

PENGEMBANGAN MODEL INTERFACE DECISION SUPPORT SYSTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN JALAN BERBASIS DATA MINING

Andri IRFAN Rifai ¹⁾, Susanty Handayani ²⁾

¹⁾BBPJJN VI Jakarta Direktorat Jenderal Bina Marga

²⁾Badan Pengelola Transportasi Jabodetabek

Abstract

Modern Pavement Management System (PMS) shall be capable of interpretation, prediction, optimization and have a good decision support for stakeholders. This can be achieved if all of the historical data and existing condition have been well integrated. Required the development of the concept of Decision Support System (DSS), which is able to provide an overview of the implementation of integration between the process of interpretation and optimization of road maintenance. The chosen approach is the model development of Geographic Information System (GIS) with open source software. The study was conducted on the entire national road network in Java Island which are paved with the flexible pavement. This concept is modeled as an application interface that is capable of receiving input of numeric and the coordinates then give of output in the form of text, numeric, tabular, and graphical. The method used is to perform integration big data and processing simulation, optimization process, into a simple display. Results of the developed model has been implemented by integrating data mining (DM) and optimization, is able to display the simple application interface and can provide ease of stakeholders to implement a PMS with simple steps.

Keywords: Data Mining, Geographic Information System, Pavement Management System

Abstrak

Sistem Manajemen Perkerasan Jalan modern harus mampu melakukan interpretasi, prediksi, optimasi dan dukungan keputusan yang kuat bagi *stake holder*. Hal tersebut dapat diwujudkan apabila seluruh data historis dan kondisi eksisting dapat dipetakan secara terintegrasi dengan baik. Diperlukan pengembangan konsep *Decision Support System (DSS)* yang mampu memberikan gambaran implementasi integrasi antara proses interpretasi dan optimasi pemeliharaan jalan. Pendekatan yang dipilih adalah pengembangan model *Geographic Information System (GIS)* dengan piranti lunak *open source*. Data yang digunakan adalah sistem pemeliharaan jalan eksisting di Pulau Jawa. Konsep ini berupa model sebagai aplikasi antar muka yang mampu menerima input berupa *numeric* dan koordinat kemudian memberikan output berupa *text*, *numeric*, *tabular*, dan *grafis*. Metode yang digunakan adalah melakukan integrasi dan simulasi rangkaian pengolahan *big data*, proses optimasi, menjadi sebuah tampilan sederhana. Konsep model GIS yang dikembangkan dengan melakukan integrasi *Data mining (DM)* dan optimasi, mampu menampilkan aplikasi *interface* yang sederhana dan dapat memberikan kemudahan para *stake holder* untuk melaksanakan sistem manajemen perkerasan jalan dengan langkah sederhana dan menyeluruh.

Kata kunci: Data Mining, Geographic Information System, Sistem Manajemen Perkerasan Jalan.

1. PENDAHULUAN

Sistem manajemen perkerasan jalan dilakukan secara berkesinambungan, mulai dari perancangan, perencanaan, pembangunan, operasional, pemeliharaan, sampai dengan pengendalian. Seluruh tahapan dalam siklus sistem manajemen perkerasan jalan memiliki peranan yang sama pentingnya. Tahapan sistem manajemen perkerasan jalan memiliki pengaruh yang signifikan dalam menjaga kinerja jalan apabila dilakukan secara berkesinambungan dalam rentang waktu yang panjang (Ding, et al., 2013). Hal tersebut dipengaruhi oleh sifat dan karakter struktur perkerasan jalan yang dapat

dipolakan dengan berbagai pendekatan data dan catatan historis lainnya.

Data utama yang diperlukan dalam sistem manajemen perkerasan adalah data kinerja jalan. Sebagaimana diketahui bawah kinerja jalan dapat berkurang sebanding dengan bertambahnya umur perkerasan serta beban lalu lintas (Yuhong Wang, et al., 2014). Pada umumnya umur perkerasan jalan ditetapkan berdasarkan *cumulative equivalent standard axle (CESA)* yang diperkirakan melintasi perkerasan jalan tersebut, diperhitungkan dari mulai perkerasan jalan tersebut dibangun, dioperasikan sampai dengan perkerasan jalan tersebut dikategorikan rusak (berakhir umur rencana).

Penurunan kinerja jalan secara keseluruhan mengikuti fungsi pertambahan volume dan beban lalu lintas, perubahan kondisi lingkungan, serta kondisi lainnya (Hass, 2003)

Penurunan kinerja jalan tidak berlangsung dalam waktu seketika, namun bertahap mengikuti fungsi waktu dan bersifat time series. Kecepatan dan bentuk perubahan kinerja memiliki pola dan kecenderungan tertentu. Pengumpulan data dalam jumlah besar (big data), mutlak diperlukan untuk dapat menghasilkan pola yang baik dan berkesinambungan (Varela-González, et al., 2014). Pendekatan teknik baru dan pemanfaatan teknologi terkini perlu dilakukan agar sekumpulan data yang telah dikumpulkan dapat dimanfaatkan secara terstruktur dan terukur guna mendukung sistem manajemen perkerasan jalan yang lebih baik melalui interpretasi dan prediksi data yang akurat. Data Mining (DM) merupakan salah satu pendekatan terkini yang mampu melakukan interpretasi yang cukup akurat dalam memprediksi tingkat layan jalan (Rifai, et al., 2015).

Setelah proses interpretasi dalam dan prediksi tingkat layan dilakukan, selanjutnya perlu dilakukan optimasi pemeliharaan jalan sejak awal operasi, sehingga faktor keberhasilan yang mempengaruhinya berupa data teknis dapat dicatat, diarsip, dan dievaluasi. Berkaitan dengan hal tersebut Rifai, et al. (2016) telah menyusun model optimasi pemeliharaan jalan dengan memanfaatkan teknologi informasi yang didukung kombinasi pendekatan matematika dan optimasi Genetic Algorithm.

Terakhir, sistem manajemen perkerasan jalan yang baik adalah sistem yang mampu memberikan sebuah tools kepada para pengguna dan pengambil keputusan, sehingga mampu memahami dan menggunakan sistem dengan sederhana. Coutinho-Rodrigues et al. (2011) menuliskan bahwa semakin mudah sebuah sistem digunakan maka semakin optimal kemampuan sistem tersebut dapat digunakan dalam mendukung kinerja organisasi. Sehubungan dengan hal tersebut diperlukan pengembangan decision support system (DSS) yang sederhana dan mudah dipahami untuk menyempurnakan sistem manajemen perkerasan jalan yang ada.

Berdasarkan uraian beberapa konsep model yang ada, pendekatan geographic information system (GIS) menjadi pilihan utama

untuk untuk menjelaskan bagaimana sesungguhnya optimasi dan penentuan prioritas dilaksanakan sejak awal pemeliharaan dengan pemanfaatan DM. Pengembangan model GIS ini diharapkan menjadi alternatif untuk melengkapi beberapa konsep model dan tools lain yang sudah ada. Hasil pengembangan model GIS ini diharapkan mampu memberikan solusi perbaikan untuk penyempurnaan model optimasi, sekaligus sebagai bahan awal dalam penyusunan konsep DSS pemeliharaan jalan yang lebih komprehensif.

2. TINJAUAN PENELITIAN

GIS merupakan suatu sistem informasi yang berbasis komputer, dirancang untuk bekerja dengan menggunakan data yang memiliki informasi spasial (bereferensi keruangan). Sistem ini meng*capture*, mengecek, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan data yang secara spasial mereferensikan kepada kondisi bumi. Teknologi GIS mengintegrasikan operasi-operasi umum pangkalan data, seperti *query* dan analisa statistik, dengan kemampuan visualisasi dan analisa unik yang dimiliki oleh pemetaan (Tavana et al., 2016). Kemampuan inilah yang membedakan GIS dengan aplikasi sistem Informasi lainnya yang membuatnya menjadi bermanfaat untuk menjelaskan kejadian, merencanakan strategi, dan memprediksi kondisi lapangan yang terjadi.

Selain itu GIS merupakan teknologi yang digunakan untuk mencari kembali, menyimpan, menganalisis dan menampilkan data spasial maupun non-spasial. GIS menyediakan kemampuan mengkombinasikan data tabular dan informasi grafik kedalam peta spasial. Dengan kemampuan ini, pengguna dapat memahami dan menyerap informasi dari peta secara lebih cepat dan efektif dibandingkan dengan membaca list data dalam format tabular.

Pada permulaan tahun 1990-an, dengan berkembangnya teknologi komputer dan GIS, integrasi GIS dalam sistem analisis kebutuhan sistem manajemen perkerasan jalan telah banyak dikembangkan. Sistem manajemen perkerasan jalan dengan tingkatan berjenjang dari segmen, ruas hingga jaringan memerlukan alat untuk dapat melakukan analisa sistem secara terintegrasi. Salah satu alat yang dapat mengintegrasikan tersebut adalah GIS, (Pantha, et al., 2010), (Wang, 2012), (Chen, et al., 2012), (Young & Y. Park, 2014), (Fendi, et al., 2014),

(Wang, et al., 2014). Dalam penelitian terdahulu, GIS utamanya digunakan untuk menampilkan hasil dan membuat laporan. Namun, fungsi GIS yang belum sepenuhnya terintegrasi ke dalam tingkatan-jaringan jalan. Diperlukan analisa lanjutan untuk mendapatkan potensi lebih dari GIS.

Seperti diuraikan sebelumnya bahwa beberapa sistem analisa sistem manajemen perkerasan jalan telah memanfaatkan kemampuan GIS. Namun, fungsi GIS yang diambil tersebut belum terintegrasi dengan menggunakan potensi GIS secara utuh. Sebagai contoh, sistem yang disusun belum memberikan integrasi dinamis antara visualisasi GIS dengan analisis kebutuhan pemodelan sistem pemeliharaan jalan multi-year, termasuk didalamnya prediksi kinerja jalan, penentuan langkah pemeliharaan dan rehabilitasi, serta penentuan prioritas. Dalam implementasinya pendekatan GIS ini sangat tergantung pada perangkat keras yang tepat untuk mendukung instalasi dan perangkat lunak yang dapat dimanfaatkan hingga sampai batas kemampuannya dalam manipulasi data dan analisis. Dengan perkembangan GIS saat ini yang cukup pesat, berbagai macam perangkat lunak komersial telah muncul, meskipun dengan tujuan dan fungsi yang sama.

Ketersediaan perangkat terkadang memiliki hubungan erat dengan metode dan tujuan serta kebutuhan analisis data, keahlian dan keinginan dari pengguna. Meteorologi, hidrologi, epidemiologi adalah beberapa contoh dari bidang ilmiah yang membuat ekstensif menggunakan perangkat lunak GIS. Fungsionalitasnya dapat berkisar antara prosedur yang menjamin kualitas data untuk menggunakan algoritma dalam memecahkan masalah spasial pada jaringan linier atau poligonal, atau sekedar untuk melaksanakan visualisasi trimatra dari daerah menggunakan data kartografi.

3. METODE

Dalam penelitian ini diperlukan sebuah pendekatan untuk mengintegrasikan GIS dengan sistem manajemen perkerasan jalan, sehingga GIS dapat dimanfaatkan menjadi satu bagian dalam penyusunan DSS. Modul GIS juga memberikan informasi grafis di dalam peta yang terintegrasi dengan model analisa kebutuhan (perkiraan kinerja, penentuan penanganan, dan lainnya). Harapan pengembangan ini antara lain

GIS dapat membuat perubahan rencana rehabilitasi pada saat yang diinginkan, pada lokasi yang ditetapkan, dan jenis penanganan yang ingin diterapkan pada peta secara interaktif dan dapat menunjukkan dampaknya terhadap kinerja jalan dan biaya. Hal ini memungkinkan pengguna dapat melakukan analisa secara lebih efektif agar bisa mendukung proses pengambilan keputusan dengan baik.

3.1 Data Entry dan Acquisition

Data merupakan salah satu komponen penting dalam GIS, metode yang tersedia untuk menambah atau memperoleh data adalah hal yang terpenting. Metode untuk mencapai ini adalah:

1. *Import* informasi digital yang tersedia dengan format yang kompatibel;
2. Menggunakan perangkat *global positioning system (GPS)*;
3. Digitalisasi data analog.

Di satu sisi, perkembangan teknologi informasi dengan munculnya informasi digital dan pangkalan data telah membuat akses GIS menjadi lebih mudah, khususnya yang berbasis internet. Di sisi lain, kompatibilitas antara perangkat lunak semakin umum, yang memungkinkan untuk mengkonversi data yang berasal dalam satu perangkat lunak untuk digunakan dalam format lain. Format seperti CAD (misalnya, DWG, DXF), vektorial dan raster, data yang secara luas digunakan GIS komersial (ARC/Info, ARC/View, Intergraph MGE, dan lain lain), dan data citra umum (misalnya, tiff, bmp, dan lain lain) adalah beberapa contoh data yang dapat ditambahkan langsung ke sebagian besar perangkat lunak GIS.

Disamping itu saat ini dikenal secara luas sebuah metode untuk akuisisi data GIS adalah dengan penggunaan GPS. Metode tersebut dilakukan dengan memancarkan sinyal ke beberapa satelit dan menggunakan triangulasi untuk menentukan posisi dan ketinggian dengan margin error yang rendah (misalnya, di bawah satu meter), GPS dapat dihubungkan ke GIS untuk berbagai keperluan, seperti pemetaan, menentukan koordinat penanganan, menentukan panjang penanganan dan sebagainya. Data yang digunakan untuk melakukan simulasi perancangan adalah data manajemen perkerasan jalan di Pulau Jawa, sedangkan untuk simulasi *interface* menggunakan peta wilayah Jawa Barat. Wilayah Jawa Barat dipilih karena

3.2 Implementasi dan Analisa Jaringan

Di antara berbagai kemampuan GIS, analisa jaringan adalah tahapan penting dalam penelitian ini. Analisis terbatas dilakukan pada data yang *vectorial*, karena penggunaannya dapat menggambarkan ketersediaan jaringan jalan, yang didefinisikan sebagai serangkaian fitur yang saling berhubungan, mewakili rute potensial, karakter kendaraan, dan pelaksanaan kegiatan pemeliharaan jalan. Dalam tahapan ini, konektivitas dan karakteristik yang akurat lebih penting daripada tampilan geografis. Kemampuan QGIS versi Lisboa, diharapkan mampu melakukan berbagai fungsi minimal yang diperlukan. Pendekatan spasial dalam sistem manajemen perkerasan jalan mampu menyederhanakan luasan wilayah yang harus dipantau dengan sistem. Pemetaan, penggambaran, dan presentasi cakupan wilayah dengan metoda konvensional dapat menyebabkan kurang akuratnya pengambilan keputusan Aplikasi *open source* ini memiliki kemampuan dan fasilitas dalam berintegrasi dengan berbagai sistem. Hasil yang diharapkan, pengguna DSS tidak memerlukan lagi tambahan aplikasi disaat perlu melakukan perubahan fungsi.

Perangkat lunak aplikasi sistem informasi yang digunakan dalam penelitian ini diimplementasikan pada *platform* dengan konfigurasi Microsoft Windows 10; QGIS Lisboa Version; MapServer; PostgreSQL; PostGIS. Sedangkan perangkat keras penyusunan model di implementasikan pada komputer dengan spesifikasi komputer Core i7 dengan memory SDRAM/DDR 8 GB.

4. HASIL DAN DISKUSI

Konsep pengembangan modul DSS dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran implementasi integrasi antara DM, optimasi, dan GIS. Menggunakan pendekatan GIS dengan piranti lunak *open source* diharapkan pengembangan DSS semakin menarik untuk dikembangkan. Konsep ini berupa model sebagai aplikasi antar muka yang mampu menerima *input* berupa *numeric* dan koordinat kemudian memberikan *output* berupa *text*, *numeric*, tabular, dan grafis.

Modul interpretasi data, modul optimasi, dan modul pemeliharaan perkerasan data tanpa adanya sebuah *bridge* yang dapat menghubungkan secara dinamis, tidak akan menghasilkan alat bantu penentu keputusan yang baik.

4.1 Konsep Pengembangan Modul GIS

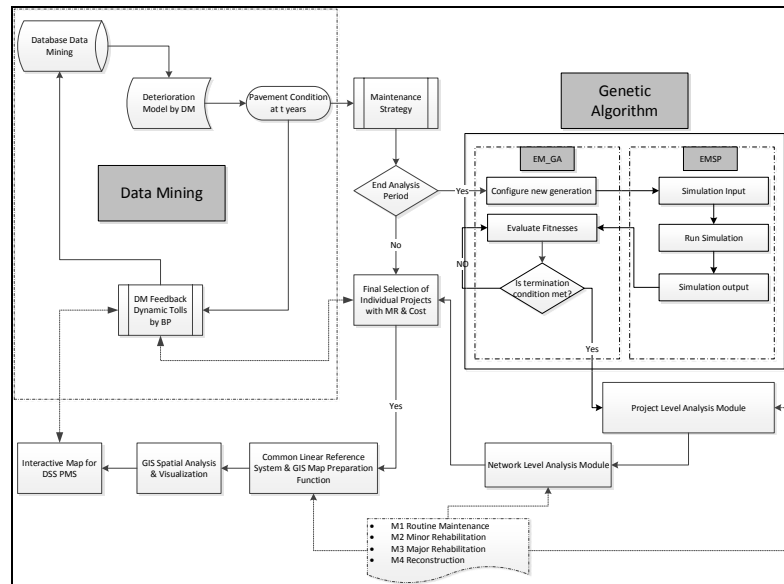
Dalam rangka pengembangan sistem analisis DSS untuk optimisasi pemeliharaan perkerasan jalan diperlukan pengembangan modul berbasis GIS. Beberapa fungsi GIS yang dikembangkan dan ditampilkan dapat diterapkan pada sistem yang sudah terbangun. Modul GIS yang dikembangkan ini telah terintegrasi dengan DM. Pada bagian ini akan ditampilkan beberapa fitur selain fungsi tampilan grafis dan laporan. Fungsi modul GIS yang telah dikembangkan meliputi kemampuan sebagai berikut:

1. Integrasi kebutuhan analisis hasil dan informasi grafis dalam peta dinamik GIS.
2. Memungkinkan *engineer* untuk melakukan analisis optimasi pemeliharaan perkerasan berbasis peta untuk mengeksplorasi berbagai alternatif dan kombinasi yang sulit dihasilkan jika tidak menggunakan peta GIS.
3. Memungkinkan *engineer* untuk melakukan perubahan pada tahun, lokasi dan metode penanganan secara langsung pada peta.
4. Menyajikan pengaruh implementasi pemeliharaan tingkat ruas dan tingkat jaringan dengan peta modifikasi.

Model DSS ini merupakan kelanjutan dari penelitian tentang interpretasi kondisi permukaan jalan berbasis data mining menggunakan data-data primer dan pengembangan *deterioration model* (Rifai et al., 2015), yang dilanjutkan dengan model optimasi dengan genetic algorithm (Rifai et al., 2016).

Model GIS yang disusun dalam penelitian ini memiliki tiga fungsi penting dalam bentuk *layer*. Uraian lengkap mengenai fungsi model dapat dipelajari pada gambar 1. GIS dengan tiap *layer* peta yang terhubung secara dinamik dengan hasil tertentu yang diperoleh dari modul analisis data *Indonesia Integrated Road Management System (IIRMS)*. Tiga fungsi penting tersebut adalah

1. *Linear reference system (LRS)* dan *GIS base map preparation function*;
2. *Spatial analysis* dan *visualization function*;
3. *Analysis interactive map-based multi-year*



Gambar 1. Pengembangan integrasi GIS

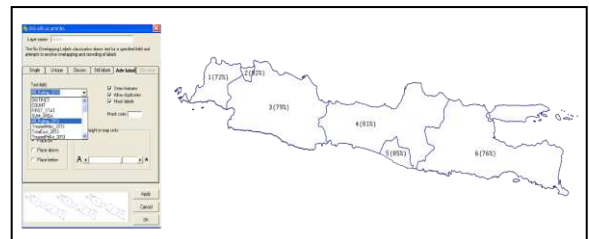
Meskipun aplikasi GIS, seperti QGIS versi lisboa dan ArcInfo menyediakan beberapa fungsi umum, aplikasi tersebut tidak didesain secara khusus untuk sistem manajemen perkerasan jalan. Dalam implementasi nyata tidak mudah untuk menggunakan aplikasi GIS dan pangkalan data tanpa pemahaman yang mendalam tentang keduanya. Salah satu kontribusi pengembangan modul GIS adalah kemampuannya untuk menganalisa berbagai tingkatan dari analisis keperluan dengan menghubungkan perbedaan tingkatan dari analisis secara otomatis dan menghubungkannya secara dinamik dengan layer-layer peta.

4.2 Metode fitur poligon

Fitur poligon disediakan oleh QGIS digunakan untuk menampilkan fitur peta poligon. Metode ini membuat hubungan antara informasi grafik dalam layer peta dan catatan data yang dihasilkan dari analisis kebutuhan hasil. Gambar 2 menampilkan hasil rata-rata (*International Roughness Index*) IRI tahun 2014 dari 6 provinsi. Provinsi dapat diasosiasikan dengan sebuah peta polygon dan ditampilkan menggunakan metode poligon. Operator dapat mencari kembali peringkat kinerja jalan dalam analisis kebutuhan dengan meng-klik pada peta.

Kemudian *GIS base map preparation function* secara otomatis mengekstrak peringkat kinerja pada semua *project pavement* yang terkait dengan masing masing provinsi, menghitung peringkat rata-rata kinerja pada setiap jaringan jalan dan membuat rangking

kondisi jalan untuk tahun tertentu pada tabel yang ditunjukkan sisi kanan gambar 2.



Gambar 2. Hasil metode poligon

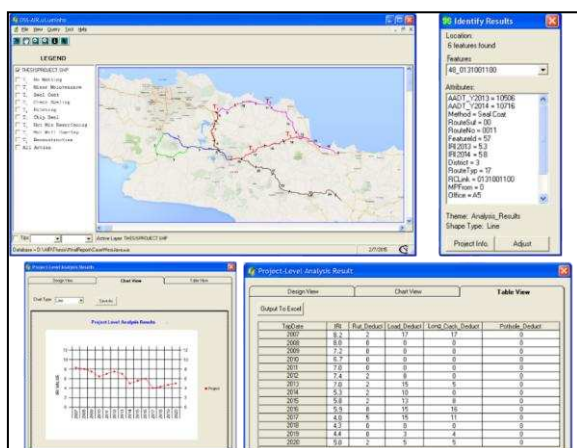
Hal ini juga secara otomatis membuat layer peta setiap batas administrasi yang diinginkan, yang ditunjukkan pada sisi kiri gambar 2 terdapat *field location* pada kedua tabel. *Field* unik ini mengidentifikasi setiap record pada peta dan tabel hasil. Metode polygon menggunakan *field* ini untuk membuat hubungan antara layer peta dan tabel hasil dan membuat pangkalan data baru yang berasal dari tabel hasil analisis.

4.3 Analisis Interaktif Pemeliharaan

Untuk memfasilitasi pendukung keputusan pada analisis kebutuhan pemeliharaan perkerasan, dikembangkan analisis skenario pemeliharaan berintegrasi dengan kemampuan GIS, termasuk visualisasi, identifikasi dan analisis spasial, dengan model analisis keperluan optimasi pemeliharaan termasuk hambatan pada tingkat segmen dan prediksi kinerja jalan, penentuan perbaikan dan prioritas pekerjaan pemeliharaan. Fungsi analisis skenario pemeliharaan perkerasan secara interaktif berdasarkan peta, telah dikembangkan dan

Andri Irfan Rifai & Susanty Handayani/ Pengembangan Model *Interface Decision Support System* Manajemen Pemeliharaan Jalan Berbasis Data *Mining* / Pp 17-23 memberikan kemudahan bagi pengambil keputusan untuk mengembangkan dan mengevaluasi skenario perbaikan yang berbeda secara intuitif dan langsung pada peta berbasis GIS.

Beberapa potensi aplikasi GIS dipresentasikan sebagai berikut untuk menampilkan potensi penggunaan fungsi-fungsi dalam memfasilitasi pembuat keputusan dalam perencanaan aktifitas rehabilitasi pavement. Informasi dari ruas pemeliharaan, tidak hanya kondisi perkerasan jalan sebelumnya, tetapi juga informasi rehabilitasi, adalah hal yang penting dalam membantu *engineer* membuat penilaian yang baik terhadap rencana rehabilitasi pavement. *Engineer* dapat mengambil kembali informasi terdahulu dengan peta GIS secara dinamik, dan bisa dihubungkan secara langsung dengan perangkat GPS untuk import data terbaru. Gambar 3 menampilkan sebuah contoh terkait hal tersebut.



Gambar 3. Visualisasi Modul GIS

Menggunakan modul tersebut di atas pengguna dapat memilih sebuah ruas khusus pada peta berbasis GIS. Dalam gambar 3 terdapat informasi yang cukup lengkap, termasuk AADT, tahun perbaikan, peringkat, metode perbaikan, dan lainnya dari ruas yang dipilih ditampilkan pada tabel tersebut. Dengan meng-klik tombol "project info", berbagai informasi ruas dari ruas yang dipilih, seperti tingkatan ruas, perbedaan nilai ruas, dan AADT, dapat dicari kembali dari pangkalan data, dan kaitannya dengan informasi prediksi kinerja jalan, diturunkan dari hasil model pemeliharaan dan disimpan dalam pangkalan data, dapat juga ditampilkan kedalam format grafik maupun tabel.

Modul ini disusun agar pengguna dapat memahami dengan pengetahuan keteknikan untuk memperbaiki strategi pengelolaan yang dihasilkan oleh program DSS ini. Keputusan yang baik dapat mengurangi biaya mobilisasi ruas dan kemacetan yang disebabkan oleh konstruksi dua ruas dalam tahun yang terpisah, bahkan dapat mereduksi biaya konstruksi total.

Melalui rangkaian simulasi menggunakan data 10 tahun terakhir. Modul tersebut dianggap mampu menjadi *tools* tambahan bagi para *stakeholder* didalam melaksanakan sistem manajemen perkerasan jalan. Sistem ini secara utuh dirancang agar model prediksi kinerja jalan, model optimasi dan proses DSS bisa dengan sederhana dipahami secara terintegrasi.

5. KESIMPULAN

Konsep GIS yang dikembangkan dengan melakukan integrasi DM dan optimasi mampu menampilkan aplikasi *interface* yang sederhana dan mampu memberikan kemudahan kepada para *stake holder* untuk melaksanakan sistem manajemen perkerasan jalan dengan langkah sederhana dan menyeluruh. Pendekatan DM yang telah dikembangkan dan disesuaikan kebutuhan sistem manajemen pemeliharaan jalan yang memiliki cakupan wilayah sangat luas dapat menyederhanakan *constraint*. Konsep *interface* yang dikembangkan dalam bab ini cukup sederhana dan fleksibel, sehingga dapat dikembangkan kembali sesuai dengan kebutuhan lokal.

REFERENSI

- Chen, W., Yuan, J., & Li, M. (2012). *Application of GIS/GPS in Shanghai Airport Pavement Management System*. 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE) (pp. 2322-2326). Procedia Engineering.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. H. (2011). *A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures*. Decision Support Systems, 51(3), 720-726.
- Ding, T., Sun, L., & Chen, J. (2013). *Optimal Strategy of Pavement Preventive Maintenance Considering Life-Cycle Cost Analysis*. Social and Behavioral Sciences 96, 1679 – 1685.

- Andri Irfan Rifai & Susanty Handayani/ Pengembangan Model *Interface Decision Support System* Manajemen Pemeliharaan Jalan Berbasis Data *Mining* / Pp 17-23
- Fendi, K. G., Adam, S. M., Kokkas, N., & Smith, M. (2014). *An Approach to Produce a GIS Database for Road Surface Monitoring*. ICCEN 2013 (pp. 235-240). Stockholm, Sweden : APCBEE Procedia 9 .
- Hass, R. (2003). *Good Technical Foundations Are Essential for Successful Pavement Management*. Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technology Control (pp. 3-28). Guimaraes: Universidade do Minho-Escola de Engenharia.
- Tavana, M., Liu, W., Elmore, P., Petry, F. E., Bourgeois, B. S., (2016), *A practical Taxonomy of methods and literature for managing uncertain spatial data in geographic information systems*, Measurement, Volume 81, March 2016, Pages 123-162
- Pantha, B. R., Yatabe, R., & Bhandary, N. P. (2010). *GIS-based highway maintenance prioritization model: an integrated approach for highway maintenance in Nepal mountains*. Journal of Transport Geography, 426-433.
- Rifai, A., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., & Pereira, P. (2016). *Genetic Algorithm Applied for Optimization of Pavement Maintenance under Overload Traffic: Case Study Indonesia National Highway*. Applied Mechanics and Materials ISSN: 1662-7482, Vol. 845, pp 369-378 Trans Tech Publications, Switzerland
- Rifai, A. I., Hadiwardoyo, S. P., Correia, A. G., Pereira, P., & Cortez, P. (2015). *Data Mining Applied for The Prediction of Highway Roughness under Overloaded Traffic*. International Journal of Technology 5:751-761
- Varela-González, M., Solla, M., Martínez-Sánchez, J., & Arias, P. (2014). *A semi-automatic processing and visualisation tool for ground-penetrating radar pavement thickness data*. Automation in Construction 45, 42-49.
- Wang, X. Z. (2012). *Data mining and knowledge discovery for process monitoring and control*. Springer Science & Business Media.
- Wang, J., Lawson, G., & Shen, Y. (2014). *Automatic high-fidelity 3D road network modeling based on 2D GIS data*. Advances in Engineering Software, 86-98.
- Young, J., & Y. Park, P. (2014). *Hotzone identification with GIS-based post-network screening analysis*. Journal of Transport Geography 34 , 106–120.
- Yuhong Wang, P., Wen, Y., Zhao, K., Chong, D., & Wong, A. S. (2014). *Evolution and locational variation of asphalt binder aging in long-life hot-mix asphalt pavements*. Construction and Building Materials 68 , 172–182