang jalan kondisi sedang, 0.7 peluang jalan rusak ringan, 0 tidak ada peluang jalan menjadi rusak berat. Baris 4 (kondisi awal: rusak berat) 0 tidak ada peluang membaik ke kondisi baik atau sedang, 0.4 peluang jalan rusak ringan, 0.6 peluang jalan rusak berat

#### MPT Pemeliharaan Berkala (PB)

$$P = \begin{bmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,3 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,35 & 0,05 \\ 0 & 0,2 & 0,7 & 0,1 \end{bmatrix}$$

MPT diatas menggambarkan perubahan kondisi jalan jika dilakukan pemeliharaan berkala. Baris 1 (kondisi awal: baik) 0.95 jalan tetap dalam kondisi baik, 0.05 peluang jalan sedang, karena dilakukannya pemeliharaan berkala. Baris 2 (kondisi awal: sedang) 0.5 peluang membaik karena dilakukan pemeliharaan, 0.3 peluang tetap sedang, 0.2 peluang jalan rusak ringan, 0 tidak ada peluang rusak berat. Baris 3 (kondisi awal: rusak ringan) 0 tidak ada peluang membaik ke kondisi baik 0.6 peluang jalan kondisi sedang, 0.35 peluang jalan rusak ringan, 0.05 peluang jalan menjadi rusak berat. Baris 4 (kondisi awal: rusak berat) 0 tidak ada peluang membaik ke kondisi baik 0.2 peluang jalan kondisi sedang, 0.7 peluang jalan rusak ringan, 0.1 peluang jalan menjadi rusak berat.

#### MPT Rehabilitasi (R)

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,62 & 0 & 0,38 & 0 \\ 0,62 & 0 & 0 & 0,38 \end{bmatrix}$$

MPT diatas menggambarkan perubahan kondisi jalan jika dilakukan rehabilitasi. Baris 1 (kondisi awal: baik) 1 jalan tetap dalam kondisi baik karena dilakukannya rehabilitasi. Baris 2 (kondisi awal: sedang) 1 jalan tetap dalam kondisi sedang. Baris 3 (kondisi awal: rusak ringan) 0.62 peluang jalan kondisi baik dan 0.32 peluang jalan kondisi rusak ringan. Baris 4 (kondisi awal: rusak berat) 0.62 peluang jalan kondisi baik dan 0.32 peluang jalan

kondisi rusak berat.

#### MPT Rekonstruksi (Re)

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0,85 & 0,15 & 0 & 0 \\ 0,7 & 0,2 & 0,1 & 0 \end{bmatrix}$$

MPT di atas menggambarkan perubahan kondisi jalan jika dilakukan rekonstruksi. Baris 1 (kondisi awal: baik) 1 jalan tetap dalam kondisi baik karena dilakukannya rekonstruksi. Baris 2 (kondisi awal: sedang) 0.9 peluang membaik karena dilakukan rekonstruksi, 0.1 peluang tetap sedang, dan tidak ada peluang jalan menjadi rusak ringan dan rusak berat. Baris 3 (kondisi awal: rusak ringan) 0.85 peluang jalan kondisi baik, 0.15 peluang jalan kondisi rusak sedang dan tidak ada peluang jalan menjadi rusak ringan dan rusak berat. Baris 4 (kondisi awal: rusak berat) 0.7 peluang jalan kondisi baik, 0.2 peluang jalan kondisi sedang, 0.1 peluang jalan kondisi rusak ringan dan tidak ada peluang jalan kondisi rusak berat.

#### Prediksi Kerusakan Jalan

Prediksi kerusakan jalan dilakukan pada keenam ruas jalan untuk lima tahun mendatang, 2024–2028. Prediksi kerusakan jalan dengan model rantai Markov dapat dihitung dengan mengalikan vektor kondisi awal dengan matriks probabilitas transisi (MPT) secara berulang untuk setiap periode waktu. Berdasarkan Persamaan 4, dapat dihitung prediksi kerusakan jalan sebagai berikut.

$$a_1 = a_0 \times \text{MPT}$$

Sebagai contoh, berikut disajikan perhitungan prediksi kerusakan jalan pada ruas Jalan Soekarno-Hatta 2024–2028 dengan matriks probabilitas transisi tidak dilakukan pemeliharaan dengan vektor kondisi awal  $a_0 = [0,78 \ 0,20 \ 0,02 \ 0]$ .

##### 1. Prediksi kerusakan tahun ke 1 (2024)

$$a_1 = [0,78 \ 0,20 \ 0,02 \ 0] \times \begin{bmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$a_1 = [0,66 \ 0,24 \ 0,09 \ 0,01]$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa pada tahun 2024 ruas Jalan Soekarno – Hatta memiliki 66% kondisi baik, 24% kondisi sedang, 9% kondisi rusak ringan dan 1%

kondisi rusak berat.

2. Prediksi kerusakan tahun ke 2 (2025)

$$a_2 = [0,66 \ 0,24 \ 0,09 \ 0,01]x \begin{vmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$a_2 = [0,56 \ 0,26 \ 0,13 \ 0,05]$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui prediksi tahun ke 2 ruas Jalan Soekarno – Hatta memiliki 56% kondisi baik, 26% kondisi sedang, 13% kondisi rusak ringan dan 5% kondisi rusak berat.

3. Prediksi kerusakan tahun ke 3 (2026)

$$a_3 = [0,56 \ 0,26 \ 0,13 \ 0,05]x \begin{vmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$a_3 = [0,48 \ 0,25 \ 0,15 \ 0,12]$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui prediksi tahun ke-3 ruas Jalan Soekarno-Hatta memiliki 48% kondisi baik, 25% kondisi sedang, 15% kondisi rusak ringan dan 12% kondisi rusak berat.

4. Prediksi kerusakan tahun ke 4 (2027)

$$a_4 = [0,48 \ 0,25 \ 0,15 \ 0,12]x \begin{vmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$a_4 = [0,41 \ 0,24 \ 0,16 \ 0,19]$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui prediksi tahun ke-4 ruas Jalan Soekarno-Hatta memiliki 41% kondisi baik, 24% kondisi sedang, 16% kondisi rusak ringan dan 19% kondisi rusak berat.

5. Prediksi kerusakan tahun ke 5

$$a_5 = [0,41 \ 0,24 \ 0,16 \ 0,19]x \begin{vmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$a_5 = [0,35 \ 0,22 \ 0,16 \ 0,27]$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui prediksi tahun ke-5 ruas Jalan Soekarno-Hatta memiliki 35% kondisi baik, 22% kondisi sedang, 16% kondisi rusak ringan dan 27% kondisi rusak berat.

Hasil perhitungan menggunakan model rantai Markov pada ruas Jalan Soekarno-Hatta, menunjukkan prediksi kondisi jalan selama periode lima tahun, dari tahun pertama (2024) hingga tahun kelima (2028). Dengan asumsi tidak ada tindakan pemeliharaan yang dilakukan selama periode tersebut, maka pada tahun awal (2024), kondisi jalan didominasi oleh kategori baik sebesar 78%, diikuti oleh kondisi sedang sebesar 20%, dan rusak ringan sebesar 2%. Seiring berjalannya waktu tanpa adanya intervensi pemeliharaan, terjadi penurunan kualitas jalan yang cukup signifikan. Memasuki tahun kelima (2028), proporsi jalan dalam kondisi baik menurun drastis menjadi hanya 35%. Sementara itu, kondisi sedang sedikit meningkat menjadi 22%, dan lebih mengkhawatirkan, persentase jalan yang mengalami rusak ringan melonjak menjadi 16%, dan muncul kategori rusak berat yang mencapai 27%. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa adanya pemeliharaan rutin, kerusakan jalan akan semakin meluas dan proporsi jalan dalam kondisi baik akan terus menurun dari tahun ke tahun.

Perhitungan prediksi kerusakan jalan dengan adanya pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi dan rekonstruksi dilakukan juga seperti proses 1 sd 5 pada perhitungan prediksi kerusakan jalan tanpa pemeliharaan. Hasil rekapitulasi perhitungan proporsi distribusi kerusakan jalan Soekarno-Hatta menggunakan metode rantai Markov dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Prediksi Kerusakan Jalan Soekarno – Hatta Dengan Model Rantai Markov

Tahun	Persentase Kondisi Kerusakan Jalan (%)			
	Baik	Sedang	Rusak Ringan	Rusak Berat
	Tidak dilakukan pemeliharaan			
2024	66	24	9	1
2025	56	26	13	5
2026	48	25	15	12
2027	41	24	16	19
2028	35	22	16	27

Tahun	Persentase Kondisi Kerusakan Jalan (%)			
	Baik	Sedang	Rusak Ringan	Rusak Berat
Pemeliharaan rutin				
2024	96	3	1	0
2025	98	10	10	0
2026	99	0	10	0
2027	99	10	0	0
2028	99	10	0	0
Pemeliharaan berkala				
2024	84	11	5	0
2025	85	11	4	0
2026	86	10	4	0
2027	87	10	3	0
2028	87	10	3	0
Rehabilitasi				
2024	79	0,20	0,01	0
2025	80	0,20	0	0
2026	80	0,20	0	0
2027	80	0,20	0	0
2028	80	0,20	0	0
Rekonstruksi				
2024	98	2	0	0
2025	1,00	0	0	0
2026	1,00	0	0	0
2027	1,00	0	0	0
2028	1,00	0	0	0

Persentase kondisi ruas Jalan Soekarno-Hatta tahun 2023, merupakan kondisi jalan yang digunakan sebagai tahun dasar ( $t=0$ ) dalam prediksi kondisi perkerasan jalan. Tabel 6 menunjukkan prediksi kondisi perkerasan jalan Soekarno-Hatta pada periode lima tahun mendatang tanpa pemeliharaan, pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi dan rekonstruksi. Kondisi Jalan Soekarno-Hatta mengalami penurunan kualitas yang sangat signifikan selama lima tahun, di mana proporsi jalan dalam kondisi baik menurun tajam dari 66% pada kondisi awal (jalan baik) menjadi 35% di tahun terakhir, sementara itu kondisi jalan rusak meningkat drastis hingga 27% jika tanpa pemeliharaan. Namun, kerusakan jalan terlihat kecil jika dilakukan pemeliharaan, revitalisasi, dan rekonstruksi untuk mengembalikan jalan ke performa yang baru, tanpa kerusakan.

Prediksi kerusakan jalan dilakukan pada keenam ruas jalan dengan MPT yang beragam, mulai dari tidak ada pemeliharaan, pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi, hingga rekonstruksi.

### B. Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan

Penyusunan program pemeliharaan jalan dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13/PRT/M/2011 (Tabel 1). Jika jalan berada dalam keadaan baik, maka akan dilakukan pemeliharaan secara rutin. Apabila jalan dalam kondisi sedang, pemeliharaan yang dilakukan bisa berupa pemeliharaan rutin atau berkala. Sementara itu, jika jalan mengalami kerusakan ringan, maka akan dilakukan rehabilitasi. Jika jalan dalam kondisi rusak berat atau kerusakan melebihi 15% maka dilakukan rekonstruksi.

Program pemeliharaan jalan atau usulan penanganan menggunakan MPT peningkatan yang diperoleh dari nilai probabilitas transisi yang sesuai dengan jenis kerusakan pada jalan pada tahun 2023. Sebagai contoh, jenis program pemeliharaan jalan untuk lima tahun (2024-2028) pada Jalan Soekarno-Hatta (tahun 2023 tidak dilakukan penanganan).

1. Tahun 2023 untuk jenis penanganan tahun 2024

$$a_1 = a_0 \times \text{MPT Tidak ada pemeliharaan}$$

$$a1 = [0,78 \ 0,20 \ 0,02 \ 0] \times \begin{vmatrix} 0,85 & 0,13 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$a1 = [0,66 \ 0,24 \ 0,9 \ 0,01]$$

Berdasarkan hasil perhitungan, kondisi jalan pada tahun 2024 dengan proporsi jalan dengan kondisi baik adalah 66%, kondisi sedang 9%, kondisi rusak ringan 1%, dan kondisi rusak berat 1%. Dengan total persentase jalan yang mengalami kerusakan ringan dan berat (RR+RB) yang masih berada di bawah 11%, maka sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13 Tahun 2011, pemeliharaan yang direkomendasikan adalah pemeliharaan berkala. Pemeliharaan berkala bertujuan untuk memperlambat laju kerusakan dan menjaga kualitas jalan agar tidak semakin memburuk.

2. Tahun 2024 untuk jenis penanganan tahun 2025

a2 = a1 x MPT pemeliharaan berkala

$$a2 = [0,66 \ 0,24 \ 0,9 \ 0,01] \times \begin{vmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,3 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,35 & 0,05 \\ 0 & 0,2 & 0,7 & 0,1 \end{vmatrix}$$

$$a2 = [0,75 \ 0,16 \ 0,08 \ 0,01]$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, kondisi jalan pada tahun 2025 adalah 75% dalam kondisi baik, 16% kondisi sedang, 8% kondisi rusak ringan, dan 1% kondisi rusak berat. Total persentase jalan yang mengalami kerusakan ringan dan berat (RR+RB) yang masih berada di bawah 11%, maka sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.13 Tahun 2011, jenis pemeliharaan yang direkomendasikan adalah pemeliharaan berkala juga.

3. Tahun 2025 untuk jenis penanganan 2026

a3 = a2 x MPT pemeliharaan berkala

$$a3 = [0,75 \ 0,16 \ 0,08 \ 0,01] \times \begin{vmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,3 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0,6 & 0,35 & 0,05 \\ 0 & 0,2 & 0,7 & 0,1 \end{vmatrix}$$

$$a3 = [0,79 \ 0,14 \ 0,07 \ 0,00]$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, kondisi jalan pada tahun 2026 adalah 79% dalam kondisi baik, 14% dalam kondisi

sedang, 7% dalam kondisi rusak ringan, dan tidak ada kondisi rusak berat. Melihat kondisi ini, khususnya dengan persentase jalan yang mengalami kerusakan ringan di antara 6–11%, maka sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13 Tahun 2011, langkah yang tepat untuk dilakukan adalah pemeliharaan rutin.

4. Tahun 2026 untuk jenis penanganan tahun 2027

a4 = a3 x MPT pemeliharaan rutin

$$a4 = [0,79 \ 0,14 \ 0,07 \ 0,00] \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0 & 0 & 0,35 & 0,65 \end{vmatrix}$$

$$a4 = [0,82 \ 0,13 \ 0,05 \ 0,00]$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, kondisi jalan pada tahun 2027 adalah 82% dalam kondisi baik, 13% dalam kondisi sedang, 5% dalam kondisi rusak ringan, dan tidak ada kondisi rusak berat. Melihat kondisi ini, khususnya dengan persentase jalan yang mengalami kerusakan ringan di bawah 6%, maka rekomendasi yang tepat sesuai peraturan adalah dilakukan pemeliharaan rutin.

5. Tahun 2027 untuk jenis penanganan tahun 2028

a5 = a4 x MPT pemeliharaan rutin

$$a5 = [0,82 \ 0,13 \ 0,05 \ 0,00] \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0 & 0 & 0,35 & 0,65 \end{vmatrix}$$

$$a5 = [0,93 \ 0,03 \ 0,04 \ 0,00]$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, kondisi jalan pada tahun 2028 dengan proporsi jalan dalam kondisi baik 93%, kondisi sedang 3%, kondisi rusak ringan 4% dan tidak ada kondisi rusak berat. Melihat kondisi ini, khususnya dengan persentase jalan yang mengalami kerusakan ringan di bawah 6%, maka penanganan jalan yang tepat untuk dilakukan adalah pemeliharaan rutin.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk keenam ruas dengan mempertimbangkan program penyusunan pemeliharaan dan tingkat kerusakannya. Tabel 7 merupakan hasil rekapitulasi Prediksi Kerusakan Jalan dengan Model Rantai Markov setelah dilakukan

penyusunan Program Pemeliharaan.

**Tabel 7.** Rekapitulasi Prediksi Kerusakan Jalan dengan Model Rantai Markov Setelah Dilakukan Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan

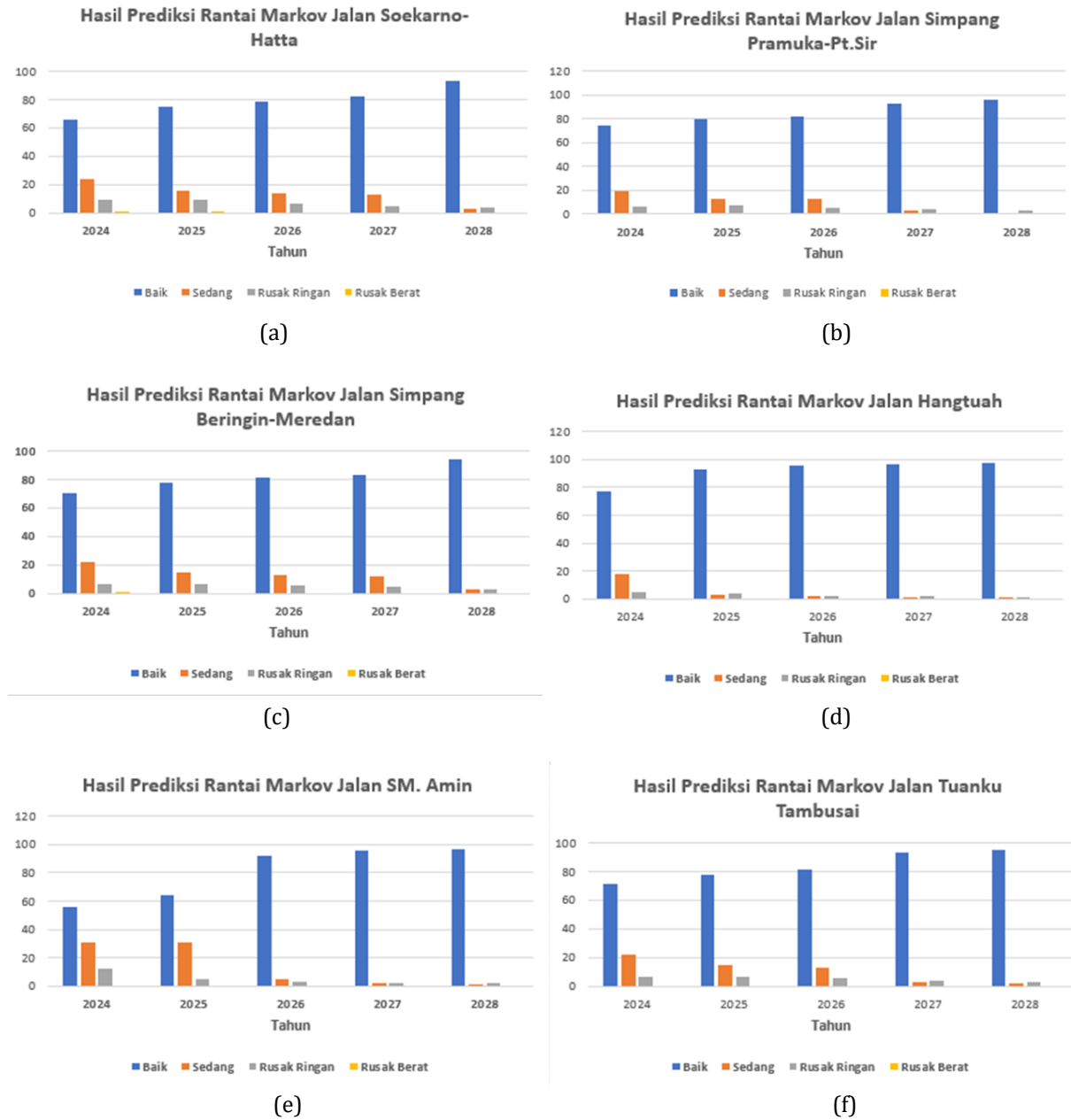
Jalan	Tahun	Kondisi Jalan (%)				Jenis Pemeliharaan
		Baik	Sedang	Rusak Ringan	Rusak Berat	
Jalan Soekarno-Hatta	2023	78,00	20,00	2,00	0,00	Tidak Ada Pemeliharaan
	2024	66,00	24,00	9,00	1,00	Pemeliharaan Berkala
	2025	75,00	16,00	8,00	1,00	Pemeliharaan Berkala
	2026	79,00	14,00	7,00	0,00	Pemeliharaan Berkala
	2027	82,00	13,00	5,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2028	93,00	3,00	4,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
Jalan Simpang Pramuka- PT. Sir	2023	87,00	11,00	2,00	0,00	Tidak ada Pemeliharaan
	2024	74,00	19,00	6,00	1,00	Pemeliharaan Berkala
	2025	80,00	13,00	7,00	0,00	Pemeliharaan Berkala
	2026	82,00	13,00	5,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2027	93,00	3,00	4,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2028	96,00	1,00	3,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
Jalan Simpang Beringin-Meredan	2023	82,00	16,00	1,50	0,50	Tidak Ada Pemeliharaan
	2024	70,00	22,00	7,00	1,00	Pemeliharaan Berkala
	2025	78,00	15,00	7,00	0,00	Pemeliharaan Berkala
	2026	81,00	13,00	6,00	0,00	Pemeliharaan Berkala
	2027	83,00	12,00	5,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2028	94,00	3,00	3,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
Jalan Hangtuah	2023	91,00	7,00	2,00	0,00	Tidak Ada Pemeliharaan
	2024	77,00	18,00	5,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2025	93,00	3,00	4,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2026	96,00	2,00	2,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2027	97,00	1,00	2,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2028	98,00	1,00	1,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
Jalan SM. Amin	2023	66,00	32,00	2,00	0,0	Tidak Ada Pemeliharaan
	2024	56,00	31,00	12,00	1,00	Rehabilitasi
	2025	64,00	31,00	5,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2026	92,00	5,00	3,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2027	96,00	2,00	2,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2028	97,00	1,00	2,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
Jalan Tuanku Tambusai	2023	84,00	15,00	1,00	0,00	Tidak Ada Pemeliharaan
	2024	71,00	22,00	7,00	0,00	Pemeliharaan Berkala
	2025	78,00	15,00	7,00	0,00	Pemeliharaan Berkala
	2026	81,00	13,00	6,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2027	93,00	3,00	4,00	0,00	Pemeliharaan Rutin
	2028	95,00	2,00	3,00	0,00	Pemeliharaan Rutin

Tabel 7 menunjukkan persentase kondisi jalan dalam kondisi baik, sedang, rusak ringan dan rusak berat untuk ke 6 (enam) jalan provinsi yang diamati pada penelitian ini. Jenis program pemeliharaan yang diusulkan berdasarkan klasifikasi pada Tabel 1 disesuaikan dengan kondisi jalan pada tahun tersebut untuk prediksi 5

tahun (2024-2025), dengan tahun 2023 sebagai tahun dasar ( $t_0$ ). Sebagai contoh, pada tahun pertama 2024 sebesar baik rusak ringan maupun rusak ringan (total 10%) berada di antara 6–11%, sehingga jenis usulan penanganan adalah pemeliharaan berkala. Tahun kedua (2025) menghasilkan total nilai kerusakan ringan dan

kerusakan berat sebesar 9%. Karena nilai tersebut masih berada pada interval 6 – 11%, maka jenis usulan penanganan yang sesuai untuk tahun 2025 adalah pemeliharaan berkala. Begitu pula untuk prediksi kondisi perkerasan jalan untuk tahun ketiga (2026) menghasilkan nilai total rusak ringan dan rusak berat sebesar 7%, yang juga masih

dilakukan pemeliharaan berkala. Begitu selanjutnya sd tahun 2028 untuk ke-6 (enam) jalan provinsi yang menjadi objek penelitian. Hasil prediksi kerusakan jalan dengan model rantai Markov setelah dilakukan penyusunan program pemeliharaan dipresentasikan dalam grafik batang yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik prediksi kondisi perkerasan untuk jalan tahun 2024-2028 dengan model rantai Markov setelah dilakukan penyusunan program pemeliharaan untuk (a) Jalan Soekarno-Hatta, (b) Simpang Pramuka-PT. Sir, (c) Jalan Simpang Beringin-Meredan, (d) Jalan Hangtuh, (e) Jalan SM. Amin, (f) Jalan Tuanku Tambusai.

Berdasarkan Gambar 2, hasil prediksi kerusakan setelah dilakukan penyusunan program pemeliharaan memperlihatkan bahwa pada tahun pertama 2024, kondisi enam ruas jalan menunjukkan kondisi baik dengan nilai rata-rata

kondisi baik di atas 80%, dan 20%-nya kondisi jalan sedang, rusak ringan, dan rusak berat. Kondisi jalan baik semakin meningkat seiring dengan program pemeliharaan yang dilakukan, hingga tahun ke 5 (tahun 2028) nilai kondisi jalan yang

baik melebihi 90% untuk semua ruas jalan yang diteliti. Hasil setipe juga diperlihatkan oleh penelitian terdahulu, di mana di akhir tahun (jangka waktu 5 tahun) menghasilkan nilai kondisi baik sebesar 96,8% [9]. Untuk menjaga dan meningkatkan kualitas jalan tersebut, dilakukan beberapa jenis pemeliharaan, yaitu pemeliharaan rutin, berkala, hingga rehabilitasi setiap tahun sesuai dengan kondisi jalannya. Namun, secara umum, program pemeliharaan yang diusulkan adalah pemeliharaan rutin dan pemeliharaan berkala. Pada tahun kedua hingga tahun kelima (2025–2028) terdapat peningkatan kualitas jaringan jalan setiap tahunnya. Jenis program penanganan terus bergeser dari pekerjaan berat-berat menuju pekerjaan ringan. Hal ini disebabkan oleh adanya tindakan penanganan yang dilakukan secara konstan setiap tahunnya.

## KESIMPULAN

Perubahan kondisi jalan dengan model rantai Markov selama periode lima tahun (2024–2028) menunjukkan bahwa keenam ruas jalan mengalami penurunan kualitas yang signifikan apabila tidak dilakukan pemeliharaan. Proporsi jalan dalam kondisi baik yang awalnya berkisar antara 66% hingga 77% menurun menjadi 29% hingga 39%, sementara kondisi jalan rusak meningkat drastis, bahkan lebih dari 20% pada masing-masing ruas. Namun, melalui penerapan pemeliharaan rutin, berkala, rehabilitasi dan rekonstruksi, seluruh ruas jalan berhasil dipertahankan dalam kondisi baik. Penyusunan program pemeliharaan jalan dilakukan secara terstruktur sesuai dengan kondisi jalan yang ada serta disusun berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 13 Tahun 2011 mengenai Penentuan Jenis Penanganan Jalan. Dengan pelaksanaan pemeliharaan yang terencana, kondisi jalan pada keenam ruas jalan akan berpotensi dalam keadaan baik setiap tahunnya dan persentase kondisi baik mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.

## REFERENSI

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. Indonesia, 2004.
- [2] R. B. Prasetyo and D. M. Firdaus, "Pengaruh Infrastruktur Pada Pertumbuhan Ekonomi Wilayah Di Indonesia," *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Pembangunan*, vol. 2, no. 2, pp. 222–236, 2009.
- [3] R. Yulianti and B. Hasanah, "Implementasi Program Pemeliharaan Jalan Di Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang (PUPR) Kabupaten Pandeglang," *Sawala : Jurnal Administrasi Negara*, vol. 6, no. 2, pp. 111–125, Oct. 2018, doi: 10.30656/sawala.v6i2.926.
- [4] Y. Y. R. Rizki Juliansyah dan Rahmi, "Analisa Faktor Kerusakan Ruas Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Beutong Ateuh-Takengon Kab. Nagan Raya)," *Syntax Literate Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 6, no. 2, pp. 951–952, 2021.
- [5] Badan Pusat Statistik (BPS), "Panjang Jalan Menurut Provinsi dan Tingkat Kewenangan Pemerintahan (km), 2023," 2003. Accessed: Nov. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/U0VOeFZEZFNiVnByUkdGMLNrOTFVVGRHY1ZkVGR6MDkjMw==/panjang-jalan-menurut-provinsi-dan-tingkat-kewenangan-pemerintahan--km---2023.html?year=2023>
- [6] R. Heru, "Jalan Soekarno-Hatta Pekanbaru Berlubang, Kepala UPT 1 Dinas PUPR Khairil Lakukan Hal Ini," *Media Center Riau, Pekanbaru*, Aug. 22, 2024. Accessed: Mar. 10, 2025. [Online]. Available: <https://mediacenter.riau.go.id/read/87342/jalan-soekarno-hatta-berlubang-kepala-upt-1-d.html>
- [7] A. D. Sitorus, "Jalur Maredan–Simpang Beringin Rusak Parah, Pengemudi Truk Diminta Waspada," *SISKOMPN.COM, Pekanbaru*, Jul. 29, 2025. Accessed: Dec. 20, 2025. [Online]. Available: <https://siskompn.com/jalur-maredan-simpang-beringin-rusak-parah-pengemudi-truk-diminta-waspada/>
- [8] Z. Zhang, "A Probabilistic and Adaptive Approach To Modeling Performance of Pavement Infrastructure," 2005.
- [9] A. Sazali, B. H. Setiadji, and B. Haryadi, "Aplikasi Model Rantai Markov Dalam Pengelolaan Jalan di Kabupaten Bangka Barat," *Rekayasa*, vol. 12, no. 2, pp. 141–150, Oct. 2019, doi: 10.21107/rekayasa.v12i2.5907.
- [10] J. J. Ortiz-García, S. B. Costello, and M. S. Snaith, "Derivation of Transition Probability Matrices for Pavement Deterioration Modeling," *J. Transp. Eng.*, vol. 132, no. 2, pp. 141–161, Feb. 2006, doi:

- 10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:2(141).
- [11] K. A. Abaza, S. A. Ashur, and I. A. Al-Khatib, "Integrated Pavement Management System with a Markovian Prediction Model," *J. Transp. Eng.*, vol. 130, no. 1, pp. 24–33, Jan. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2004)130:1(24).
- [12] E. P. Togatorop, A. P. M. Tarigan, and E. P. Bangun, "Pemodelan Kondisi Perkerasan Jalan dengan Metode Probabilistik Rantai Markov," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 4, no. 3, pp. 377–393, Mar. 2023, doi: 10.46799/jsa.v4i3.553.
- [13] I. Hakim, M. Fauziah, F. Chasanah, and A. Info, "Prediction of pavement condition using Markov chain method based on PCI and SDI assessment result," vol. 30, no. 1, pp. 33–44, 2025.
- [14] A. S. Phasa and Y. P. Astuti, "Analisis Perilaku Brand Switching Dengan Metode Rantai Markov," *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 9, no. 1, pp. 212–219, Feb. 2021, doi: 10.26740/mathunesa.v9n1.p212-219.
- [15] K. Panthi, "A Methodological Framework for Modeling Pavement Maintenance Costs for Projects with Performance-based Contracts," Florida International University, 2009. doi: 10.25148/etd.FI09120824.
- [16] Kementerian PUPR Pemerintah Republik Indonesia, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 13/PRT/M/2011 Tentang Tata Cara Pemeliharaan Dan Penilikan Jalan. 2011. Accessed: Jan. 25, 2026. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/144826/permen-pupr-no-13prtm2011-tahun-2011>
- [17] H. Pérez-Acebo, S. Bejan, and H. Gonzalo-Orden, "Transition Probability Matrices for Flexible Pavement Deterioration Models with Half-Year Cycle Time," *International Journal of Civil Engineering*, vol. 16, no. 9, pp. 1045–1056, Sep. 2018, doi: 10.1007/s40999-017-0254-z.