

Analisis Program Preservasi Jalan Terdampak Banjir Menggunakan Model Markov Chain

Yoga Bimo Aulia*

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, E-mail: yogabimoaulia@gmail.com

Russ Bona Frazila

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, E-mail: frazila@itb.ac.id

Arno Adi Kuntoro

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, E-mail: arnoak@itb.ac.id

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir, banjir telah menyebabkan gangguan pada sistem pengelolaan jalan dengan meningkatkan biaya rehabilitasi secara signifikan. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh banjir, lalu lintas dan riwayat penanganan terhadap deteriorasi kondisi perkerasan jalan dimasa akan datang. Analisis dilakukan pada semua ruas jalan nasional di provinsi Bengkulu. Berdasarkan MPT yang dihasilkan, kondisi kategori lalu lintas mempengaruhi tingkat penurunan maupun kenaikan kondisi perkerasan dimana lalu lintas tinggi memiliki tingkat penurunan kondisi perkerasan lebih tinggi daripada lalu lintas sedang maupun lalu lintas rendah. Kondisi antara segmen banjir dan tidak banjir juga berbeda dalam perubahan kondisi perkerasan dimana segmen banjir tingkat penurunan kondisi perkerasan lebih cepat dari segmen tidak banjir. Pada analisis perubahan kondisi perkerasan di masa akan datang, perbandingan jumlah keputusan penanganan yang diberikan pada Markov Chain probabilitas tertinggi dibandingkan dengan IRMS V.3 menunjukan hasil yang berbeda, dimana pada Markov Chain penurunan kondisi perkerasan baik IRI maupun PCI lebih cepat sehingga lebih sering dilakukan penanganan rehabilitasi daripada menggunakan IRMS V.3 yang penurunan kondisi jalan cenderung lebih lambat.

Kata-kata Kunci: Banjir, deteriorasi, IRI, IRMS V.3, markov chain, PCI.

Abstract

In recent years, floods have disrupted the road management system by significantly increasing rehabilitation costs. In this study, an analysis of the flooding's effect, traffic and maintenance history on the deterioration of pavement conditions in the future was carried out. The analysis was carried out on all national road sections in Bengkulu province. Based on the resulting MPT, traffic category conditions affect the level of decrease or increase in pavement conditions where high traffic has a higher rate of decline in pavement conditions than medium traffic and low traffic. The conditions between the flooded and non-flooded segments are also different in terms of changes in pavement conditions where the flooded segment has a faster rate of decline than the non-flooded segment. In the analysis of future deterioration of pavement conditions, a comparison of the number of treatment decisions given to Markov Chain has the highest probability compared to IRMS V.3 showing different results, where on Markov Chain the deterioration of pavement conditions, both IRI and PCI, is faster so that rehabilitation is carried out more frequently. rather than using IRMS V.3 which tends to decrease road conditions more slowly.

Keywords: Deterioration, flooding, IRI, IRMS V.3, markov hain, PCI

1. Pendahuluan

Jalan merupakan salah satu penunjang yang sangat penting dalam perkembangan suatu wilayah. Agar jalan dapat berfungsi dengan baik, perlu dilakukan pengelolaan jalan dengan baik dan benar sebagai bagian dari manajemen aset. Dalam beberapa tahun terakhir, banjir telah menyebabkan gangguan pada sistem pengelolalan jalan dengan meningkatkan biaya

rehabilitasi secara signifikan (Sultana dkk., 2018). Bencana alam banjir melanda sembilan kabupaten dan kota di provinsi Bengkulu, pada 26 April 2019. Akibat bencana alam tersebut, ribuan pemukiman penduduk terendam banjir, akses jalan terputus, sarana dan prasarana umum pun ikut terendam. Intensitas dan frekuensi banjir yang terjadi tidaklah pasti, misalnya Bengkulu yang dilanda banjir pada tahun 2019 juga kembali dilanda bencana banjir besar setelah adanya hujan intensitas tinggi pada tahun 2021 dan 2022.

* Penulis Korespondensi: yogabimoaulia@gmail.com

Pemodelan kinerja perkerasan merupakan elemen penting dari sistem manajemen perkerasan. Hampir 95% dari tingkat layanan perkerasan jalan berhubungan dengan kekasaran permukaan, dengan kata lain kekasaran permukaan merupakan variabel utama yang sangat mempengaruhi kemampuan layanan perkerasan jalan. Kekasaran tidak hanya dapat mencerminkan kondisi perkerasan, tetapi juga secara langsung mewakili persepsi pengguna tentang kualitas perjalanan yaitu terkait getaran kendaraan, kecepatan operasional, dan biaya operasional kendaraan (Alimoradi dkk., 2022). Pada penelitian ini, dilakukan analisis pengaruh banjir dan riwayat penanganan terhadap ketidakrataan (IRI) dan kondisi perkerasan (PCI). Analisis dilakukan pada ruas jalan nasional di Provinsi Bengkulu. Parameter kondisi permukaan yang digunakan adalah nilai ketidakrataan (IRI) dan kondisi perkerasan (PCI) dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Bengkulu. Analisis dilakukan dengan mencari pengaruh kondisi lalu lintas, lingkungan (banjir) beserta riwayat penanganan terhadap penurunan kondisi permukaan perkerasan berdasarkan nilai IRI dan PCI serta melakukan analisis perubahan kondisi perkerasan dan pemeliharannya di masa yang akan datang dengan menggunakan model *Markov Chain*. Hasil tersebut nantinya akan dibandingkan dengan penurunan kondisi perkerasan menurut IRMS V.3.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Banjir

Banjir adalah peristiwa meluapnya air sungai melebihi palung sungai atau genangan air yang terjadi pada daerah yang rendah dan tidak bisa terdrainasikan (SNI 2415:2016). Banjir pada dasarnya adalah surface runoff yang merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi. Definisi terendam banjir pada penelitian ini adalah kejadian tergenangnya air pada badan jalan yang mengakibatkan terganggunya arus lalu lintas yang melewati jalan tersebut tanpa mempertimbangkan jumlah event kejadian banjir yang terjadi.

2.2 Beban sumbu lalu lintas

Parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Berdasarkan AASHTO 1993 dan MDP 2017, kategori lalu lintas berdasarkan beban kendaraan adalah sebagai berikut:

1. Lalu lintas tinggi > 10.000.000 CESA;
2. Lalu lintas sedang 1.000.000 – 10.000.000 CESA;
3. Lalu lintas rendah < 1.000.000 CESA.

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang ditentukan berdasarkan **Persamaan (1)**.

$$ESA_{TH-1} = (\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (1)$$

Dengan,

- ESA_{TH-1} : Kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen (ESA) pada tahun pertama;
 LHR_{JK} : Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga
 VDF_{JK} : Faktor ekuivalen beban (VDF) tiap jenis kendaraan niaga
 DD : Faktor distribusi arah
 DL : Faktor distribusi lajur
 CESAL : Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana
 R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2.3 International Roughness Index (IRI)

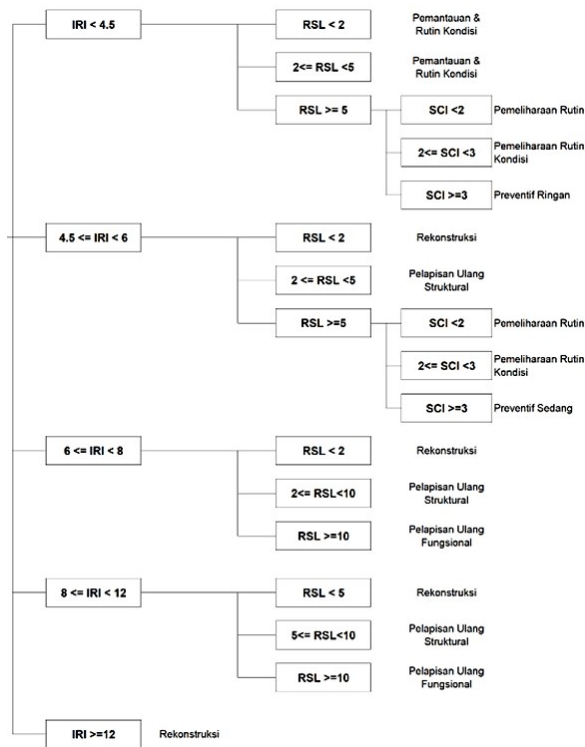
International Roughness Index (IRI) atau ketidakrataan permukaan jalan dikembangkan oleh Bank Dunia pada tahun 1980an. IRI digunakan untuk menggambarkan suatu profil memanjang dari suatu jalan dan digunakan sebagai standar ketidakrataan permukaan jalan. Satuan yang biasa direkomendasikan adalah meter per kilometer (m/km) atau milimeter per meter (mm/m). IRI adalah parameter ketidakrataan yang dihitung dari jumlah kumulatif naik turunnya permukaan arah profil memanjang dibagi dengan jarak/panjang permukaan yang diukur. Kondisi perkerasan secara bertahap memburuk sesuai dengan umur layannya kecuali jika dilakukan pemeliharaan. Pada tahap awal penurunan kondisi, laju penurunan tidak setajam pada masa akhir umur layanan, untuk setiap fase memiliki jenis pemeliharaan yang direkomendasikan (Arimbi, 2015).

2.4 Pavement Condition Index (PCI)

Pavement Condition Index (PCI) merupakan salah satu sistem penilaian kondisi perkerasan jalan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan yang terjadi, serta dapat dijadikan acuan dalam upaya pemeliharaan. Nilai PCI ini berkisar antara 0 (nol) hingga 100 (seratus) dengan kriteria baik (*good*), memuaskan (*satisfactory*), sedang (*fair*), buruk (*poor*), sangat buruk (*very poor*), parah (*serious*), dan sangat parah (*failed*). Perhitungan PCI dilakukan berdasarkan hasil survei kerusakan visual yang memanfaatkan parameter jenis kerusakan, tingkat dan kuantitas kerusakan.

2.5 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 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011). Penentuan jenis program penanganan jalan mengacu pada Decision Tree dalam SE N0. 09/SE/Db/2021 Dirjen Bina Marga tentang Pedoman Perencanaan dan Pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan Bagian Dari Manajemen Aset Prasarana Jalan yang ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Decision tree perkerasan lentur (IRAMS-DC, 2021)

2.6 Road deterioration model

Deteriorasi perkerasan adalah proses dimana kerusakan berkembang pada perkerasan yang disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi deteriorasi perkerasan menurut Ramaswamy dan-Akiva (1990) dalam (Handayani, 2022) adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik perkerasan: kekuatan perkerasan, ketebalan lapisan, tipe tanah dasar dan tipe permukaan
2. Riwayat pemeliharaan perkerasan: waktu terakhir dilakukan rehabilitasi, total umur perkerasan
3. Karakteristik lalu lintas: lalu lintas harian rata-rata, lalu lintas kumulatif, persentase truk
4. Variabel lingkungan: curah hujan rata-rata, jumlah siklus beku-cair, suhu minimum tahunan rata-rata.

Model RD menunjukkan penurunan kualitas perkerasan/ tren kinerja dalam siklus hidupnya. Untuk mendapatkan program pemeliharaan tingkat jaringan yang baik dalam anggaran yang ditetapkan, model RD yang andal diperlukan untuk menilai kinerja perkerasan. Secara umum, ada dua jenis model RD: deterministik dan probabilistik (Khan dkk., 2014).

Model deterministik mengasumsikan bahwa perilaku perkerasan mengikuti sebuah pola yang telah ditentukan sehingga dapat diformulasikan oleh ekspresi matematis spesifik yang menghubungkan indikator kinerja perkerasan dengan mempertimbangkan satu atau lebih variabel penjelas. Namun variabilitas yang melekat pada sifat material, kondisi lingkungan dan karakteristik lalu lintas menyebabkan kinerja perkerasan mewarisi

karakteristik acak. Oleh karena itu dengan mengabaikan ketidakpastian yang diamati dalam pemodelan kerusakan perkerasan, model deterministik cenderung menyederhanakan proses kerusakan perkerasan (Yang dkk., 2005).

Disisi lain, model probabilistik memperlakukan ukuran kondisi perkerasan seperti indikasi retak, bleeding dan rutting sebagai variabel acak sehingga dapat memasukkan ketidakpastian yang terkait dengan kerusakan perkerasan. Pendekatan pemodelan probabilistik yang paling populer adalah metoda rantai markov. Model transisi markovian telah digunakan secara luas untuk pemodelan kinerja infrastruktur (Kulkarni 1984; Butt et al.1987; Jiang et al. 1988; Kleiner 2001 dalam Yang dkk., 2005). Salah satu keunggulan utama menggunakan model markov adalah memiliki kapasitas untuk mengintegrasikan tingkat kerusakan perkerasan dan variabel jenis pemeliharaan ke dalam satu kesatuan yaitu matriks transisi. Akibatnya, prediksi kerusakan perkerasan yang akurat menggunakan pemodelan stokastik dan dinamis hingga strategi penanganan yang optimal dapat dengan mudah diturunkan (Butt et al.1994 dalam Khan dkk., 2014). Sedangkan kekurangannya adalah probabilitas konstan sepanjang waktu, artinya peluang untuk setiap keadaan dari periode $t > 0$ adalah sama.

Secara umum, model probabilistik lebih realistis dibandingkan model deterministik karena faktor utama penyebab kerusakan perkerasan, seperti karakteristik bahan, pembebanan, dan lingkungan semuanya bersifat stokastik. Pada penelitian ini digunakan model probabilistik *Markov Chain* untuk melakukan analisis perubahan kondisi perkerasan di masa yang akan datang dari nilai kondisi permukaannya.

2.7 IRMS V.3

Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR saat ini memiliki tools untuk melakukan manajemen aset jalan yaitu IRMS V.3. Tools ini berfungsi untuk memprediksi kondisi jalan di masa akan datang beserta program penanganan yang tepat dari kondisi tersebut.

Penurunan kondisi nilai IRI pada program ini dapat dilihat pada **Persamaan (2)** berikut:

$$IRI\ Detrate = 0,074 \times IRI - 0,1124$$

$$IRI_{t+1} = IRI_t + IRI\ Detrate \quad (2)$$

Pada program ini, untuk menyederhanakan perhitungan maka nilai PCI diubah menjadi nilai SCI. Korelasi antara nilai SCI dengan PCI ditunjukkan pada **Tabel 1** berikut.

Penurunan kondisi nilai PCI (SCI) pada program ini dapat dilihat pada **Persamaan (3)** berikut:

$$SCI\ Detrate = 0,2273 \times LN(x) + 0,0462$$

$$SCI_{t+1} = SCI_t + SCI\ Detrate \quad (3)$$

Nilai RSL pada program ini dihitung berdasarkan nilai lendutan. Jika data lendutan tidak tersedia dapat menggunakan pendekatan terhadap nilai IRI sesuai **Persamaan (4)** berikut:

$$RSL = Max \left[\left(LN \left(\frac{IRI - 1,52}{6,480} \right) - 0,074 \right), 0 \right] \quad (4)$$

Tabel 1. Hubungan PCI dengan SCI (IRAMS-DC, 2021)

CI	RANGE PCI	
1	85	100
2	70	85
3	55	70
4	25	55
5	0	25

Catatan: jika IRI < 2, nilai RSL diambil 35 tahun.

2.8 Markov Chain

Teori rantai Markov pertama kali dikemukakan oleh Prof. Andrei A. Markov pada tahun 1906, seorang matematikawan dari Rusia. *Markov Chain* (Rantai Markov) adalah suatu teknik matematika yang bisa digunakan untuk pembuatan model bermacam-macam sistem dan proses bisnis. Teknik ini dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang dalam variabel-variabel dinamis atas dasar perubahan-perubahan dari variabel-variabel dinamis tersebut di waktu yang lalu. Teknik ini dapat juga digunakan untuk menganalisis kejadian – kejadian di waktu mendatang secara matematis. Prediksi kondisi masa depan dengan *Markov Chain* merupakan proses stokastik dan disusun berdasarkan 3 batasan (Ortiz-García dkk., 2006) meliputi:

1. Batasan pertama adalah prosesnya diskrit terhadap waktu
2. Proses harus memiliki state yang dapat dihitung atau terbatas
3. Proses tersebut harus memenuhi properti Markov.

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, bukan bergantung pada kondisi masa lampau. Kondisi perkerasan di masa mendatang dapat diprediksi menggunakan rumus (Ortiz-García dkk., 2006) seperti ditampilkan pada **Persamaan (5)** berikut.

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} \times P = \alpha_0 \times P^t \quad (5)$$

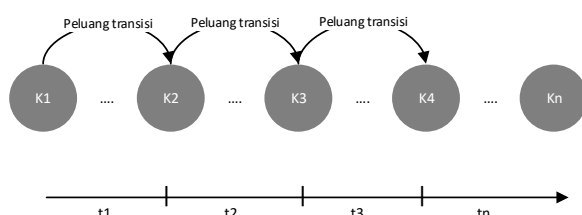
Dimana:

α_t : distribusi kondisi pada waktu t

α_0 : distribusi pada waktu ke-0, yang merupakan vektor awal (α_{t-1})

P : MPT yang ditingkatkan dengan kontrol waktu t

T : waktu yang berlalu dalam sekali transisi



Gambar 2. Peluang transisi dalam *markov chain*

Dengan menggunakan vektor kondisi awal dan probabilitas transisi Markov, maka kondisi perkerasan di masa mendatang dapat diprediksi untuk waktu (t) kapan pun (Panthi, 2009).

2.8.1 Matriks probabilitas transisi

Suatu proses markov terdefiniskan oleh matriks peluang transisinya. Sejumlah peluang transisi digunakan untuk menjelaskan persoalan dalam sistem yang membuat transisi dari suatu keadaan ke keadaan lainnya. Perilaku jangka panjang dari suatu proses Markovian ditandai oleh tidak adanya ketergantungan pada keadaan awal dari sistemnya. Hal ini bukan berarti sistem tersebut tetap dalam satu keadaan, melainkan terus berpindah dari satu keadaan ke keadaan lain pada periode mendatang. Namun, perpindahan ini akan konstan dalam jangka panjang dan pada saat itulah proses mencapai keadaan tetap (Shukur, 2019 dalam Handayani, 2022).

Pemodelan perubahan kondisi perkerasan terhadap waktu pada penyusunan MPT, dilambangkan dengan P . Bentuk umum dari P ditampilkan pada **Persamaan (6)** berikut (Ortiz-García dkk., 2006):

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Matriks probabilitas transisi ini harus memenuhi kondisi berikut:

1. Jumlah dari keseluruhan a_i harus sama dengan 1
2. Semua nilai masukan tidak boleh negatif.

2.8.2 Vektor kondisi awal

Kondisi awal dari setiap proses dapat dideskripsikan oleh sebuah vektor awal yang menunjukkan probabilitas atau distribusi segmen perkerasan berada dalam kondisi atau keadaan tertentu. Kondisi awal digambarkan sebagai vektor awal, seperti ditampilkan pada Persamaan (7) berikut (Ortiz-García dkk., 2006):

$$\alpha_0 = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \quad (7)$$

Dimana:

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

Vektor awal mengindikasikan kondisi awal segmen yang didefinisikan sebagai proporsi dari tiap rentang kondisi. Sama halnya dengan proporsi probabilitas transisi pada MPT, vektor awal juga harus memenuhi kondisi berikut (Ortiz-García dkk., 2006):

1. Jumlah dari keseluruhan a_i harus sama dengan 1
2. Semua nilai masukan tidak boleh negatif.

2.9 Kajian studi terdahulu

Beberapa studi terdahulu yang pernah dilakukan berkaitan dengan topik penelitian cukup banyak. Handayani (2022) melakukan analisis pengaruh banjir terhadap deteriorasi perkerasan berdasarkan kondisi

permukaannya. Metodanya adalah dengan melakukan simulasi prediksi kondisi permukaan dengan model Markov Chain. Abaza dkk (2004) meninjau integrasi system manajemen perkerasan menggunakan model prediksi Markov. Metoda yang dilakukan adalah dengan mensimulasikan prediksi kondisi permukaan dan pemeliharannya berdasarkan nilai PCI dengan sistem IPMS berbasis model Markov Chain. Sultana dkk (2018) meninjau retak dan ketidakrataan jalan terdampak banjir. Metodanya yaitu mengumpulkan beberapa literatur revidu dan mengembangkan model deteriorasi nilai rutting dan IRI perkerasan terdampak banjir berdasarkan hal tersebut.

Alimoradi dkk (2022) melakukan pembuatan kurva master ketidakrataan permukaan jalan menggunakan model Markov Chain. Mereka menggunakan Model Markov Chain dalam memprediksi nilai IRI untuk mendapatkan kurva kekasaran perkerasan berdasarkan penanganannya. Khan dkk (2014) mengusulkan model penurunan kondisi jalan berdasarkan matriks probabilitas non homogen dengan indikator ketidakrataan dan rutting. Panthi (2009) melakukan pemodelan estimasi biaya dengan menggunakan metoda probabilistik berbasis data kondisi perkerasan lentur. Aryani dkk (2018) menggunakan model markov dalam prediksi kondisi perkerasan tanpa penanganan dan dengan penanganan berbasis data PCI.

Sazali dkk (2019) menggunakan model markov dalam melihat perubahan kondisi perkerasan di masa akan datang di kabupaten Bangkan Barat. Aplikasi model rantai Markov ini dengan asumsi dilakukan penanganan untuk seluruh ruas jalan setiap tahun sesuai dengan jenis program penanganan (pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi dan rekonstruksi) berdasarkan batasan persentase kondisi kerusakan jalan. Dari penelitian ini didapatkan gambaran perubahan kondisi jaringan jalan kabupaten yang dihasilkan dari penerapan model tersebut cukup optimal, dimana pada tingkat kondisi Baik (B) terus mengalami peningkatan. Sebaliknya, pada tingkat kondisi Rusak Berat (RB) terus mengalami penurunan setiap tahunnya. Garcia dkk (2006) menentukan metoda yang paling sesuai dalam pemodelan penurunan perkerasan dari 3 model dengan tujuan memperkirakan probabilitas transisi markov

3. Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan komponen penelitian secara berurutan untuk mencapai tujuan penelitian. Pada **Gambar 3** ditampilkan tahapan penelitian pada penelitian ini.

3.1 Pengumpulan data

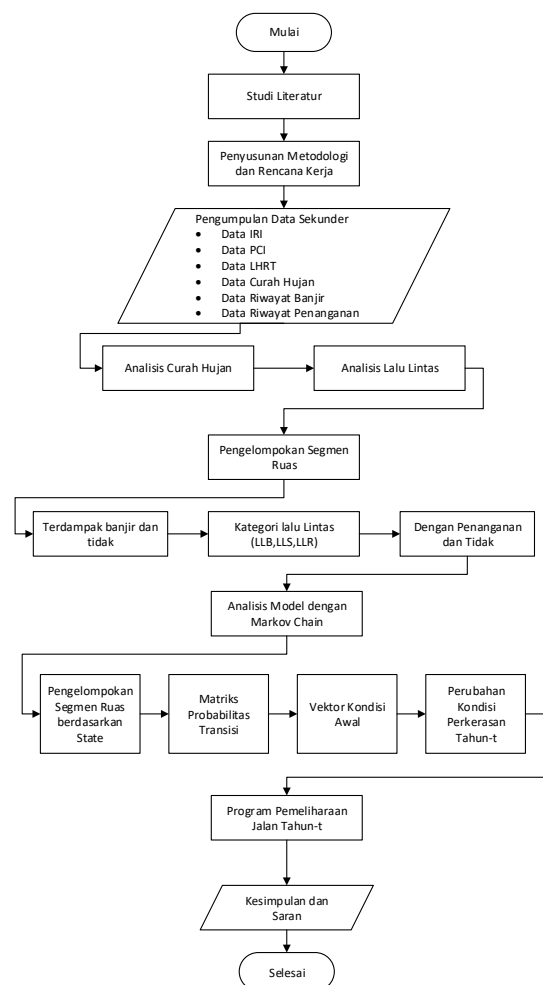
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari berbagai pihak. Data sekunder tersebut antara lain data LHRT (2022), data IRI (2018-2022), data PCI (2019-2022), data riwayat pemeliharaan jalan (2019-2021) dan data riwayat kejadian banjir (2022) dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Bengkulu sedangkan data curah hujan harian (2018-2022) diperoleh dari website data online BMKG.

3.2 Area studi

Penelitian dilaksanakan pada ruas jalan nasional di Provinsi Bengkulu. Jalan Nasional yang berada di Provinsi Bengkulu sendiri terdiri dari 43 ruas jalan.

3.3 Analisis curah hujan

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui intensitas curah hujan yang dapat mengakibatkan banjir pada Ruas Jalan Nasional di Provinsi Bengkulu. Hal ini dilakukan karena data riwayat terdampak banjir yang ada hanya 1 tahun saja yaitu pada tahun 2022, sedangkan untuk riwayat data lainnya seperti IRI didapatkan dalam 5 tahun terakhir (2018-2022). Banjir yang dimaksud pada penelitian ini adalah kejadian tergenangnya air pada badan jalan yang mengakibatkan terganggunya arus lalu lintas yang ada. Analisis ini dilakukan dengan cara mencocokkan data riwayat kejadian banjir dengan curah hujan yang terjadi pada hari tersebut. Curah hujan terendah yang terjadi pada kurun waktu banjir tersebut dijadikan batasan untuk menilai apakah pada hari lain di tahun 2018 hingga tahun 2021 mengalami kejadian banjir atau tidak. Dalam pembentukan matriks probabilitas transisi (MPT) segmen terdampak banjir (DB) nantinya tidak mempertimbangkan jumlah kejadian banjir yang terjadi setiap tahunnya tapi hanya melihat apakah setiap tahun terjadi banjir pada segmen tersebut.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3.4 Analisis lalu lintas

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kategori lalu lintas pada setiap ruas yang ditinjau. Hal ini perlu dilakukan untuk dapat dijadikan masukan lain jika terjadi kerancuan data antara data IRI dan PCI yang akan digunakan dalam penelitian. Analisis ini dilakukan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2017 beserta Suplemen MDP 2017 tahun 2020 berdasarkan **Persamaan (1)**.

3.5 Analisis awal IRI dan PCI

Pada analisis awal data IRI dan PCI dilakukan pengelompokan segmen jalan yang terdampak banjir dan yang tidak terdampak banjir serta kategori lalu lintasnya. Lalu dikelompokkan lagi segmen jalan tersebut dengan adanya riwayat penanganan dan yang tidak ada riwayat penanganan.

3.6 Analisis perubahan kondisi perkerasan

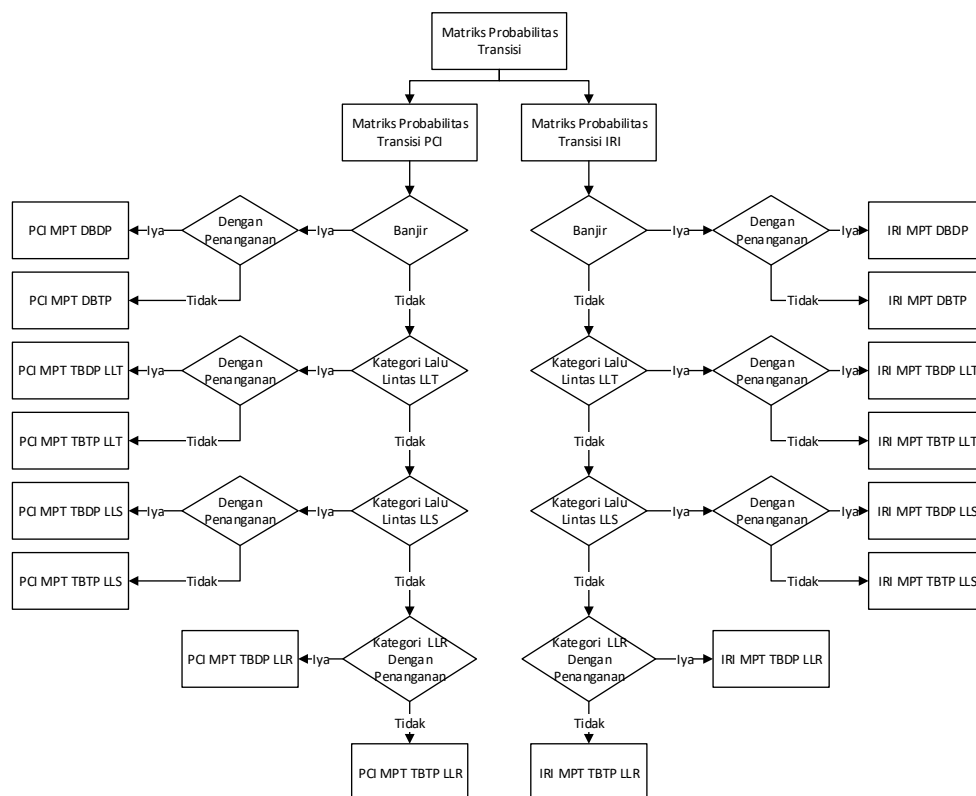
Pada analisis ini melihat perubahan kondisi ketidakrataan permukaan jalan (IRI) dan kondisi perkerasan jalan (PCI) dimasa yang akan datang dengan menggunakan model *Markov Chain* dan juga IRMS V.3. Pada model Markov, tahap pertama adalah menentukan kategori/state kondisi perkerasan berdasarkan nilai kondisi ketidakrataan permukaan jalan. Lalu menentukan deteriorasi perkerasan yang disajikan dalam bentuk matrik transisi, yaitu dengan menggunakan nilai kondisi permukaan sebagai unsur yang menunjukkan penurunan perkerasan pada suatu kondisi tertentu ke kondisi berikutnya dalam satu waktu.

Dalam penyusunan matriks transisi, 43 ruas jalan dibedakan menjadi 8 dengan kategori ruas terdampak banjir (*flood*), dengan penanganan (*with treatment*), ruas terdampak banjir (*flood*) tanpa penanganan (*no treatment*), ruas tidak terdampak banjir (*no flood*) dengan penanganan (*with treatment*) dan ruas tidak terdampak banjir (*no flood*) tanpa penanganan (*no treatment*), artinya terdapat pengaruh kondisi lingkungan dalam penurunan ketidakrataan permukaan jalan. Pada kelompok tidak terdampak banjir, nanti akan dibagi lagi berdasarkan kategori lalu lintas apakah termasuk lalu lintas berat, lalu lintas sedang atau lalu lintas ringan. Sedangkan pada kelompok yang terdampak banjir tidak ditinjau lagi berdasarkan kategori lalu lintas dikarenakan data yang terlalu sedikit.

Pada matriks yang dihasilkan nantinya juga dapat menggambarkan tingkat kerusakan ataupun tingkat perbaikan yang terjadi setelah dilakukan atau jika tidak dilakukan penanganan. Hal ini dapat dilakukan dengan menetapkan tingkat kerusakan berdasarkan nilai kemantapan jalan dimana jika IRI1234 dikatakan mantap dan jika IRI567 dikatakan tidak mantap. Kategori kemantapan jalan dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2. Kategori kemantapan jalan (Bina Marga, 2021)

Kemantapan Jalan		
IRI	Kondisi	Mantap
≤ 4	Baik	Mantap
$4 < \text{IRI} \leq 8$	Sedang	
$8 < \text{IRI} \leq 12$	Rusak Ringan	Tidak Mantap
> 12	Rusak Berat	



Gambar 4. Penentuan matriks probabilitas transisi (MPT)

Selanjutnya yaitu menentukan distribusi kondisi awal perkerasan pada masa sekarang untuk seluruh state kondisi yang telah ditentukan sebelumnya. Pada penelitian ini diambil satu segmen yang mewakili setiap kriteria yang telah ditentukan sebagai berikut:

1. Segmen tidak terendam banjir (TB)
 - a. Dengan lalu lintas tinggi (LLT);
 - b. Dengan lalu lintas sedang (LLS);
 - c. Dengan lalu lintas rendah (LLR)
2. Segmen terendam banjir (DB)

Selanjutnya dilakukan proses iterasi selama t periode waktu siklus yang dilakukan dengan 16 skenario matriks untuk memperoleh prediksi kondisi perkerasan dengan melibatkan pengaruh lingkungan (banjir), kategori lalu lintas dan riwayat penanganan terhadap state kondisi dari perkerasan yang ditinjau.

Output dari tahap ini adalah distribusi persentase kondisi perkerasan selama t periode siklus waktu berdasarkan nilai kondisi permukaannya (IRI) dan kondisi perkerasan (PCI) menggunakan probabilitas tertinggi.

3.7 Analisis program pemeliharaan

Setelah melakukan prediksi kondisi perkerasan dengan model Markov Chain, selanjutnya melakukan analisis terkait program pemeliharaannya berdasarkan hasil model tersebut. Output dari tahap ini adalah rekapan penanganan berdasarkan t waktu. Penentuan program pemeliharaan didasarkan decision tree penanganan pedoman IRMS V.3. Hubungan MPT dengan jenis penanganan pada IRMS V.3 didasari pada dampak treatment tersebut terhadap nilai kondisi perkerasan baik IRI ataupun PCI. Dimana hubungan MPT dengan jenis penanganan pada IRMS V.3 disajikan pada **Tabel 3**.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis curah hujan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, daftar riwayat kejadian banjir yang terjadi di ruas jalan nasional Provinsi Bengkulu hanya diperoleh pada tahun 2022 saja. Analisis curah hujan ini dilakukan untuk mengakomodir kejadian banjir pada tahun 2018 hingga 2021 yang tidak tercatat pada riwayat kejadian yang diperoleh. Nantinya curah hujan yang terjadi pada saat banjir di tahun 2022, akan dikorelasikan terhadap curah hujan yang terjadi di tahun-tahun sebelumnya. Dari data riwayat banjir ini, dapat disimpulkan bahwa semua

kejadian riwayat banjir pada nilai curah hujannya termasuk 5 curah hujan tertinggi yang terjadi selama tahun 2022 yang tercatat di 3 stasiun BMKG sekitar Provinsi Bengkulu. Curah hujan minimal yang terjadi saat banjir pada rekapitulasi riwayat kejadian banjir pada tahun 2022 yang termasuk ke rekapitulasi 5 curah hujan tertinggi yang dicatat adalah saat curah hujan 78mm/hari. Untuk mengetahui periode ulang curah hujan minimal yang dapat menyebabkan banjir maka dilakukan perhitungan perioda ulang menggunakan persamaan Weibull Plotting. Dengan persamaan trend log yang didapat, curah hujan 78 mm return period nya adalah 0,625 tahun atau kurang dari 1 tahun. Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya pada tahun 2018 hingga tahun 2022 selalu terjadi kejadian banjir pada ruas jalan nasional di Provinsi Bengkulu.

4.2 Analisis lalu lintas

Analisis lalu lintas ini dilakukan untuk mengkategorikan ruas jalan yang ditinjau sesuai dengan tipe lalu lintasnya. Hal ini diperlukan untuk melihat dampak dari beban lalu lintas terhadap perubahan nilai IRI dan PCI yang terjadi. Dari analisis menggunakan **Persamaan (1)** didapatkan bahwa dari 43 ruas jalan nasional yang ada di Provinsi Bengkulu, terdapat 14 ruas yang termasuk kategori lalu lintas tinggi, 25 ruas termasuk kategori lalu lintas sedang dan 4 ruas yang termasuk kategori lalu lintas rendah. Daftar ini nantinya akan dijadikan komponen dalam pembagian matriks probabilitas transisi (MPT) berdasarkan kategori lalu lintasnya.

4.3 Analisis markov chain

Analisis model dengan markov chain bertujuan untuk meramal data yang ada saat ini ke masa depan dengan pertimbangan perubahan-perubahan yang telah terjadi sebelumnya. Secara garis besar, ada empat tahap dalam analisis ini yaitu sebagai berikut:

1. Penentuan kriteria state kondisi;
2. Penyusunan Matriks Probabilitas Transisi (MPT);
3. Perhitungan vektor kondisi awal;
4. Perubahan kondisi perkerasan di masa akan datang.

4.3.1 Kriteria state kondisi

Data yang digunakan dalam analisis Markov Chain ini adalah data IRI dan PCI. Sehingga untuk menentukan kriteria state kondisi ditentukan berdasarkan pengelompokan nilai IRI dan PCI. Penentuan kriteria state kondisi dapat dilihat pada **Tabel 4**. Nilai 1 mewakili kondisi terbaiknya sedangkan nilai 7 mewakili kondisi terburuknya.

4.3.2 Matriks probabilitas transisi

MPT disusun berdasarkan data historis IRI dan PCI dimana untuk data IRI dari tahun 2018 hingga tahun 2022 sedangkan untuk data PCI dari tahun 2019 hingga tahun 2022. Dalam penyusunannya, 43 ruas jalan nasional di Provinsi Bengkulu dirincikan menjadi 16 kategori dimana dibagi atas 8 kategori untuk data IRI dan 8 kategori untuk data PCI. Nilai probabilitas $P_{t,t+1}$

Tabel 3. Hubungan MPT dengan pemeliharaan pada IRMS V.3

No.	Jenis MPT	Penanganan IRMS V.3
1	Tanpa Penanganan	Rutin
		Rutin Kondisi
		Preventif Ringan
		Preventif Sedang
2	Dengan Penanganan	Rehabilitasi Minor
		Rehabilitasi Mayor
		Rekonstruksi

Tabel 4. Kriteria state kondisi

No	State	IRI	No	State	PCI
1	IRI1	$IRI \leq 2$	1	PCI1	$90 < PCI \leq 100$
2	IRI2	$2 < IRI \leq 4$	2	PCI2	$80 < PCI \leq 90$
3	IRI3	$4 < IRI \leq 6$	3	PCI3	$70 < PCI \leq 80$
4	IRI4	$6 < IRI \leq 8$	4	PCI4	$60 < PCI \leq 70$
5	IRI5	$8 < IRI \leq 10$	5	PCI5	$50 < PCI \leq 60$
6	IRI6	$10 < IRI \leq 12$	6	PCI6	$25 < PCI \leq 50$
7	IRI7	$IRI > 12$	7	PCI7	$PCI \leq 25$

transisi kondisi perkerasan dari *state t* ke *state t+1* dihitung dengan menggunakan **Persamaan (8)** berikut:

$$P_{t,t+1} = n_{t,t+1} / n_t$$

Dimana,

$n_{t,t+1}$: jumlah segmen jalan yang bertransisi dari *state t* ke *state t+1* dalam 1 siklus

n_t : jumlah total segmen jalan pada *state t* sebelum transisi

Dari matriks probabilitas transisi (MPT) data IRI yang dihasilkan terlihat trend perubahan nilai IRI dari tahun 2018 hingga 2022 adalah sebagai berikut:

1. Dari matriks segmen tidak terdampak banjir dan tanpa penanganan (TBTP), pada kategori lalu lintas rendah (MPT IRI TBTP LLR) lebih sedikit perubahan yang mengalami kerusakan (IRI567) yaitu 38,7%, selanjutnya yaitu kategori lalu lintas tinggi (MPT IRI TBTP LLT) dengan 52,4% dan terakhir kategori lalu lintas sedang (MPT IRI TBTP LLS) dengan 52,5%;
2. Dari matriks segmen terdampak banjir dengan adanya penanganan (TBDP), pada kategori lalu lintas sedang (MPT IRI TBDP LLS) memiliki trend perubahan kondisi baik (IRI1234) lebih tinggi yaitu 97,4%, selanjutnya yaitu kategori lalu lintas tinggi (MPT IRI TBDP LLT) dengan 96,4% dan terakhir kategori lalu lintas rendah (MPT IRI TBDP LLR) dengan 94%;
3. Antara matriks dengan tanpa adanya penanganan (TP), segmen terdampak banjir (DBTP) lebih tinggi dalam perubahan nilai menjadi rusak (IRI567) dengan nilai 55,6% sedangkan untuk yang tidak terdampak banjir (TBTP) hanya berkisar 38,7% hingga 52,5% tergantung kategori lalu lintas;
4. Antara matriks dengan adanya penanganan (DP), segmen terdampak banjir lebih rendah (DBDP) dalam perubahan nilai menjadi baik (IRI1234) dengan nilai 95,8% sedangkan untuk yang tidak terdampak banjir (TBDP) berkisar 97,4% hingga 96,4% tergantung kategori lalu lintas kecuali untuk kategori lalu lintas rendah yaitu 94%.

Dari matriks probabilitas transisi (MPT) data PCI yang dihasilkan terlihat trend perubahan nilai PCI dari tahun 2019 hingga 2022 adalah sebagai berikut:

1. Dari matriks segmen tidak terdampak banjir dan tanpa penanganan (TBTP), perubahan kondisi kerusakan lebih tinggi (PCI567) terjadi pada

matriks kategori lalu lintas tinggi (MPT PCI TBTP LLT) yaitu 69,1%, selanjutnya yaitu kategori lalu lintas sedang (MPT PCI TBTP LLS) dengan 63,9% dan terakhir kategori lalu lintas rendah (MPT PCI TBTP LLR) dengan 53%;

2. Dari matriks segmen terdampak banjir dengan adanya penanganan (TBDP), pada kategori lalu lintas tinggi (MPT PCI TBDP LLT) memiliki trend perubahan kondisi baik (PCI1234) lebih tinggi yaitu 97,4%, selanjutnya yaitu kategori lalu lintas sedang (MPT PCI TBDP LLS) dengan 96,7% dan terakhir kategori lalu lintas rendah (MPT PCI TBDP LLR) dengan 94,5%;
3. Antara matriks dengan tanpa adanya penanganan (TP), segmen terdampak banjir (DBTP) lebih tinggi dalam perubahan nilai menjadi rusak (PCI567) dengan nilai 74,2% sedangkan untuk yang tidak terdampak banjir (TBTP) hanya berkisar 53% hingga 69,1% tergantung kategori lalu lintas;
4. Antara matriks dengan adanya penanganan (DP), segmen terdampak banjir lebih rendah (DBDP) dalam perubahan nilai menjadi baik (PCI1234) dengan nilai 65,7% sedangkan untuk yang tidak terdampak banjir (TBDP) berkisar 94,5% hingga 97,4% tergantung kategori lalu lintas.

4.3.3 Vektor kondisi awal

Vektor kondisi awal disusun berdasarkan kondisi perkerasan yang dihitung dengan state kondisi jalan yang telah ditentukan sebelumnya. Pada penelitian ini, data survey IRI dan PCI tahun 2022 dijadikan sebagai tahun dasar ($t=0$). Vektor kondisi awal ditinjau pada segmen ruas jalan nasional di Provinsi Bengkulu.

4.3.4 Prediksi masa depan dengan markov chain

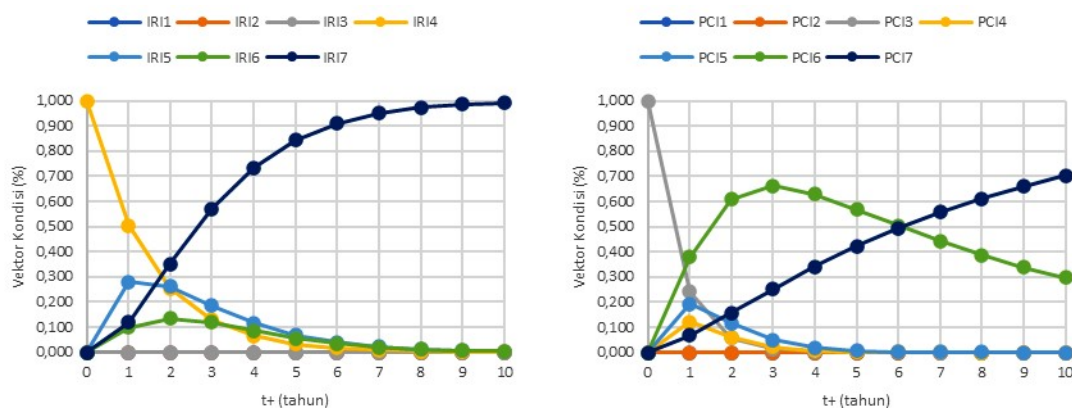
Analisis kondisi di masa datang dilakukan dengan perkalian matriks antara vektor kondisi awal dengan matriks probabilitas transisi (MPT) disesuaikan dengan dampak banjir dan kategori lalu lintas. Pada analisis ini dikelompokkan kriteria probabilitas kondisi masa datang sebagai berikut:

1) Jika tidak dilakukan penanganan;

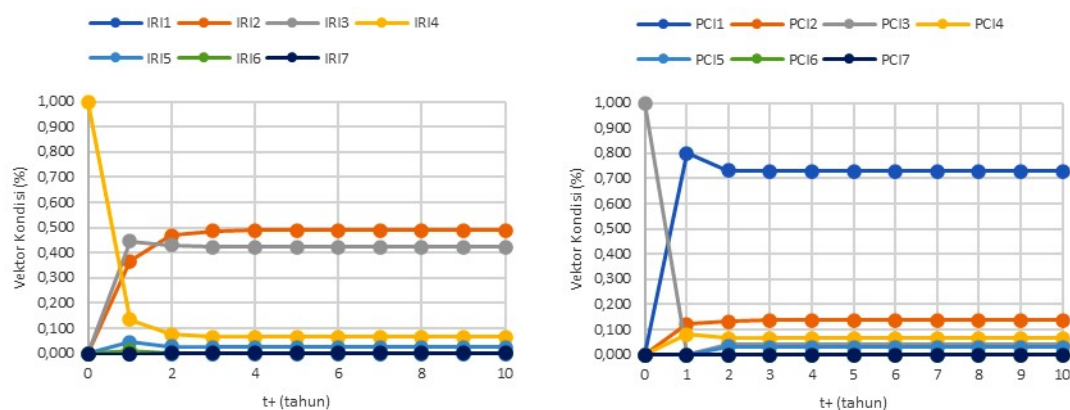
Analisis ini dilakukan dengan cara mengalikan vektor kondisi awal dengan matriks probabilitas transisi (MPT) tanpa penanganan (TP). Pada bagian ini dipilih salah satu segmen untuk perhitungan yaitu TBLT.

Dari **Gambar 5** nilai IRI pada tahun awal (t_0) berada pada *state* IRI4. Setelah dilakukan perkalian dengan matriks tanpa penanganan (TP) maka didapatkan untuk tahun $t+1$ kondisinya menjadi probabilitas 50,4% masih tetap berada di *state* IRI4, 27,9% diperkirakan ke *state* IRI5, 9,8% diperkirakan menurun ke IRI6 dan 11,9% berpeluang turun menjadi *state* IRI7. Sedangkan pada tahun $t+10$ diperkirakan 99,2% menurun ke *state* IRI7.

Dari **Gambar 5** juga dapat dilihat bahwa untuk nilai PCI pada tahun awal (t_0) berada pada *state* PCI3. Setelah dilakukan perkalian dengan matriks tanpa penanganan (TP) maka didapatkan untuk tahun $t+1$



Gambar 5. Transisi kondisi perkerasan mendatang jika tidak dilakukan penanganan



Gambar 6. Transisi kondisi perkerasan mendatang jika dilakukan penanganan

kondisinya menjadi probabilitas 24.1% masih tetap berada di *state* PCI3, 12% diperkirakan menurun ke *state* PCI4, 19.3% diperkirakan menurun ke PCI5, 37.8% menurun ke *state* PCI6 dan 6.7% berpeluang turun menjadi *state* PCI7. Sedangkan pada tahun $t+10$ diperkirakan 70.3% menurun ke *state* PCI7.

2) Jika selalu dilakukan penanganan;

Analisis ini dilakukan dengan cara mengalikan vektor kondisi awal dengan matriks probabilitas transisi (MPT) dengan penanganan (DP). Sama hal dengan sebelumnya dilakukan analisis menggunakan data TBLLT.

Dari **Gambar 6** dapat dilihat bahwa untuk nilai IRI pada tahun awal (t_0) berada pada *state* IRI4. Setelah dilakukan perkalian dengan matriks dengan penanganan (DP) maka didapatkan untuk tahun $t+1$ kondisinya menjadi probabilitas 36.7% membaik menjadi *state* IRI2, 44.4% diperkirakan ke *state* IRI3, 13.3% diperkirakan bertahan di *state* IRI4, 4.4% diperkirakan menurun ke *state* IRI5 dan 1.1% berpeluang turun menjadi *state* IRI7. Sedangkan pada tahun $t+10$ diperkirakan 48.8% membaik menjadi *state* IRI2.

Dari **Gambar 6** juga dapat dilihat bahwa untuk nilai PCI pada tahun awal (t_0) berada pada *state* PCI3. Setelah dilakukan perkalian dengan matriks dengan penanganan (DP) maka didapatkan untuk tahun $t+1$ kondisinya menjadi probabilitas 80% membaik ke *state* PCI1, 12% diperkirakan ke *state* PCI3 dan 8% diperkirakan menurun

ke PCI4. Sedangkan pada tahun $t+10$ diperkirakan 72.8% membaik menjadi ke *state* PCI1.

3) Jika dilakukan penanganan sesuai dengan keputusan.

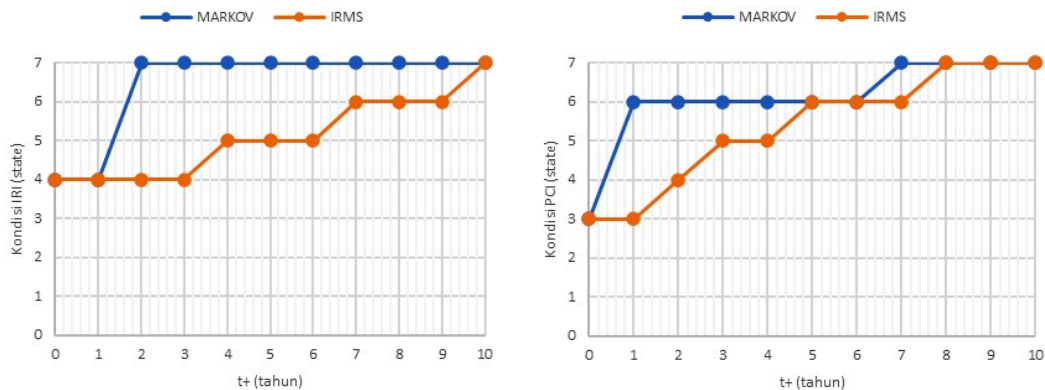
Analisis ini dilakukan dengan cara mengalikan vektor kondisi awal dengan matriks probabilitas transisi (MPT) sesuai dengan keputusan yang dibuat apakah dengan penanganan (DP) atau tanpa penanganan (TP). Pengambilan keputusan diambil dengan cara yaitu menggunakan probabilitas tertinggi dan untuk pemeliharaan berdasarkan decision tree IRMS V.3. **Tabel 5** menyajikan rekomendasi penanganan yang diberikan selama 5 tahun kedepan sesuai kategori lalu lintas dan segmentasi banjir dimana dalam 5 tahun kedepan untuk segmen TBLLT, TBLLS dan DB direkomendasikan 3 kali penanganan sedangkan untuk segmen TBLLR direkomendasikan 2 kali penanganan.

4.3.5 Perbandingan kondisi masa datang dengan IRMS V.3

Analisis program pemeliharaan ini berpedoman kepada *decision tree* program pemeliharaan jalan perkerasan lentur dari Pedoman IRMS V.3 pada **Gambar 1**. Dalam menentukan pemeliharaan jalan berdasarkan pedoman tersebut, dibutuhkan data IRI, RSL dan SCI. Data ini didapatkan dengan menggunakan Persamaan (2) untuk nilai IRI, Persamaan (3) untuk nilai PCI dan Persamaan (4) untuk nilai RSL. Penentuan *expected value* yang digunakan dalam penentuan keputusan penanganan

Tabel 5. Rekapitulasi probabilitas transisi kondisi perkerasan sesuai keputusan

IRI									PCI								
Kondisi t	Kondisi t + 1							Kondisi t	Kondisi t+1							Treatm	
	IRI1	IRI2	IRI3	IRI4	IRI5	IRI6	IRI7		PCI1	PCI2	PCI3	PCI4	PCI5	PCI6	PCI7		
TBLLT	0	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	DP
	1	0.000	0.367	0.444	0.133	0.044	0.011	0.000	1	0.800	0.120	0.000	0.080	0.000	0.000	0.000	TP
	2	0.000	0.262	0.370	0.175	0.106	0.037	0.051	2	0.539	0.149	0.077	0.077	0.053	0.094	0.012	DP
	3	0.000	0.455	0.423	0.087	0.029	0.004	0.002	3	0.709	0.163	0.037	0.061	0.028	0.002	0.000	TP
	4	0.000	0.325	0.375	0.151	0.085	0.027	0.037	4	0.477	0.149	0.089	0.076	0.064	0.129	0.016	DP
	5	0.000	0.463	0.422	0.081	0.028	0.003	0.002	5	0.702	0.172	0.037	0.059	0.027	0.003	0.000	TP
Kondisi t	Kondisi t + 1							Kondisi t	Kondisi t+1							Treatm	
	IRI1	IRI2	IRI3	IRI4	IRI5	IRI6	IRI7		PCI1	PCI2	PCI3	PCI4	PCI5	PCI6	PCI7		
TBLLS	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	DP
	1	0.000	0.379	0.347	0.253	0.011	0.011	0.000	1	0.608	0.107	0.078	0.160	0.041	0.006	0.000	TP
	2	0.000	0.291	0.302	0.204	0.120	0.038	0.044	2	0.413	0.111	0.068	0.152	0.134	0.119	0.003	DP
	3	0.001	0.377	0.419	0.177	0.015	0.005	0.006	3	0.667	0.107	0.040	0.131	0.043	0.012	0.000	TP
	4	0.000	0.290	0.351	0.178	0.107	0.032	0.042	4	0.453	0.119	0.064	0.134	0.119	0.109	0.003	DP
	5	0.001	0.377	0.422	0.174	0.015	0.005	0.006	5	0.667	0.107	0.039	0.132	0.044	0.012	0.000	TP
Kondisi t	Kondisi t + 1				Kondisi t	Kondisi t+1				Treatm							
	IRI12	IRI3	IRI4	IRI567		PCI2	PCI3	PCI4	PCI567								
TBLLR	0	1.000	0.000	0.000	0.000	0	1.000	0.000	0.000	0.000	TP						
	1	0.653	0.252	0.073	0.023	1	0.691	0.051	0.165	0.093	TP						
	2	0.426	0.321	0.160	0.092	2	0.477	0.047	0.180	0.296	TP						
	3	0.278	0.307	0.215	0.200	3	0.330	0.036	0.146	0.489	DP						
	4	0.381	0.465	0.100	0.054	4	0.799	0.085	0.055	0.061	TP						
	5	0.249	0.385	0.216	0.149	5	0.552	0.061	0.187	0.200	DP						
Kondisi t	Kondisi t + 1				Kondisi t	Kondisi t+1				Treatm							
	IRI12	IRI3	IRI4	IRI567		PCI2	PCI3	PCI4	PCI567								
DB	0	0.000	1.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	1.000	TP						
	1	0.000	0.583	0.229	0.188	1	0.000	0.000	0.000	1.000	DP						
	2	0.354	0.115	0.493	0.038	2	0.526	0.000	0.105	0.368	TP						
	3	0.203	0.142	0.104	0.551	3	0.311	0.032	0.123	0.534	DP						
	4	0.458	0.052	0.473	0.017	4	0.522	0.019	0.134	0.326	TP						
	5	0.263	0.128	0.094	0.515	5	0.308	0.032	0.127	0.533	DP						



Gambar 7. Perbandingan transisi kondisi perkerasan antara markov chain dengan IRMS V.3

berdasarkan IRMS V.3 dari nilai probabilistik *Markov Chain* adalah dengan mengambil nilai batas atas kondisi perkerasan dari state tersebut. **Gambar 7** berikut menampilkan perbandingan penurunan kondisi perkerasan antara Markov Chain dan IRMS V.3 jika tidak dilakukan penanganan dalam 10 tahun.

Berdasarkan **Gambar 7** ditampilkan perbandingan hasil penurunan kondisi IRI dan PCI dengan menggunakan model *Markov Chain* maupun menggunakan pedoman IRMS V.3. Pada nilai IRI untuk markov chain terlihat cepat meningkat kerusakannya sedangkan berdasarkan pedoman IRMS v.3 perubahan kondisi IRI cenderung

lambat setiap tahunnya. Begitupun nilai PCI dimana jika menggunakan model *Markov Chain* tingkat kerusakannya sangat cepat sedangkan berdasarkan pedoman IRMS V.3 penurunan nilai PCI lebih lambat.

Jika dilakukan prediksi nilai perkerasan dan dilakukan penanganannya menggunakan IRMS V.3 dan dibandingkan dengan model *Markov Chain* probabilitas tertinggi, hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 6** berikut.

Pada segmen TBLLT terlihat pada **Tabel 6** jika menggunakan *Markov Chain* pada tahun awal (t_0) dilakukan penanganan begitupun dengan IRMS V.3.

Tapi pada tahun $t+2$ dan $t+4$ kembali direkomendasikan dilakukan penanganan pada *Markov Chain* sedangkan pada IRMS V.3 berdasarkan formula penurunan kondisi perkerasan yang diberikan untuk tahun berikutnya ($t+1$) hingga ke tahun $t+5$ tidak direkomendasikan melakukan penanganan efektif. Pada **Gambar 8** disajikan perubahan nilai IRI dan PCI TBLLT berdasarkan rekomendasi penanganan dari perubahan kondisi perkerasan menurut model *Markov Chain* maupun IRMS V.3.

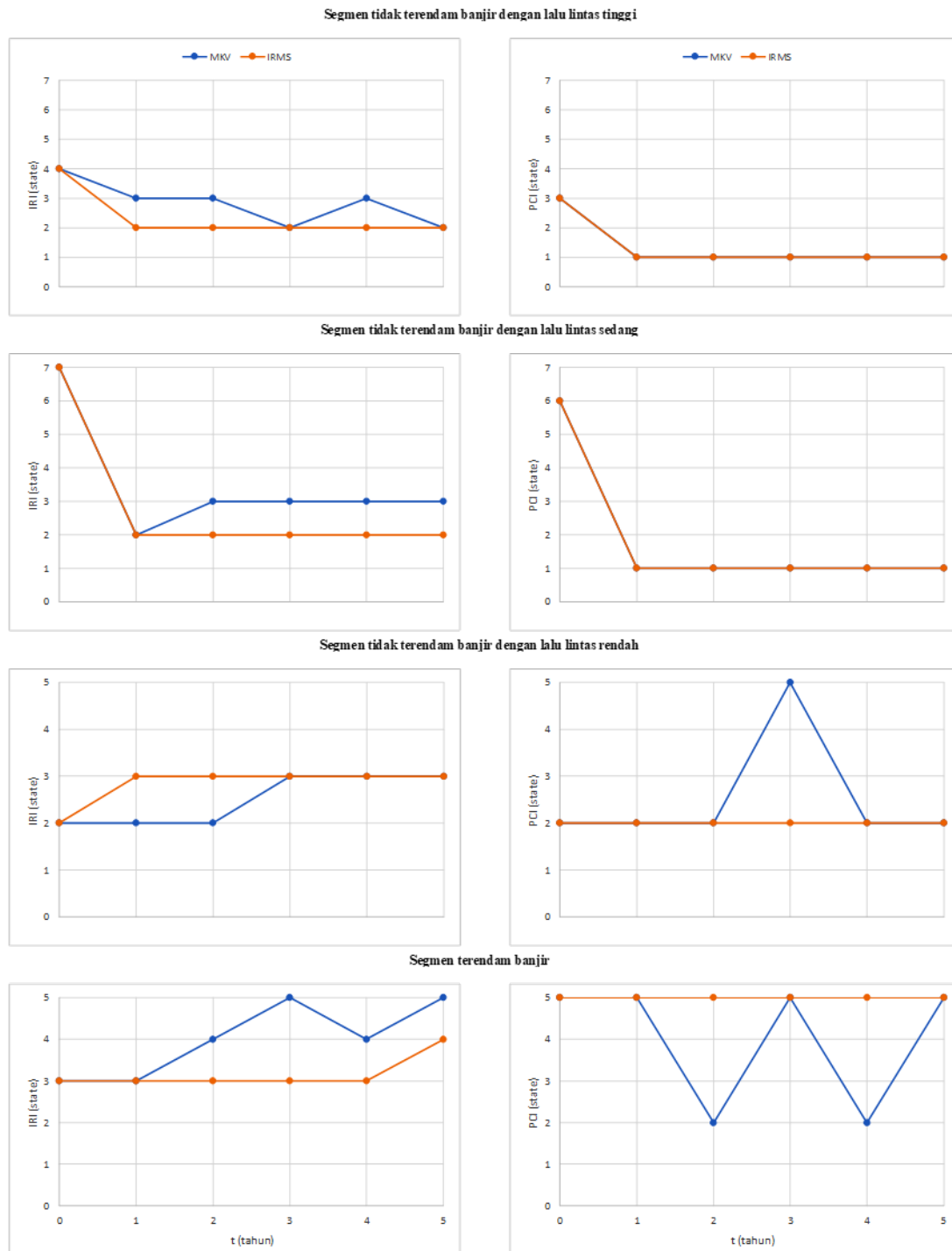
Pada segmen TBLLS terlihat pada **Tabel 6** jika menggunakan *Markov Chain* pada tahun awal (t_0) dilakukan penanganan begitupun dengan IRMS V.3. Tapi pada tahun $t+2$ dan $t+4$ kembali direkomendasikan dilakukan penanganan pada *Markov Chain* sedangkan pada IRMS V.3 berdasarkan formula penurunan kondisi perkerasan yang diberikan untuk tahun berikutnya ($t+1$) hingga ke tahun $t+5$ tidak direkomendasikan melakukan penanganan efektif. Pada **Gambar 8** disajikan perubahan nilai IRI dan PCI TBLLS berdasarkan rekomendasi penanganan dari perubahan kondisi perkerasan menurut model *Markov Chain* maupun IRMS V.3.

Pada segmen TBLLR terlihat pada **Tabel 6**, jika menggunakan *Markov Chain* pada tahun awal (t_0) hingga tahun $t+3$ tidak direkomendasikan penanganan efektif, penanganan efektif mulai direkomendasikan pada tahun $t+4$. Sedangkan pada IRMS V.3 berdasarkan *decision tree* penanganan perkerasan lentur tidak direkomendasikan penanganan efektif hingga tahun $t+5$. Pada **Gambar 8** disajikan perubahan nilai IRI dan PCI TBLLR berdasarkan rekomendasi penanganan dari *Markov Chain* maupun IRMS V.3.

Pada segmen DB terlihat pada **Tabel 6**, jika menggunakan *Markov Chain* pada tahun awal (t_0) tidak direkomendasikan penanganan efektif begitupun dengan menggunakan IRMS V.3, penanganan efektif mulai direkomendasikan pada tahun $t+1$, tahun $t+3$ dan tahun $t+5$ sedangkan pada IRMS V.3 mulai direkomendasikan penanganan efektif pada tahun $t+5$. Pada **Gambar 8** disajikan perubahan nilai IRI dan PCI DB berdasarkan rekomendasi penanganan dari *Markov*.

Tabel 6. Perbandingan pengambilan keputusan penanganan antara Markov Chain dan IRMS V.3

Segmen tidak terendam banjir dengan lalu lintas tinggi (TBLLT)											
t	Markov			IRMS							
	IRI	PCI	Treatm	PCI	IRI	St.PCI	St.IRI	RSL	SCI	Treatm	Treatm
0	IRI4	PCI3	DP	75.87	6.70	PCI3	IRI4	3.03	2.52	Rehab Mayor	DP
1	IRI3	PCI1	TP	100.00	3.00	PCI1	IRI2	19.96	1.00	Rutin	TP
2	IRI3	PCI1	DP	100.00	3.11	PCI1	IRI2	18.99	1.05	Rutin	TP
3	IRI2	PCI1	TP	100.00	3.23	PCI1	IRI2	18.02	1.10	Rutin	TP
4	IRI3	PCI1	DP	100.00	3.35	PCI1	IRI2	17.06	1.17	Rutin	TP
5	IRI2	PCI1	TP	100.00	3.49	PCI1	IRI2	16.09	1.25	Rutin	TP
Segmen tidak terendam banjir dengan lalu lintas sedang (TBLLS)											
t	Markov			IRMS							
	IRI	PCI	Treatm	PCI	IRI	St.PCI	St.IRI	RSL	SCI	Treatm	Treatm
0	IRI7	PCI6	DP	34.77	13.90	PCI6	IRI7	0.00	4.54	Rekon	DP
1	IRI2	PCI1	TP	100.00	3.00	PCI1	IRI2	19.96	1.00	Rutin	TP
2	IRI3	PCI1	DP	100.00	3.11	PCI1	IRI2	18.99	1.05	Rutin	TP
3	IRI3	PCI1	TP	100.00	3.23	PCI1	IRI2	18.02	1.10	Rutin	TP
4	IRI3	PCI1	DP	100.00	3.35	PCI1	IRI2	17.06	1.17	Rutin	TP
5	IRI3	PCI1	TP	100.00	3.49	PCI1	IRI2	16.09	1.25	Rutin	TP
Segmen tidak terendam banjir dengan lalu lintas rendah (TBLLR)											
t	Markov			IRMS							
	IRI	PCI	Treatm	PCI	IRI	St.PCI	St.IRI	RSL	SCI	Treatm	Treatm
0	IRI12	PCI12	TP	98.26	4.00	PCI12	IRI12	12.98	1.41	Rutin	TP
1	IRI12	PCI12	TP	94.76	4.18	PCI12	IRI3	12.01	1.54	Rutin	TP
2	IRI12	PCI12	TP	91.89	4.38	PCI12	IRI3	11.05	1.68	Rutin	TP
3	IRI3	PCI567	DP	88.62	4.59	PCI12	IRI3	10.08	1.85	Rutin	TP
4	IRI3	PCI12	TP	84.93	4.82	PCI12	IRI3	9.12	2.03	RK	TP
5	IRI3	PCI12	DP	80.80	5.06	PCI12	IRI3	8.15	2.24	RK	TP
Segmen terendam banjir (DB)											
t	Markov			IRMS							
	IRI	PCI	Treatm	PCI	IRI	St.PCI	St.IRI	RSL	SCI	Treatm	Treatm
0	IRI3	PCI567	TP	43.98	4.70	PCI567	IRI3	9.62	4.08	PrevS	TP
1	IRI3	PCI567	DP	37.00	4.94	PCI567	IRI3	8.65	4.45	PrevS	TP
2	IRI4	PCI12	TP	29.34	5.19	PCI567	IRI3	7.69	4.83	PrevS	TP
3	IRI567	PCI567	DP	21.31	5.46	PCI567	IRI3	6.72	5.24	PrevS	TP
4	IRI4	PCI12	TP	12.92	5.75	PCI567	IRI3	5.76	5.66	PrevS	TP
5	IRI567	PCI567	DP	4.18	6.06	PCI567	IRI4	4.79	6.10	Rehab Mayor	DP



Gambar 8. Gambaran perbandingan perubahan state kondisi perkerasan jika dilakukan penanganan antara markov chain dan IRMS V.3

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis curah hujan yang telah dilakukan didapatkan curah hujan yang mengakibatkan terjadinya banjir pada ruas jalan nasional di Provinsi Bengkulu adalah 78 mm.

Curah hujan tersebut terjadi dengan periode ulang kurang 1 tahun;

2. Berdasarkan kategori lalu lintas, dari 34 ruas jalan nasional yang ada di Provinsi Bengkulu setelah dilakukan analisis diperoleh 14 ruas kategori lalu lintas tinggi (LLT), 25 ruas termasuk kategori lalu lintas sedang (LLS) dan 4 ruas termasuk kategori lalu lintas rendah (LLR).

3. Dari hasil matriks probabilitas transisi (MPT), kondisi kategori lalu lintas mempengaruhi tingkat penurunan maupun kenaikan kondisi perkerasan jika dilakukan penanganan dimana lalu lintas tinggi memiliki tingkat penurunan kondisi perkerasan lebih tinggi daripada lalu lintas sedang maupun lalu lintas rendah. Kondisi antara segmen banjir dan tidak banjir juga berbeda dalam perubahan kondisi perkerasan dimana segmen banjir tingkat penurunan kondisi perkerasan lebih cepat dari segmen tidak banjir.
4. Berdasarkan Matriks Probabilitas Transisi (MPT) yang dihasilkan, pada segmen banjir jika keputusan penanganan dilakukan dengan optimis tidak menjamin pada tahun berikutnya menjadi lebih baik (mantap), sedangkan pada segmen tak terdampak banjir jika keputusan penanganan dilakukan dengan optimis hasil kondisi perkerasan pada tahun berikutnya lebih baik.
5. Perbandingan jumlah keputusan penanganan yang diberikan pada Markov Chain probabilitas tinggi maupun dengan Pedoman IRMS V.3 menunjukkan hasil yang berbeda, dimana penurunan kondisi perkerasan baik IRI maupun PCI lebih cepat sehingga lebih sering dilakukan penanganan daripada menggunakan IRMS V.3 yang penurunan kondisi jalan cenderung lebih lambat.

Daftar Pustaka

- Alimoradi, S., Golroo, A., dan Asgharzadeh, S. M., 2022, Development of pavement roughness master curves using Markov Chain, *International Journal of Pavement Engineering*, 23(2), 453–463. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1752917>
- Arimbi, G., 2015, Network-Level Pavement Performance Prediction Modelling with Markov Chains, Delft University of Technology, Delft.
- Bina Marga, 2021, Pedoman Perencanaan dan Pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan, , 07/SE/Db/2021 SE (2021).
- Handayani, O. T., 2022, Analisis Pengaruh Banjir Terhadap Deteriorasi Perkerasan Berdasarkan Kondisi Permukaannya, Institut Teknologi Bandung, 294.
- IRAMS-DC., 2021, IRMS-V3 System Description (Engineering Rules: Pavements).
- Kementerian Pekerjaan Umum., 2011, Tata Cara Pemeliharaan Dan Penilikan Jalan, , 13/PRT/M/2011 Permen PU (2011).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, SNI 2415:2016.
- Khan, M. U., Mesbah, M., Ferreira, L., dan Williams, D. J., 2014, Developing a new road deterioration model incorporating flooding, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 167 (5), 322–333. <https://doi.org/10.1680/tran.13.00095>
- Naproni., 2017, Perbandingan Algoritma Pembangkit Bilangan Linear Congruential Generator (LCG) dengan Multiplicative Random Number Generator (MNRG) dalam Probabilitas Kemunculan Bilangan yang Sama, *Semantika: Seminar Nasional Teknologi Informatika (Semantika)*.
- Ortiz-García, J. J., Costello, S. B., dan Snaith, M. S., 2006, Derivation of Transition Probability Matrices for Pavement Deterioration Modeling, *Journal of Transportation Engineering*, 132(2), 141–161. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2006\)132:2\(141\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:2(141))
- Panthi, K., 2009, A Methodological Framework for Modeling Pavement Maintenance Costs for Projects with Performance-based Contracts, *Civil Engineering*, Florida International University. <https://doi.org/10.25148/etd.FI09120824>
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., dan Queiroz, C. A. V., 1986, The international road roughness experiment: establishing correlation and a calibration standard for measurements (World Bank technical paper), World Bank, Washington, D.C, 453.
- Shahin, M. Y., 1994, Pavement management for airports, roads and parking lots (2. ed), Springer, New York, NY, 572.
- Sultana, M., Chai, G., Chowdhury, S., Martin, T., Anissimov, Y., dan Rahman, A., 2018, Rutting and Roughness of Flood-Affected Pavements: Literature Review and Deterioration Models, *Journal of Infrastructure Systems*, 24(2), 04018006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000413](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000413)
- Yang, J., Gunaratne, M., Lu, J. J., dan Dietrich, B., 2005, Use of Recurrent Markov Chains for Modeling the Crack Performance of Flexible Pavements, *Journal of Transportation Engineering*, 131(11), 861–872. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2005\)131:11\(861\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:11(861))
- Zhang, Z., Wu, Z., Martinez, M., dan Gaspard, K., 2008, Pavement Structures Damage Caused by Hurricane Katrina Flooding, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(5), 633–643. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2008\)134:5\(633\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:5(633))

