

Sistem Pakar Untuk Mendeteksi Jenis Kerusakan Jalan: Studi Kasus pada Perkerasan Lentur

Expert System for Road Damage Detection: Case Study on Flexible Pavement

Adie Wahyudi Oktavia Gama¹, Dewa Ayu Putu Adhiya Garini Putri², Gede Humaswara Prathama³

^{1,3}Teknologi Informasi, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional

¹adiewahyudi@undiknas.ac.id, ²adhiyagariniputri@undiknas.ac.id, ³huma@undiknas.ac.id

Abstrak

Upaya pemeliharaan jalan, terutama jalan nasional memiliki kompleksitas yang tinggi karena melibatkan banyak tenaga kerja, biaya, peralatan dan waktu yang cukup panjang. Kecepatan penanganan diperlukan karena seringkali upaya perbaikan kerusakan dapat mengganggu lalu lintas disekitar dalam waktu yang lama. Selain itu untuk mengetahui teknik perbaikan yang akan digunakan, instansi terkait harus melakukan koordinasi terlebih dahulu sehingga seringkali upaya penanganan pemeliharaan jaringan jalan nasional membutuhkan waktu yang cukup lama. Sistem pakar diagnosa kerusakan jalan merupakan salah satu alternatif pengembangan sistem cerdas untuk memberikan diagnosa awal kerusakan jalan. Tujuan dari riset ini adalah untuk mengembangkan sistem pakar mendeteksi kerusakan jalan memakai teknik *forward chaining* dalam melakukan deteksi awal kerusakan jalan. Teknik *forward chaining* diawali dengan menelusuri ciri yang sesuai dari respon pengguna sampai ditemukan kesimpulan jenis kerusakan jalan yang tepat. Berdasarkan hasil riset, sistem pakar ini telah berhasil diimplementasikan secara terbatas pada perkerasan jalan lentur. Sistem ini juga dapat memberikan deteksi awal tentang jenis kerusakan jalan sehingga dapat digunakan menjadi alternatif saran ahli dalam model perbaikan perkerasan lentur. Tingkat akurasi sistem adalah sekitar 60% yang didapat setelah dilakukan ujicoba sebanyak 10 kali kemudian dikonfirmasi kepada ahli perkerasan jalan.

Kata kunci: sistem pakar, *forward chaining*, mendeteksi kerusakan jalan, perkerasan lentur

Abstract

Road maintenance efforts, especially national roads, have a high complexity because they involve a lot of manpower, cost, equipment, and a fairly long time. Speed of handling is needed because often efforts to repair the damage can disrupt traffic around for a long time. In addition, to find out the repair technique to be used, the relevant agencies must coordinate beforehand so that often efforts to handle the maintenance of the national road network take a long time. An expert system for diagnosing road damage is an alternative to developing an intelligent system to provide an early diagnosis of road damage. The purpose of this study is to develop an expert system for detecting road damage using forward chaining techniques in the early detection of road damage. The forward-chaining technique begins by tracing the appropriate characteristics of the user's response until the conclusion of the right type of road damage is found. Based on the research results, this expert system has been successfully implemented on a limited basis on flexible pavements. This system can also provide early detection of the type of road damage so that it can be used as an alternative to expert advice in the flexible pavement repair model. The accuracy of the system is about 60% which is obtained after 10 trials and then confirmed to the road pavement expert.

Keyword: expert system, *forward chaining*, road damage detection, flexible pavement

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur jaringan jalan nasional berperan sangat penting sebagai penghubung kegiatan ekonomi antar kota dan antar provinsi. Pemeliharaan sistem jaringan jalan merupakan salah satu hal yang penting dilakukan secara rutin, terutama pada jaringan jalan nasional. Pada umumnya jaringan jalan nasional memiliki tingkat kepadatan dan beban jalan yang tinggi. Berdasarkan data yang dirilis dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2019, terdapat 8,1% kondisi permukaan jalan nasional yang masih tergolong dalam keadaan rusak ringan dan rusak berat [1]. Kondisi perkerasan jalan sangat bergantung dari jenis perkerasan dan material yang digunakan. Pada tipe jalan nasional pada umumnya digunakan tipe perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Perkerasan kaku memiliki ketahanan beban diam yang lebih besar dan umur yang lebih panjang dibandingkan perkerasan lentur. Jalan yang memakai perkerasan lentur cenderung kemungkinan mengalami kerusakan yang lebih sering dari perkerasan kaku. Untuk itu dibutuhkan penanganan yang cepat dan tepat sesuai dengan jenis kerusakan yang ditemui.

Pemeliharaan jaringan jalan nasional membutuhkan penanganan yang cepat dan tepat karena hal ini akan berimbas pada sistem distribusi dan aktifitas orang dan barang antar provinsi. Upaya pemeliharaan jalan, terutama jalan nasional memiliki kompleksitas yang tinggi karena melibatkan banyak tenaga kerja, biaya, peralatan dan waktu yang cukup panjang [2]. Kecepatan penanganan diperlukan karena seringkali upaya perbaikan kerusakan dapat mengganggu lalu lintas disekitar dalam waktu yang lama. Selain itu untuk mengetahui jenis kerusakan jalan dan teknik perbaikan yang akan digunakan, instansi terkait harus melakukan koordinasi terlebih dahulu sehingga seringkali upaya penanganan pemeliharaan jaringan jalan nasional membutuhkan waktu yang cukup lama.

Mengetahui lebih awal jenis kerusakan jalan berdasarkan ciri yang ditemukan dilapangan dalam sistem manajemen perkerasan tentunya dapat membantu mempercepat pengambilan keputusan. Sistem manajemen perkerasan yang berjalan dengan baik tentunya akan memberikan akurasi model perkiraan kondisi perkerasan dan teknik perbaikan yang paling cocok digunakan. Selain itu hal ini juga dapat dilakukan sebagai upaya pemeliharaan jalan sehingga nantinya diharapkan terjadi efisiensi waktu dan biaya. Kecepatan penanganan kerusakan jalan seringkali menjadi permasalahan. Penggunaan sistem yang tepat, dapat membantu identifikasi kerusakan pada perkerasan jalan menjadi lebih cepat dan akurat sehingga keputusan untuk menentukan teknik perbaikan menjadi lebih efektif dan efisien.

Penggunaan sistem cerdas khususnya sistem pakar dalam berbagai bidang sudah digunakan secara luas. Sistem pakar dapat digunakan dalam bidang kesehatan untuk melakukan diagnosa awal tentang penyakit berdasarkan gejala yang dialami [3][4], sistem pakar untuk depresi pasca melahirkan[5], sistem pakar juga dapat digunakan untuk mendeteksi penyakit pada tanaman [6]. Pada bidang teknik, sistem pakar telah dikembangkan untuk mendeteksi kerusakan mesin [7][8]. Dari berbagai riset terkait tersebut, sistem pakar juga dapat diterapkan untuk mendeteksi kerusakan jalan berdasarkan ciri yang ditemui sehingga dapat dilakukan pemilihan teknik perbaikan yang tepat.

Sistem pakar digunakan untuk menganalisis, menentukan dan menyesuaikan informasi untuk membantu pihak terkait dalam proses pengambilan keputusan. Selain itu, dalam melakukan pemecahan suatu masalah yang membutuhkan suatu kepakaran tertentu sangat memungkinkan untuk dilakukan pengembangan [9]. Identifikasi kerusakan jalan dilakukan dengan melakukan pencatatan ciri-ciri kerusakan jalan pada saat survey berlangsung, mesin inferensi kemudian akan memproses ciri-ciri fisik kerusakan jalan. Setelah data kondisi fisik jalan didapatkan, kemudian dilakukan analisis mengenai level kerusakan jalan pada lokasi tersebut dan selanjutnya dilakukan pemilihan teknik perbaikan jalan yang diperlukan.

Sistem pakar diagnosa kerusakan jalan merupakan salah satu alternatif pengembangan sistem cerdas untuk melakukan deteksi dini kerusakan jalan dengan ciri yang diberikan. Sistem ini direncanakan untuk membantu peran penilik jalan pada saat survey lapangan dan mempersempit jalur koordinasi tim ketika dilakukan proses perencanaan kegiatan pemeliharaan

jalan. Sistem ini juga dapat memberikan standar kinerja yang sama pada setiap waktu dan lokasi terjadinya kerusakan jalan. Model riset ini telah dikembangkan sebelumnya pada riset Gama, 2020 tentang sistem pakar untuk diagnosa awal penyakit mata[10]. Riset ini kembali dikembangkan dengan memakai data kerusakan jalan untuk mendukung riset tentang sistem pakar yang dapat diimplementasikan pada berbagai bidang.

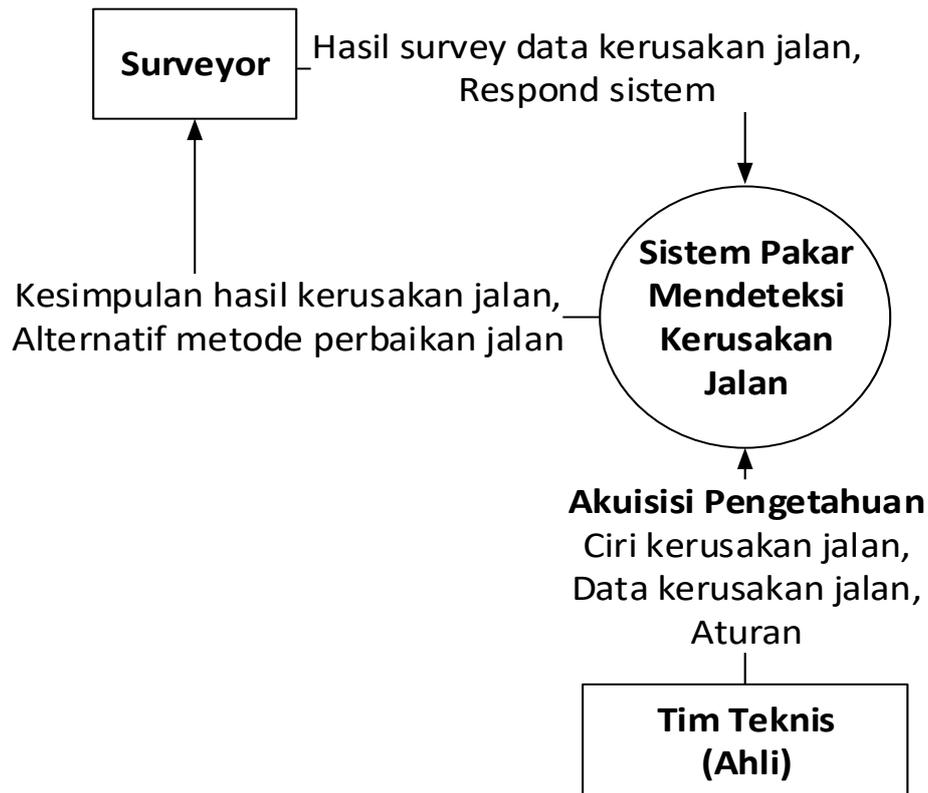
Sumber utama sistem pakar adalah data ciri dan jenis kerusakan jalan yang dipasangkan menjadi basis aturan. Secara teknis sistem terdiri dari pengetahuan dasar, pengumpulan fakta dan seperangkat aturan untuk setiap keadaan yang digambarkan dalam program. Sistem pakar terdiri dari entitas pengembangan dan entitas konsultasi. Pembentukan basis aturan dilakukan dalam entitas pengembangan dan entitas konsultasi dipakai sebagai sistem konsultasi [11]. Untuk melakukan proses implementasi kesimpulan, sistem pakar memakai mesin inferensi. Mesin inferensi ini bertujuan untuk mengekstrak aturan dari basis data untuk memberikan konfirmasi, prediksi dan saran seperti ahli yang dapat mendukung keputusan perbaikan jalan.

Kategori kerusakan secara umum dapat dibagi menjadi baik, sedang rusak ringan dan rusak berat. Untuk melakukan proses penentuan teknik perbaikan yang akan dilakukan, sistem akan melakukan pencocokan data kerusakan dengan basis data teknik perbaikan kerusakan jalan. Berdasarkan Surat Edaran Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jendral Bina Marga Nomor 7/ES/b/2017 tentang Panduan Memilih Teknologi Pemilihan Preventif Perkerasan Jalan terdapat beberapa teknologi yang dapat digunakan dalam upaya perbaikan pada perkerasan jalan diantaranya adalah *fog seal*, *chip seal*, *slurry seal* dan *microsurfacing*[12]. Data perbaikan jalan juga disimpan dalam basis data.

Riset sistem pakar pada area teknik sipil sudah banyak dilakukan oleh para ahli. Midyanti dan Hamid (2021) dalam riset dengan judul “Implementasi *forward chaining* dalam penentuan pola kerusakan infrastruktur jalan” yang mengembangkan riset pada area sistem pakar berbasis *web* guna mendapatkan pola kerusakan infrastruktur jalan mengimplementasikan teknik *forward chaining*[13]. Hasil dari riset yang dilakukan berupa deteksi jenis kerusakan jalan berdasarkan ciri yang diberikan pengguna, serta memberikan solusi untuk mengatasi kerusakan jalan tersebut. Artikel internasional dari Santos et al (2022) berjudul “*A fuzzy logic expert system for selecting optimal and sustainable life cycle maintenance and rehabilitation strategies for road pavements*” mengembangkan sistem pakar untuk pemilihan pemeliharaan jalan memakai teknik *Fuzzy logic*[14]. Riset tentang sistem pakar dibidang teknik sipil, terutama mendeteksi kerusakan jalan masih sangat terbatas. Maka dalam riset ini kembali dilakukan pengembangan sistem pakar pada bidang teknik sipil khususnya bidang perbaikan jalan memakai teknik *forward chaining* yang sederhana dan mudah dipahami.

2. METODE PENELITIAN

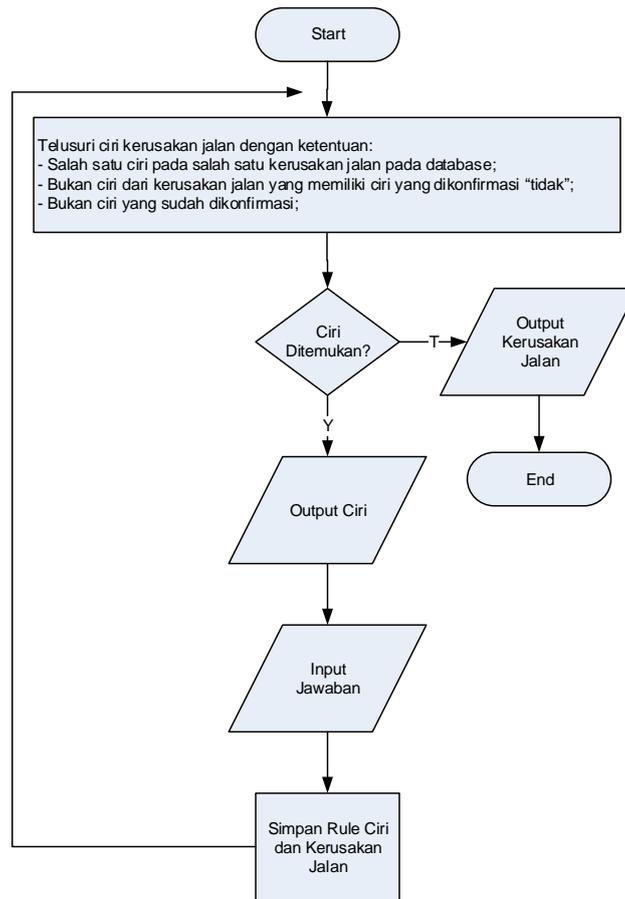
Sistem Pakar yang dikembangkan adalah untuk memberikan diagnosa kerusakan jalan dengan memakai teknik *forward chaining* dalam melakukan penelusuran ciri kerusakan jalan. Data yang digunakan untuk membentuk basis aturan adalah data ciri dan jenis kerusakan jalan untuk perkerasan lentur yang diperoleh dari dokumen serta validasi pakar yaitu tim teknis perbaikan jalan. Perancangan sistem pakar diagnosa kerusakan jalan diawali dengan membentuk diagram konteks dengan memperhatikan entitas yang terlibat seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Konsep Sistem Pakar Mendeteksi Kerusakan Jalan

Dalam perancangan ini terdapat 2 peran penting yaitu pakar (tim teknis pelaksanaan) dan pengguna (surveyor) seperti ditunjukkan Gambar 1. Tim teknis sebagai pakar berperan untuk mendefinisikan ciri-ciri kerusakan jalan. Ciri-ciri kerusakan jalan didefinisikan berdasarkan data historis pekerjaan pemeliharaan jalan. Sedangkan pengguna (surveyor) memberikan data kepada sistem untuk direkam sehingga data respon akan menentukan pernyataan berikutnya. Respon yang diberikan kemudian digunakan mesin inferensi untuk memproses ciri kondisi jalan tersebut untuk dikonfirmasi.

Untuk mengetahui fakta yang digunakan dalam menghasilkan keputusan maka dikembangkan model penelusuran ciri dalam bentuk bagan alir. Bagan alir ini kemudian akan diterjemahkan kedalam algoritma bahasa pemrograman untuk menentukan kesimpulan dari jenis kerusakan jalan secara otomatis sesuai dengan ciri yang divalidasi.



Gambar 2. Bagan Alir Proses Penelusuran Jenis Kerusakan Jalan

Gambar 2 diatas menjelaskan perancangan sistem pakar diagnosa kerusakan jalan dimulai dengan mengumpulkan data sekunder kondisi ruas jalan yang berasal dari dokumen yang diberikan pakar yaitu tim teknis perbaikan jalan. Data kondisi ruas jalan digunakan sebagai basis data rencana pemeliharaan, yang selanjutnya digunakan untuk mencocokkan data teknik pemeliharaan ruas jalan yang terjadi. Sistem pakar diagnosa kerusakan jalan yang dikembangkan memakai sampel pada kategori jalan nasional pada perkerasan lentur. Berdasarkan data pada laman bali.bps.go.id jumlah total panjang ruas jalan nasional di Provinsi Bali adalah 629, 45 km yang terdiri dari 65 ruas jalan [15].

Dalam riset ini digunakan teknik inferensi *forward chaining*. Teknik *forward chaining* terdiri dari 3 komponen diantaranya adalah basis pengetahuan, mesin inferensi dan antarmuka pengguna[16]. Basis pengetahuan berisi fakta dan pengetahuan yang mendukung fakta tertentu, sedangkan antarmuka pengguna berisi fakta masalah yang ditemukan. Antarmuka pengguna berisi dua jenis informasi yaitu informasi yang disajikan oleh pengguna dan informasi yang disimpulkan oleh sistem. Mesin inferensi akan berperan pada sistem pengambilan keputusan, dalam hal ini bertugas untuk mengaitkan fakta yang terdapat dalam aturan dan membuat kesimpulan dari nilai yang digunakan.

Setelah ditentukan ruas jalan yang akan diteliti, tim surveyor melakukan pencatatan identitas ruas jalan dan kemudian melakukan identifikasi ciri kerusakan jalan. Ciri kerusakan jalan akan muncul pada sistem untuk divalidasi oleh surveyor pada saat melakukan survey dilapangan. Ciri kerusakan jalan yang telah dikonfirmasi kemudian disimpan beserta responnya pada basis data. Penelusuran dilakukan terus-menerus pada basis data hingga tidak ditemukan ciri kerusakan jalan yang bisa dimunculkan kembali. Setelah data berdasarkan kondisi fisik tercatat oleh sistem, sistem kemudian melakukan proses pengkategorian kerusakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Basis Aturan

Sistem pakar dengan teknik *forward chaining* ini memakai aturan guna penelusuran pengetahuan dalam basis pengetahuannya. Aturan terbentuk dari 2 (dua) bagian yaitu:

1. *Antecedents*, adalah bagian yang mendeskripsikan situasi (berbentuk pernyataan yang dimulai dengan *IF*).
2. *Consequences*, adalah bagian yang menyatakan tindakan atau hasil yang diambil jika situasi bernilai benar atau sesuai (berbentuk pernyataan yang dimulai dengan *THEN*)[1].

Hubungan dari *antecedents* dan *consequences* diformulasikan sebagai berikut:

IF Antecedents THEN Consequences..... [1]

Rumus 1 diatas menentukan hasil pada bagian *THEN* akan bernilai benar atau sesuai jika bagian *IF* pada lingkungan tersebut juga benar. Setiap aturan yang dibuat akan mengikuti formula dari hubungan diatas.

Pembuatan basis aturan dimulai dari pengumpulan data mengenai kondisi ruas jalan yang bermula dari hasil survei lapangan. Fakta tentang aturan kategori, jenis dan ciri kerusakan diperoleh dari basis data dan pengguna sistem dalam memilih teknik perbaikan jalan dengan memasukan jenis dan ciri kerusakan jalan pada interface (antarmuka) pengguna.

Data mengenai ciri dan jenis kerusakan jalan yang sudah dihimpun kemudian diorganisir dalam tabel-tabel basis data. Tabel-tabel utama dalam basis data adalah tabel ciri kerusakan jalan, tabel jenis kerusakan jalan dan tabel relasi yang merupakan hubungan antara ciri dan jenis kerusakan jalan.

Tabel 1. Ciri Kerusakan Jalan

Kode	Ciri
A1	Butir Agregat Halus Hilang & Warna Aspal Memudar <20% panjang segmen tinjauan
A2	Permukaan Butir Agregat Halus dan Agregat Kasar Terbuka
A3	Permukaan Perkerasan Sedikit Kasar 20-50% panjang segmen tinjauan
A4	Retak terjadi secara paralel sejajar sumbu jalan
A5	Lebar Retak dari 6mm sampai dengan lebih dari >50% segmen tinjauan jalan
A6	Retak terjadi pada arah lebar perkerasan dan tegak lurus sumbu jalan
A7	Retak terjadi memanjang yang sejajar dengan tepi perkerasan
A8	Lebar Retak <6mm tanpa disertai pelepasan butiran dari < 20% panjang segmen tinjauan jalan
A9	Keretakan terjadi saling berhubungan dan membentuk kotak hampir bujur sangkar
A10	Retak-retak halus atau retak rambut yang sejajar
A11	Sedikit retak terhubung tanpa disertai gompal
A12	tidak adanya deformasi (penurunan)
A13	sebaran kerusakan <20 panjang segmen tinjauan
A14	Terjadi penurunan memanjang pada jalur jejak roda kaki kiri dan jejak roda kaki kanan
A15	Kedalaman alur < 6mm

Tabel 1 diatas menunjukkan berbagai ciri dari kerusakan jalan yang dikumpulkan dari berbagai sumber yang terkait. Ciri yang dikumpulkan adalah ciri dari kerusakan jalan dengan perkerasan lentur. Ciri kerusakan jalan ini nantinya akan menjadi pertanyaan yang harus dikonfirmasi oleh pengguna untuk kemudian ditelusuri jenis dari kerusakan jalan.

Tabel 2. Jenis Kerusakan Jalan

Kode	Jenis Kerusakan
C1	Raveling
C2	Longitudinal Cracking
C3	Transverse Cracking
C4	Edge Cracking
C5	Block Cracking
C6	Aligator Cracking
C7	Rutting

Data yang disajikan pada tabel 2 diatas merupakan jenis kerusakan jalan pada perkerasan lentur. Jenis kerusakan jalan ini akan menjadi kesimpulan dari konsultasi yang dilakukan berdasarkan ciri yang memenuhi. Untuk dapat membuat aturan dari data ciri dan jenis kerusakan jalan, data gejala kemudian akan dilakukan pemetaan terhadap data jenis kerusakan. Relasi hubungan ciri dan jenis kerusakan jalan kemudian disajikan seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Matriks Relasi Ciri dan Jenis Kerusakan Jalan

Ciri	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	√						
A2	√						
A3	√						
A4		√					
A5		√	√				
A6			√				
A7				√			
A8				√	√		
A9					√		
A10						√	
A11						√	
A12						√	
A13						√	√
A14							√
A15							√

Tabel 3 diatas menunjukkan ciri kerusakan jalan yang dipetakan dengan masing-masing jenis kerusakannya. Setiap jenis kerusakan jalan dapat memiliki banyak ciri. Hubungan ciri dan jenis kerusakan tersebut kemudian dapat dibuatkan aturan percabangan dengan berbagai kondisi sesuai rumus 1 sebagai berikut:

IF Butir Agregat Halus Hilang & Warna Aspal Memudar <20% panjang segmen tinjauan *THEN* Raveling;

IF Permukaan Butir Agregat Halus dan Agregat Kasar Terbuka *THEN* Raveling;

IF Permukaan Perkerasan Sedikit Kasar 20-50% panjang segmen tinjauan *THEN* Raveling;

IF Retak terjadi secara paralel sejajar sumbu jalan *THEN* Longitudinal Cracking;

IF Lebar Retak dari 6mm sampai dengan lebih dari >50% segmen tinjauan jalan *THEN* Longitudinal Cracking;

Dan begitu seterusnya untuk setiap pasangan ciri dan jenis kerusakan jalan.

Setelah semua pasangan ciri dengan jenis kerusakan jalan dipasangkan menjadi basis aturan seperti pada Tabel 3, maka tahap berikutnya adalah membuat teknik mesin penelusuran. Penelusuran gejala dilakukan dengan teknik *forward chaining* dengan ketentuan sebagai berikut:

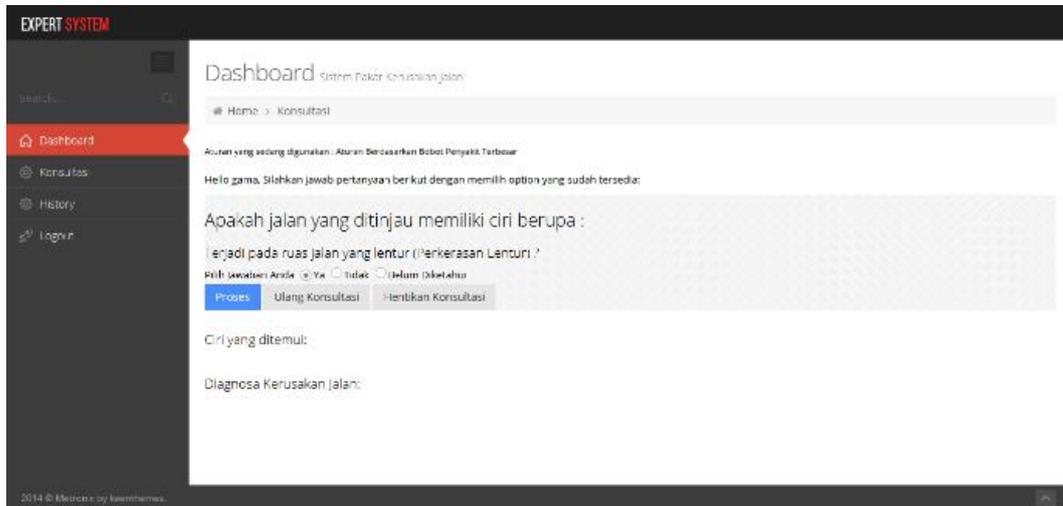
- Salah satu ciri kerusakan jalan pada basis data
- Bukan ciri yang sudah dikonfirmasi.
- Bukan ciri dari jenis kerusakan jalan yang memiliki ciri yang dikonfirmasi “tidak”.

Ketentuan diatas kemudian diterjemahkan kedalam algoritma pemrograman. Dengan ketentuan diatas yang dilakukan terus secara berulang, maka sistem akan memunculkan pertanyaan ciri yang harus dikonfirmasi oleh pengguna satu persatu, sampai tidak ditemukan lagi ciri yang harus dikonfirmasi kembali.

3.2 Implementasi

Sistem mengawali konsultasi dengan menelusuri pertanyaan atau *antecedent* dari salah satu ciri yang disimpan dalam basis data. Sistem mencari ciri yang belum dikonfirmasi, yaitu

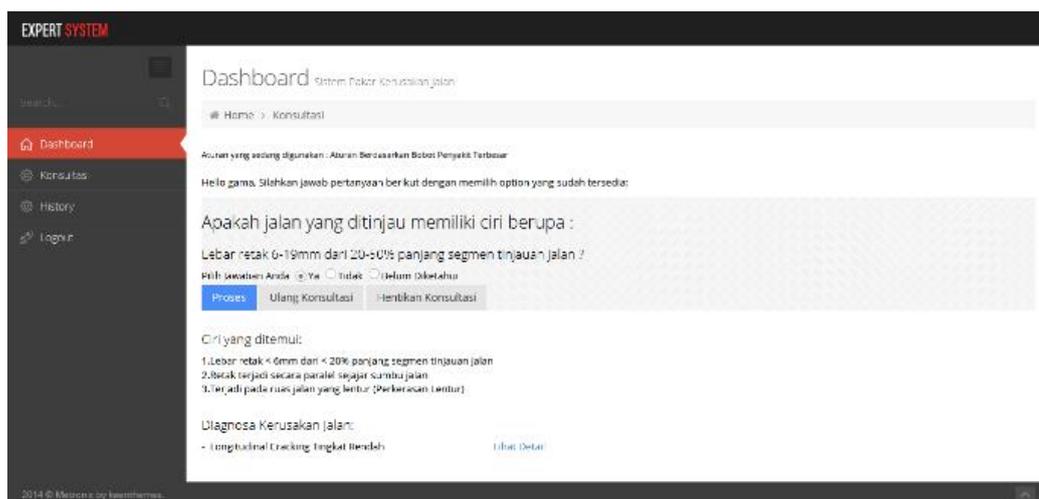
tidak ditemukan pada tabel konsultasi serta bukan ciri dari jenis kerusakan jalan yang memiliki ciri yang dikonfirmasi “Tidak”. Tabel konsultasi selanjutnya menyimpan ciri yang telah dikonfirmasi oleh pengguna.



Gambar 4. Penelusuran Ciri Kerusakan Jalan
Sumber: Hasil Olahan Peneliti

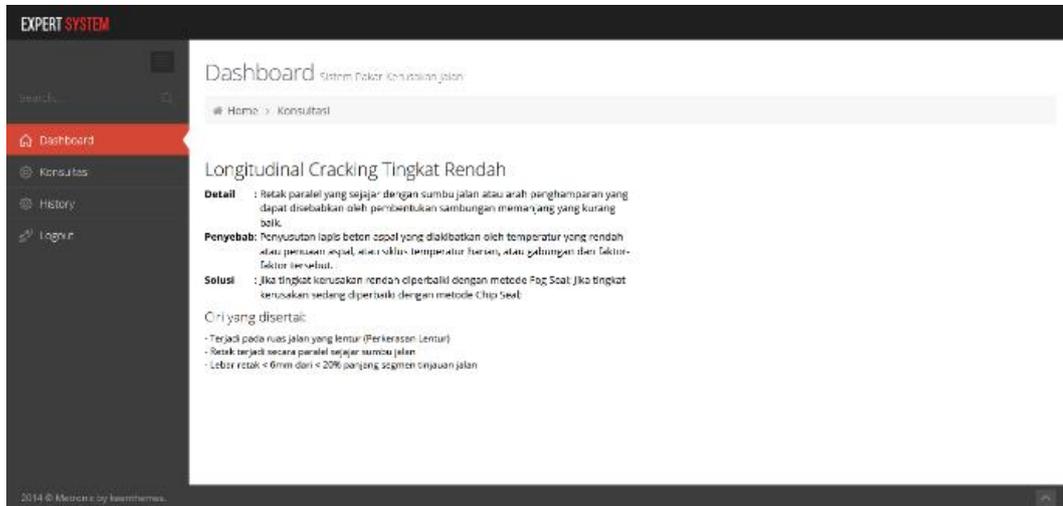
Gambar 4 diatas menunjukkan hasil dari penelusuran ciri yang kemudian digunakan menjadi pertanyaan atau *antecedent* konsultasi yang harus dikonfirmasi oleh pengguna. Respon dari pengguna selanjutnya ditampilkan dalam tabel konsultasi. Dalam waktu yang bersamaan, jika respon pengguna dikonfirmasi dengan jawaban “Ya”, maka tabel diagnosa ditambahkan dengan data jenis kerusakan jalan yang sejalan dengan ciri yang telah dikonfirmasi. Jika respon pengguna adalah “Tidak”, maka pada tabel diagnosa tidak ada penambahan data apapun.

Deteksi awal mengenai jenis kerusakan jalan kemudian diambil dari dua tabel, yaitu tabel konsultasi dan tabel diagnosa berdasarkan respon pengguna yang melakukan konsultasi setelah semua ciri yang ditampilkan dikonfirmasi dan tidak ada pertanyaan ciri lagi yang sesuai. Hasil menjalankan kode program dapat dilihat seperti Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Hasil Penelusuran
Sumber: Hasil Olahan Peneliti

Setelah mengetahui deteksi kerusakan jalan berdasarkan ciri yang telah dikonfirmasi, maka detail dari jenis kerusakan jalan juga dapat ditampilkan pada sistem. Detail kerusakan jalan berisi informasi mengenai jenis kerusakan jalan termasuk penyebab dan solusi teknik perbaikan yang dapat dipilih.



Gambar 6. Detail Penanganan Kerusakan Jalan
Sumber: Hasil Olahan Peneliti

Gambar 6 menunjukkan detail dari jenis kerusakan jalan berdasarkan ciri yang telah dikonfirmasi. Deteksi awal jenis kerusakan jalan yang didapatkan dapat digunakan sebagai pendukung keputusan oleh pengguna untuk mengambil tindakan perbaikan jalan yang tepat. Diagnosa awal yang dihasilkan sistem bukan merupakan keputusan akhir, melainkan akan digunakan sebagai pendukung keputusan untuk melakukan tindakan selanjutnya.

3.3 Ujicoba Sistem

Sistem yang dikembangkan kemudian dilakukan ujicoba sebanyak 10 kali percobaan. Hasil ujicoba ditampung dalam sebuah tabel yang disajikan dibawah ini, kemudian dikonfirmasi oleh ahli perkerasan jalan untuk mendapatkan tingkat akurasi sistem.

Tabel 4. Hasil Ujicoba Sistem dan Konfirmasi Pakar

No	Ciri kerusakan yang dijawab Ya	Diagnosa Sistem	Konfirmasi Pakar
1	A1, A2, A3	C1	Sesuai
2	A1, A2	C1	Sesuai
3	A4, A5	C2, C3	Kurang Sesuai
4	A5, A6	C2, C3	Kurang Sesuai
5	A7, A8	C4, C5	Kurang Sesuai
6	A8, A9	C4, C5	Kurang Sesuai
7	A10, A11, A12, A13	C6	Sesuai
8	A13, A14, A15	C7	Sesuai
9	A10, A11, A12, A13	C6	Sesuai
10	A13, A14, A15	C7	Sesuai
			Sesuai = 6, Kurang sesuai = 4

Berdasarkan Tabel 4 diatas, hasil ujicoba sistem setelah dihitung rata-ratanya tingkat kesesuaiannya adalah sebesar 60% sedangkan ketidak sesuaiannya 40%. Tingkat akurasi diperoleh dari 10 kali melakukan ujicoba, kemudian hasil ujicoba tersebut dikonfirmasi oleh tim ahli perkerasan jalan. Terdapat 6 kali percobaan yang dikonfirmasi sesuai yaitu semua ciri telah

terpenuhi dan hasil diagnosa sesuai dengan ketentuan. Terdapat juga 4 kali percobaan yang dikonfirmasi kurang sesuai karena ada satu ciri yang sama yang dimiliki oleh dua diagnosa. Hal ini akibat dari ciri yang disimpan pada basis data terbatas dan tidak detail.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil riset yang telah dilakukan, sistem pakar yang dikembangkan dapat diimplementasikan secara terbatas dengan memberikan deteksi awal dari jenis kerusakan jalan perkerasan lentur dari ciri yang telah dikonfirmasi oleh pengguna. Penelitian ini juga membuktikan sistem pakar yang dikembangkan dengan teknik *forward chaining* ini dapat diimplementasikan pada berbagai bidang yang khususnya pada riset ini menggunakan studi kasus pada perkerasan jalan lentur.

Rekomendasi dalam pengembangan sistem pakar untuk penelitian selanjutnya dapat menambah data ciri yang lebih detail dan ditambah dengan ciri perkerasan kaku sehingga sistem menjadi lebih lengkap terkait memberikan deteksi awal jenis kerusakan jalan. Akurasi sistem juga agar bisa diberikan persentase sehingga sistem lebih valid. Teknik lain dalam penelusuran ciri selain *forward chaining* juga dapat dikembangkan dan dikombinasikan untuk membentuk sistem yang lebih efektif, efisien dan akurat dengan menerapkan algoritma cerdas seperti *fuzzy, certainty factor* atau algoritma cerdas lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. B. T. J. dan J. D. J. B. M. (21 J. 2020) Subdit Data dan Pengembangan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan, "Kondisi Permukaan Jalan Nasional Tahun 2019."
- [2] T. Chopra, M. Parida, N. Kwatra, and J. Mandhani, "Development of Pavement Maintenance Management System (PMMS) of Urban Road Network Using HDM-4 Model," *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 14–31, Apr. 2017.
- [3] B. Y. Elhabil and S. S. Abu-naser, "An Expert System for Ankle Problems," vol. 5, no. 4, pp. 57–66, 2021.
- [4] L. F. Samhan, A. H. Alfarra, and S. S. Abu-Naser, "An Expert System for Knee Problems Diagnosis," *International Journal of Academic Information Systems Research*, vol. 5, no. 4, pp. 59–66, 2021.
- [5] Y. Yunitasari, A. Voutama, and N. Sulistiyowati, "Perbandingan Teknik Certainty Factor dan Dempster Shafer untuk Sistem Pakar Depresi Pasca Melahirkan," *Techno.Com*, vol. 20, no. 3, pp. 362–371, 2021, doi: 10.33633/tc.v20i3.4905.
- [6] M. Saiful and A. M. Nur, "Application of Expert System with Web-Based Forward Chaining Method in Diagnosing Corn Plant Disease Application of Expert System with Web-Based Forward Chaining Method in Diagnosing Corn Plant Disease," 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1539/1/012019.
- [7] Y. Wiyandra, F. Yenila, and R. A. Mahessya, "Sistem Pakar Kerusakan Sepeda Motor Matic dengan Metoda Hybrid," *Jurnal KomtekInfo*, vol. 8, no. 2, pp. 145–153, 2021, doi: 10.35134/komtekinfo.v8i2.110.
- [8] E. Febriansyah and E. Winarno, "Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Motor Kawasaki K1x150 Memakai Teknik Case-Based Reasoning Dengan Algoritma 3W-Jaccard," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 9, no. 02, pp. 68–74, 2021, doi: 10.33884/jif.v9i02.3747.
- [9] A. Mohammed, A. M. Mosa, D. Syamsunur, A. A. Mohammed, and K. Ambak, "Expert system in engineering transportation: A review Improvement of subgrade properties View project EXPERT SYSTEM IN ENGINEERING TRANSPORTATION: A REVIEW," 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/331546229>

- [10] A. W. O. Gama and D. A. P. A. G. Putri, “Sistem Pakar Memakai Teknik Pembobotan Gejala Penyakit Mata,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 4, no. 3, pp. 601–607, 2020.
- [11] A. D. W. S. M. S. W. Limantara, “Sistem Pakar Pemilihan Model Perbaikan Perkerasan Lentur Berdasarkan Indeks Kondisi Perkerasan (PCI),” *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, vol. TS-003, pp. 1–9, 2017.
- [12] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, “Dirjen Panduan Preventif Jalan-2017”.
- [13] D. M. Midyanti and A. Hamid, “Implementasi Forward Chaining dalam Penentuan Pola Kerusakan Infrastruktur Jalan,” *InfoTekJar : Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, vol. 5, no. 2, pp. 42–46, 2021.
- [14] J. Santos, C. Torres-Machi, S. Morillas, and V. Cerezo, “A fuzzy logic expert system for selecting optimal and sustainable life cycle maintenance and rehabilitation strategies for road pavements,” *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 23, no. 2, pp. 425–437, 2022, doi: 10.1080/10298436.2020.1751161.
- [15] Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, “PROFIL JALAN NASIONAL SEMESTER II 2018 PROVINSI BALI,” 2018.
- [16] A. W. O. Gama, *Sistem Pakar: Studi Kasus Diagnosa Awal Penyakit Mata*. Yogyakarta: Deepublish, 2020.