

BAB I PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG PENELITIAN

1. Kondisi Perkerasan Jalan di Indonesia

Salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses pembangunan adalah ketersediaan infrastruktur baik dalam subyek kuantitas maupun kualitasnya. Kondisi infrastruktur yang selalu dalam keadaan baik juga merupakan sarana keberlangsungan proses pembangunan masyarakat secara berkelanjutan. Infrastruktur publik yang selama ini menjadi tumpuan yang vital adalah infrastruktur jaringan jalan yang berkait dengan penyediaan kelancaran transportasi untuk aktivitas pembangunan berkelanjutan.

Pada era lalu, evaluasi dan pemeliharaan kerusakan jalan hanya ditumpukan kepada kegiatan perbaikan pada lokasi-lokasi kerusakan tanpa melalui proses pemeliharaan (*maintenance*) dan pengawasan (*controlling*). Saat ini, ketika ruang infrastruktur sudah semakin luas dan mempertimbangkan faktor ekonomi dan biaya pemeliharaan jalan yang semakin mahal, maka diperlukan suatu sistem manajemen manajemen jalan (*Road Management System, RMS*) yang mampu mengevaluasi konstruksi secara baik dari tahap penilaian hingga rehabilitasi, dengan tujuan supaya jalan memiliki umur layanan yang lebih lama. Permasalahan yang terjadi di Indonesia yang terkait dengan proses manajemen jaringan jalan adalah ketidakseimbangan besaran dana evaluasi dan pemeliharaan yang disediakan oleh pemerintah terhadap jaringan jalan yang ada. Hal tersebut menyebabkan makin panjangnya daftar tunggu (*back-log*) pemeliharaan jalan akibat terbatasnya anggaran yang tersedia. Masalah keterbatasan anggaran memang merupakan masalah klasik yang selalu terjadi berkaitan dengan kegiatan pemeliharaan jalan. Apabila daftar tunggu dan pengurangan anggaran dalam program pemeliharaan akan berpengaruh pada peningkatan biaya operasional kendaraan. Menurut hasil studi Bank Dunia, disebutkan bahwa setiap pengurangan US\$1 terhadap biaya pemeliharaan jalan akan mengakibatkan kenaikan biaya operasional kendaraan sebesar US\$2 sampai US\$3 karena jalan menjadi lebih rusak. Saat ini, berdasarkan catatan yang ada, panjang total jalan di Indonesia yang memiliki status kewenangan sekitar 292.000 km. Jalan

... 2011-2012 (2011-2012) ... 12.801 (12.801 km) jalan kabupaten

73% (213,122 km), dan jalan kota mencakup 5.2% (15,218 km). Sedangkan untuk jalan non-status (jalan desa) meliputi sekitar 240.000 km. Secara keseluruhan 52% (151,840 km) jalan yang ada sesuai dengan status kewenangannya berada dalam kondisi baik dan sedang, sementara sisanya sebanyak 9% (26,280 km) masuk dalam kategori rusak dan 39% (113.880 km) rusak berat. Jalan kabupaten umumnya (63.1%) dalam keadaan rusak atau rusak berat, sedangkan Jalan Nasional, Jalan Propinsi dan Jalan Kota umumnya keadaannya lebih baik. Secara kuantitas, kondisi jalan yang baik jumlahnya turun sekitar 5%, sedangkan jalan rusak meningkat hampir 20% dibandingkan tahun 2000 (Sjahdanulirwan, 2004).

Jika dapat disederhanakan, dengan menggunakan asumsi-asumsi: biaya kegiatan pemeliharaan rutin dan periodik perkilometranya dibutuhkan masing-masing sebesar Rp.14 juta dan Rp.250 juta sesuai dengan kondisi yang ada sekarang (pemeliharaan rutin sepanjang 52% dan pemeliharaan periodik sepanjang 48%), maka secara kasar kebutuhan dana program pemeliharaan yang ideal dari luas jaringan jalan yang ada adalah Rp. 37.17 trilyun tiap tahunnya. Untuk jalan nasional saja kebutuhan tersebut sekitar Rp.3.35 trilyun (9% dari Rp. 37.17 trilyun) dan khususnya untuk jalan kabupaten saja sekitar Rp.27.13 trilyun. Kemampuan pemerintah dalam APBN dari tahun ke tahun sangat terbatas, sehingga alokasi dana program pemeliharaan jalan tidak dapat mencukupi kebutuhan pemeliharaan. Dari jumlah panjang 292.000 km, setiap tahunnya rata-rata harus dilakukan pemeliharaan rutin 52% dan pemeliharaan berkala 48%. Kemampuan pemerintah dalam APBN hanya menyediakan dana keperluan program pemeliharaan jalan sebesar Rp.251,8 milyar (termasuk dari Pinjaman Luar Negeri), sedangkan kebutuhan idealnya untuk keseluruhan jalan adalah sekitar Rp.37.17 trilyun. Kebutuhan riil tersebut jauh lebih besar dari pada kemampuan negara menyediakan dana program pemeliharaan. Dengan adanya gambaran ini, makin jelas bahwa pembiayaan sektor jalan melalui mekanisme anggaran sudah tidak dapat lagi memenuhi kebutuhan riil sektor jalan dan konsekuensi back-log pemeliharaan jalan dari waktu ke waktu semakin membesar dan merupakan permasalahan yang serius dalam melaksanakan kegiatan pemeliharaan jalan yang baik di Indonesia. Aspek-aspek tersebut merupakan kenyataan yang tidak bisa dihindari dan perlu dijadikan pendorong untuk mencari upaya-upaya terobosan teknologi pemeliharaan jalan di Indonesia sehingga pembinaan jalan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

RMS adalah suatu sistem yang mampu mengukur kondisi jalan saat ini dan memprediksi depresiasi kekuatannya di masa yang akan datang.

2. Evaluasi Perkerasan Jalan di Indonesia

2.1 Metode Konvensional

Tujuan evaluasi perkerasan jalan adalah melakukan pengukuran kondisi perkerasan saat ini dan memprediksi depresiasi kekuatannya di masa yang akan datang. Berdasarkan data kekuatan struktur jalan, pihak pembina jalan dan insinyur lapangan mampu menentukan nilai sisa perkerasan jalan secara baik dan akurat. Kondisi bahan penyusun perkerasan jalan dalam konteks parameter kekuatan (modulus elastisitas) juga digunakan sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk pekerjaan-pekerjaan rehabilitasi jalan ataupun perencanaan ulang jalan. Hampir di seluruh Dinas Pekerjaan Umum atau Dinas Permukiman dan Prasarana Wilayah di Indonesia masih bertumpu kepada metode konvensional laboratorium dan lapangan untuk evaluasi perkerasan jalan. Metode konvensional untuk pengukuran nilai struktural jalan yang ada dan dapat digunakan adalah metode Marshall dan modulus resilien (M_R). Penggunaan metode Marshall dalam pengujian jalan telah dipergunakan secara meluas di Indonesia, meskipun demikian, terdapat kelemahan mendasar penggunaan metode ini untuk evaluasi kekuatan bahan jalan. Metode ini bertindak untuk mengukur respon bahan perkerasan (campuran aspal) pada kondisi plastis yang memenuhi kegagalan (failure). Kondisi ini tidak sesuai untuk menggambarkan perilaku pembebanan kendaraan pada perkerasan yang sebenarnya berada pada kondisi visko-elastik. Selanjutnya dikembangkan metode pengujian modulus resilien. Metode ini telah menyempurnakan sistem pembebanan pada metode Marshall dengan penggunaan beban impuls. Metode ini mampu mengukur respon bahan perkerasan dari campuran aspal hingga ke material granular (untuk lapisan fondasi) dan tanah (untuk lapisan tanah dasar). Meskipun demikian, pengujian M_R pada bahan granular masih melibatkan penggunaan tegangan bulk. Konsep ini merupakan faktor kelemahan pengujian MR kerna tegangan bulk tidak bisa membedakan antara tegangan terkekang dan deviator. Sebagai tambahan lagi bahwa kedua metode ini memerlukan sampel lapangan dan hanya dapat diperoleh melalui pekerjaan pengeboran (core drilling). Pekerjaan sampel lapangan dan pengujian konvensional laboratorium ini menjadi tidak

Metode konvensional berbasis lapangan yang ada adalah metode penetrasi kerucut ukur atau *dynamic cone penetrometer* (DCP) dan metode *Benkleman Beam* (BB). Meskipun metode DCP memiliki korelasi empiris langsung dengan CBR lapangan, namun penggunaan metode DCP merupakan metode destruktif sehingga untuk memperoleh daya dukung tanah suatu pekerasan jalan juga diperlukan pengeboran (*core drilling*) yang memerlukan waktu yang lama dan biaya yang relatif tinggi. Dengan demikian, dinilai dari segi efisiensi waktu dan biaya, metode DCP memiliki kelemahan fungsional. Untuk metode *Benkleman Beam*, penilaian evaluasi jalan berdasarkan nilai lendutan balik. Parameter ini tidak dapat secara langsung menggambarkan kondisi struktur perkerasan yang ada terutama kondisi daya dukung lapisan tanah dasar. Metode disain perkerasan ulang menggunakan data *Benkleman Beam* pun hanya diperuntukkan lapisan HRS saja.

2.2 Metode Lapangan Berbasis Defleksi

Salah satu teknologi tanpa merusak untuk evaluasi perkerasan jalan yang dimiliki oleh Indonesia dalam penilaian kekuatan struktur jalan raya adalah alat ujian pengukur defleksi dari beban jatuh atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Alat FWD ini merupakan instrumen lapangan yang memiliki ciri tidak merusak jalan, bekerja dengan cepat dan dapat memberikan output analisis berupa nilai modulus elastisitas setiap lapisan jalan. Secara konsepnya, alat FWD mengukur nilai lendutan atau defleksi merupakan respon balik akibat beban berat yang dijatuhkan di atas perkerasan. Dengan lima hingga tujuh sensor, FWD merekam setiap respon lendutan yang diberikan oleh lapisan perkerasan jalan hingga ke tanah dasar. Suatu metode perhitungan (*backcalculation*) perlu dijalankan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas di setiap lapisan perkerasan. Peralatan ini cukup inovatif karena mampu mereduksi pekerjaan evaluasi jalan di lapangan. Meskipun demikian, peralatan FWD ini sangat mahal harganya dan Departemen Pekerjaan Umum hanya memiliki peralatan FWD sejumlah 3 buah, sehingga sangat tidak dimungkinkan untuk melayani keseluruhan jaringan jalan di Indonesia. Selain itu, model aplikasi untuk analisis data FWD yang digunakan untuk interpretasi hasil akhir masih menunjukkan deviasi yang cukup besar. Ini disebabkan oleh model yang digunakan merupakan pengembangan kondisi lingkungan yang sangat berbeda dengan kondisi tropis di Indonesia dan model defleksi yang dikembangkan masih berlandaskan teori analisis defleksi statik, padahal kondisi yang perlu diperhitungkan adalah respon defleksi dinamik dari pembebanan statik. Melihat dari aspek ini, maka diperlukan

menjadi alternatif dari pengujian FWD dimana lebih akurat, ekonomis dan tidak merusak jaringan jalan yang ada.

3. Pendekatan Teknik Seismik dalam Evaluasi Perkerasan Jalan

Salah satu metode NDT yang telah dikembangkan sejak tahun 1980 di University of Texas at Austin, Amerika Serikat adalah metode analisis spektrum gelombang permukaan atau Spectral Analysis of Surface Wave, SASW. Metode ini merupakan pengembangan teknologi dari metode keadaan mantap, steady state method (Jones, 1958), yang memanfaatkan perambatan gelombang permukaan dari sumber mekanik buatan untuk menilai kecepatan gelombang ricih yang merupakan representasi dari kekakuan (stiffness) suatu struktur. Keunggulan dari metode SASW ini adalah sifat pengujiannya yang tidak memberikan sebarang kerusakan pada struktur, metode ini murah dalam pelaksanaannya dan cepat untuk proses analisis hasilnya. Perkembangan metode SASW meliputi sejumlah pengujian dan riset yang telah dijalankan untuk berbagai jenis infrastruktur dan penggunaan teknik analisis yang diautomasi sepenuhnya. Aplikasinya yang pertama telah dilakukan oleh Nazarian (1984) dan Nazarian & Stokoe (1984) yang menjelaskan penggunaan SASW kepada analisis kekakuan tanah dan struktur timbunan jalan. Dalam studinya, hasil pengukuran SASW telah dibandingkan dengan pengujian lubang silang (cross hole) dan mendapati hasil pengujian SASW memiliki ketepatan yang tinggi. Pengujian yang sama juga telah dilakukan oleh Hiltunen & Woods (1988) yang menghasilkan korelasi yang memuaskan dari kedua metode pengujian. Penggunaan teknik SASW telah didapati berhasil untuk beberapa pengujian lapangan diantaranya studi karakteristik fondasi bangunan (Madshus & Westerdhal 1990; Stokoe et al. 1994), pengukuran lapangan nilai kekakuan tanah (Matthews et al. 1996), penilaian struktur beton (Rix et al. 1990; Cho 2002), pendeteksian lapisan pada struktur motar semen (Cho et al. 2001), penilaian kepadatan suatu struktur tanah timbunan (Kim et al. 2001) dan struktur fondasi (ballast) jalan kereta api (Zagyapan et al. 2002). Haupt (1977), Dravinsky (1983), Curro (1983) dan Gucunski et al. (1996-2000) telah menunjukkan bahwa gelombang permukaan sangat sensitif kepada anomali (contohnya pengaruh keretakan dan lubang dalam struktur yang tidak homogen) yang terletak di permukaan suatu media. Hasil kajian tersebut menunjukkan potensi penggunaan SASW yang cukup luas untuk penilaian pemeliharaan suatu struktur. Pengembangan metode SASW di Indonesia belum pernah dilakukan studi dan aplikasi teknologi sebagai suatu metode

dikembangkan di Indonesia, selain harga peralatannya yang relatif lebih murah, pemodelan untuk interpretasi data dapat menggunakan model dinamis perambatan gelombang sehingga hasil yang diperoleh lebih mendekati kepada kondisi sebenarnya perilaku gelombang pada bahan perkerasan di lapangan. Pada penelitian ini akan dilakukan studi evaluasi daya dukung lapisan tanah dasar perkerasan jalan menggunakan metode SASW untuk struktur jalan di Indonesia. Studi ini belum pernah dilakukan sebelumnya mengingat metode SASW merupakan teknologi jalan yang baru diperkenalkan di Indonesia oleh Rosyidi et al. (2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007). Mengingat aspek ekonomis dan pengadaaan peralatannya yang lebih mudah, metode SASW diharapkan juga dapat menjadi alternatif metode evaluasi perkerasan jalan selain penggunaan FWD.

B. PERUMUSAN PERMASALAHAN DAN SIGNIFIKANSI PENELITIAN

Penelitian yang ini merupakan hasil kajian pengembangan metode *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW) untuk evaluasi jaringan jalan di Indonesia. Teknik seismik yang telah ada saat ini memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi instrumen pengujian jalan. Teknik seismik dikembangkan berbasis model dinamis perambatan gelombang permukaan. Berbasis pada sifat perubahan partikel bahan dan simpangannya, nilai struktural yang diperoleh dari teknik seismik merupakan parameter dinamik bahan yang lebih mendekati kepada kondisi nilai modulus elastisitas sebenarnya (pada tingkat regangan yang relatif kecil). Studi mengenai teknologi SASW untuk pemeliharaan jalan di Indonesia belum pernah dilakukan di Indonesia meskipun metode ini telah terbukti memiliki banyak keunggulan untuk diimplementasikan sebagai instrumen NDT diantaranya pada media padat (*solid media*) dan pendeteksian anomali struktur. Dalam penelitian ini, metode SASW telah dimodifikasi dan diintegrasikan pada proses analisis dan metode analisis gelombang permukaan pada perkerasan jalan. Dalam penelitian tahap pertama ini, suatu model perkerasan jalan digunakan untuk mengvalidasi metode SASW terintegrasi yang dirancang dan diusulkan. Beberapa permasalahan telah dirumuskan dalam tahap penelitian ini sebagai konsentrasi kajian untuk mengembangkan sistem SASW terintegrasi sebagai evaluator jalan diantaranya:

1. Mengembangkan model teoritik perambatan gelombang permukaan yang sesuai

dilakukan dengan melakukan analisis numeris terhadap perambatan gelombang menggunakan model matrik kekakuan bahan dinamik 2 D dan 3 D.

2. Menguji tingkat keberhasilan model teoritik perambatan gelombang Rayleigh dan sistem pengujian SASW yang dibangun melalui model fisik laboratorium untuk beberapa tipe perkerasan yang ada di Indonesia dan berbagai pengujian bahan laboratorium terhadap beberapa parameter model yang terkontrol.
3. Melakukan kajian analitik dan eksperimental terhadap konfigurasi pengukuran lapangan *Integrated-Spectral-Analysis-of-Surface-Wave* (SASW terintegrasi) untuk evaluasi model fisik perkerasan jalan.

Kepentingan dari penelitian ini adalah menghasilkan metode analisis SASW terintegrasi yang diharapkan dapat digunakan dan diterapkan secara langsung untuk proses evaluasi struktur perkerasan jalan di Indonesia khususnya oleh pihak pemerintah dalam hal ini Direktorat Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum dan Pemerintah Pusat serta Daerah yang memiliki otoritas pengembangan dan pemeliharaan jalan nasional, propinsi dan kabupaten. Mengingat kepentingan ekonomi dan peralatannya yang lebih mudah dirancang, metode SASW terintegrasi perlu dapat diusulkan sebagai alternatif metode evaluasi perkerasan jalan untuk memenuhi kekurangan alat evaluator jaringan jalan di Indonesia.

C. ORGANISASI LAPORAN

Laporan penelitian ini disusun dalam beberapa bagian yaitu pendahuluan, metode penelitian aspek teoritik dan simulasi, serta aspek eksperimen. Bab I menjelaskan latar belakang yang menjadi dasar kajian ini mengenai permasalahan teknologi pemeliharaan jalan yang memerlukan inovasi suatu teknologi baru sehingga mampu diusahakan oleh pengelola jalan dengan dana pemeliharaan yang terbatas. Aspek rumusan dan signifikansi permasalahan juga dituliskan untuk menggambarkan kepentingan dari penelitian ini. Bab I merupakan komplementari untuk mempertemukan aspek permasalahan pemeliharaan jalan dengan usulan penggunaan teknologi gelombang permukaan dalam evaluasi nilai struktur jalan.

Laporan penelitian pada Bab II dimulai dengan suatu review mengenai sifat gelombang permukaan yang merambat pada permukaan berlapis. Sifat dispersi gelombang

differensial perambatan gelombang R dari persamaan gerak umum hingga kepada penurunan penyelesaian model 2 D dan 3 D perambatan gelombang R menggunakan metode matrik kekakuan dinamik turut disertakan. Pada akhir bagian ini, persamaan penentu nilai modulus elastisitas bahan dari parameter kecepatan gelombang geser dan beberapa persamaan dinamik seperti koefisien pengurangan dan rasio pelemahan diberikan secara ringkas.

Bab III memuat pernyataan tujuan dan manfaat penelitian dalam penelitian tahun pertama ini. Tujuan utama penelitian ini adalah penyusunan sistem SASW terpadu bagi penilaian modulus elastisitas jalan dengan tiga tujuan khususnya telah ditetapkan yaitu analisis perilaku dispersif perambatan gelombang R dalam perkerasan jalan menggunakan simulasi model matrik kekakuan; analisis sistem SASW terpadu pada model perkerasan jalan dan perbandingan parameter ukur SASW terhadap variabel kekuatan bahan pada model perkerasan.

Bab IV membahas metode penelitian yang digunakan. Terdapat dua tahapan utama metode penelitian, tahapan pertama mengenai metode penyusunan aplikasi numerik model 2 D dan 3 D untuk perkerasan jalan dan penyusunan sistem SASW terpadu dalam konteks analisis dan pengukuran, sedangkan tahapan kedua mengenai metode penyusunan model fisik perkerasan jalan yang menjelaskan disain dan penetapan parameter model, pengujian bahan model fisik dan penentuan parameter ukur SASW untuk model perkerasan.

Bab V mempresentasikan hasil penelitian yang diperoleh meliputi simulasi model 2 D dan 3 D pada profil artifisial dan profil model fisik, hasil pengukuran seismik dan penjelasan data seismik yang diperolehi, pembangunan kurva dispersi gelombang fase dan analisis mode gelombang yang terjadi, hasil perbandingan proses inversi dan perbandingan hasil pengujian SASW dengan pengujian modulus resilien bahan. Pembahasan yang komprehensif disertakan pada setiap hasil kajian yang ditampilkan.

Bab VI menjelaskan beberapa temuan yang diperolehi dalam penelitian ini termasuk didalamnya adalah rekomendasi sistem analisis SASW terpadu. Suatu rekomendasi