

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NDT BERBASIS SEISMIK UNTUK EVALUASI PERKERASAN JALAN DI INDONESIA

Sri Atmaja P. Rosyidi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Barat, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183
Telp.: 0274-387656 (110) / Fax.: 0274-387646, Email: atmaja_sri@umy.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan pasca-konstruksi jaringan jalan yang dihadapi oleh pembina jalan di Indonesia adalah evaluasi struktur perkerasan jalan yang berkelanjutan. Teknologi konvensional evaluasi jalan yang telah ada dinilai kurang efisien dan optimal untuk pelaksanaan evaluasi di lapangan. Hal ini disebabkan oleh luasnya jaringan jalan yang ada. Dalam konteks tersebut, teknik konvensional evaluasi jalan (misalnya pengujian Marshall dan modulus resilien laboratorium) yang memerlukan waktu lama dan biaya yang mahal menjadi tidak efisien lagi. Dengan demikian diperlukan terobosan teknologi yang mampu meminimalisasi permasalahan di atas. Salah satu teknologi baru yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai teknik evaluasi jalan adalah teknologi gelombang seismik permukaan. Tujuan dari makalah ini adalah memberikan deskripsi tentang potensi pengembangan teknik NDT berbasis analisis gelombang permukaan untuk evaluasi nilai struktur perkerasan jalan di Indonesia. Teknologi analisis spektrum gelombang permukaan ini merupakan teknologi seismik dengan memanfaatkan sifat perambatan gelombang Rayleigh. Dalam perambatannya, kecepatan fase gelombang Rayleigh memiliki sifat natural dispersif terhadap nilai respon frekuensinya apabila merambat pada media dengan nilai kekakuan lapisan yang berbeda. Melalui variasi respon frekuensi dan hasil perhitungan spektrum beda fase gelombang dapat ditentukan profil kekakuan dinamik bahan (nilai modulus elastisitas) pada setiap bahan jalan. Dalam studi ini, aplikasi pengukuran metode analisis gelombang seismik permukaan dilakukan pada beberapa ruas jalan di Prambanan – Pakem, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa teknik seismik gelombang permukaan mampu mendeteksi nilai kekakuan struktur bahan jalan pada setiap lapisan dan kedalaman profil jalan. Aplikasi ini menunjukkan adanya potensi yang dapat dikembangkan sebagai teknik evaluasi jalan pasca-konstruksi di Indonesia.

Kata Kunci : teknologi analisis gelombang seismik permukaan, modulus elastisitas, profil perkerasan jalan.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan transportasi secara cepat berdampak kepada pertumbuhan pembangunan infrastruktur berupa jalan dan jembatan. Kebijakan pasca-konstruksi menjadi lebih signifikan disebabkan bermulanya berbagai kesulitan yang ditimbulkan dalam kegiatan-kegiatan perawatan, rehabilitasi dan manajemen jaringan jalan yang sudah ada agar tetap dapat digunakan secara baik. Saat ini, ketika jaringan jalan sudah semakin luas dan mempertimbangkan faktor ekonomi serta 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 manajemen jaringan jalan yang terjadi di Indonesia 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 (Sjahdanulirwan, 2004). 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.

Kemampuan pemerintah dalam APBN dari tahun ke tahun sangat terbatas, sehingga alokasi dana program pemeliharaan jalan tidak dapat mencukupi kebutuhan pemeliharaan. APBN 2016 menunjukkan penurunan anggaran tahun sebelumnya, dari 118,5 Trilyun (tahun 2015) menjadi 104,1 Trilyun untuk Kementerian PU&PR untuk menopang pembangunan jalan dan jembatan baru sepanjang 768,7 km dan 8.051,7 m; pemeliharaan jalan dan jembatan sepanjang 44.570,2 Km dan 378.310 m; pembangunan 28,95 km ruas jalan tool termasuk pembangunan perumahan rusun dan fasilitas lainnya. 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 masih relatif lebih kecil dibandingkan kebutuhan idealnya untuk keseluruhan jalan. 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.

1.2 Signifikansi Teknologi Pengujian Tanpa Merusak (NDT) untuk RMS

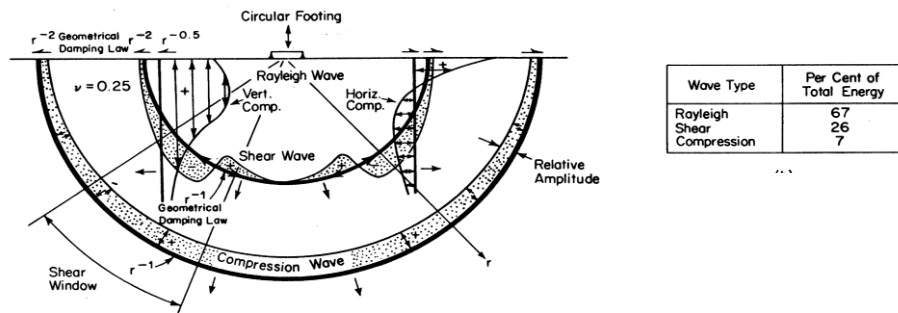
Tahapan yang paling penting dalam RMS adalah membentuk suatu sistem yang mampu mengukur kondisi jalan saat ini dan memprediksi depresiasi kekuatannya di masa yang akan datang. Proses dalam tahapan tersebut yang dilakukan bertujuan untuk pengawasan dan penjaminan kualitas struktur yang lebih ekonomis. Untuk mengetahui kapasitas kekuatan struktur suatu perkerasan jalan memerlukan pengukuran nilai modulus elastisitas dan ketebalan setiap lapisannya secara akurat. Parameter tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas beban yang dapat dilayani dan juga untuk pemilihan serta perancangan sistem rehabilitasi yang tepat. Beberapa metode telah dikembangkan untuk menilai kondisi struktur perkerasan yang sesuai jenis pengujiannya dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu pengujian merusak (*destructive testing*, DT) dan pengujian tanpa merusak (*non-destructive testing*, NDT). Keunggulan penggunaan NDT dalam sistem manajemen perkerasan adalah suatu pengujian yang tidak memberikan kerusakan terhadap struktur jalan, cepat, ekonomis dan tidak mengganggu pergerakan lalu lintas. Salah satu NDT yang berdasarkan pada pemanfaatan gelombang permukaan Rayleigh yang dikenal sebagai metode *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW). Metode

pengujian gelombang permukaan ini merupakan salah satu jenis pengujian yang berpotensi untuk menentukan parameter kekakuan dinamik jalan berupa modulus elastisitas bahan perkerasan pada setiap kedalaman lapisan perkerasan. Dalam makalah ini disampaikan diskripsi tentang potensi pengembangan teknologi NDT analisis gelombang seismik permukaan sebagai metode evaluasi jalan pasca konstruksi di Indonesia.

2. KAJIAN TEORITIK

2.1 Karakteristik Gelombang Permukaan

Dalam aplikasi bidang geofisik, pemanfaatan gelombang seismik telah memberikan kontribusi yang besar untuk keperluan investigasi permukaan bumi. Penggunaan gelombang seismik yang merambat secara mekanis dalam media dibedakan menjadi dua macam yaitu gelombang badan (gelombang Primer dan gelombang Sekunder) dan gelombang permukaan (gelombang Rayleigh dan gelombang Love). Apabila suatu energi mekanik diberikan di atas permukaan suatu media, kedua jenis gelombang akan menyebar dengan besaran energi, bentuk perpindahan partikel gelombang dan arah perambatan yang berbeda (Gambar 1).

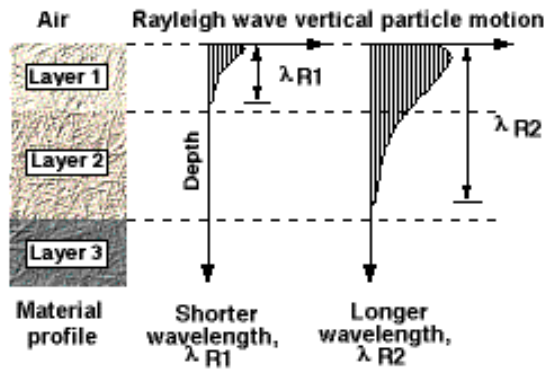


Gambar 1. Penyebaran gelombang seismik (Richart *et al.*, 1970)

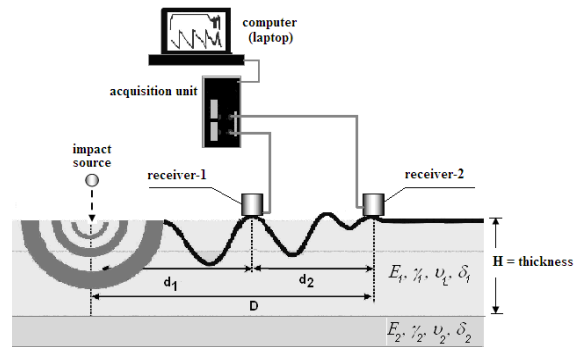
Gelombang permukaan Rayleigh dengan 67 % persentase energi mekanik selanjutnya bergerak sepanjang permukaan dan amplitudonya akan berkurang secara cepat sesuai kedalaman perambatan. Pergerakan gelombang Rayleigh berlaku secara menyebar (*dispersion*) yang merupakan suatu fenomena natural dari fungsi kecepatan terhadap panjang gelombang dan frekuensinya. Sifat penetrasi gelombangnya pada suatu media juga dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi. Gambar 2 menjelaskan bahwa panjang gelombang pendek dengan frekuensi tinggi hanya merambat pada permukaan yang dangkal, sedangkan gelombang yang lebih panjang dengan frekuensi rendah dapat merambat lebih dalam.

Perilaku ini dipelajari pertama kalinya oleh Lord Rayleigh pada 1885, selanjutnya secara lebih terperinci oleh Lamb pada tahun 1904 yang menurunkan persamaan matematik gelombang dari suatu titik sumber gelombang dalam media yang homogen dan elastis. Penggunaan gelombang permukaan pertama kali untuk pengukuran sifat-sifat tanah dilakukan oleh *Germany Society of Soil Mechanics* sebelum perang dunia II berlangsung. Penelitian berkaitan dengan pengamatan reaksi struktur fondasi terhadap getaran dalam keadaan yang stabil. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat sifat non-linier dalam tanah terhadap getaran yang dibangkitkan. Selanjutnya perkembangannya dalam bidang geoteknik dimulai oleh Terzaghi (1943) dan Hvorslev (1949) dengan menyatakan prinsip-prinsip kerja gelombang permukaan. Melalui konsep tersebut, Jones (1958) memulai aplikasi

metode gelombang permukaan Rayleigh dengan menggunakan vibrator harmoni yang stabil pada struktur tanah dan jalan raya. Hasil penelitian belum mendapatkan kesimpulan yang cukup meyakinkan disebabkan oleh keterbatasan peralatan untuk mendeteksi dan menganalisis gelombang. Sejalan perkembangan teknologi informasi, pengujian konvensional gelombang permukaan di atas telah dikembangkan menjadi metode SASW. William (1981) dan Heisey (1982) mengembangkan metode *steady state* dengan menggunakan palu mekanik sebagai sumber pembangkit gelombang.



Gambar 2. Sifat penetrasi partikel gelombang Rayleigh (Rosyidi *et al.*, 2002)



Gambar 3. Konfigurasi pengukuran SASW menggunakan 2 sensor (Rosyidi *et al.*, 2004)

Nazarian dan Stokoe (1984) melengkapi proses analisis hasil SASW secara lebih efisien dan komprehensif untuk diaplikasikan dalam penentuan modulus elastisitas dan ketebalan profil tanah dan jalan raya. Penggunaan metode SASW secara berkelanjutan telah diaplikasikan sebagai pengujian evaluasi pada infrastruktur diantaranya identifikasi konstruksi fondasi bangunan (Madshus & Westerdhal, 1990, Stokoe *et al.*, 1994), pendeteksian profil tanah (Matthews *et al.*, 1996), penilaian struktur beton (Rix *et al.*, 1990 dan Cho, 2002), pendeteksian lapisan pada struktur mortar semen (Cho *et al.*, 2001), kontrol kepadatan konstruksi tanah timbunan (Kim *et al.*, 2001) dan struktur balas kereta api (Zagyapan & Fairfield, 2002). Selain itu, Gucunski (2000) secara numerik dan melalui beberapa riset yang dilakukan menunjukkan bahwa gelombang permukaan sangat sensitif untuk mendeteksi adanya anomali yang terletak di permukaan suatu media. Penggunaan metode SASW untuk evaluasi jalan pasca konstruksi dengan mengamati perolehan nilai kekakuan bahan jalan di Malaysia dan Indonesia telah dimulai secara berkelanjutan oleh Rosyidi *et al.*, 2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005; dan Rosyidi, 2004. Hasil penelitian mereka menunjukkan pemakaian SASW dapat dikembangkan sebagai suatu metode pendeteksi kerusakan dini dalam sistem manajemen infrastruktur pasca-konstruksi.

3. METODE ANALISIS SPEKTRUM GELOMBANG PERMUKAAN

Metode analisis spektrum gelombang permukaan atau metode SASW merupakan evolusi teknologi dari teknik gelombang permukaan dalam keadaan tetap (*steady state surface wave technique*) yang tidak memerlukan pengeboran jalan (*boreholes*) dan juga merupakan metode pengujian lapangan (*in-situ method*) untuk mengukur secara detil profil kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity profile*) yang bekerja

pada permukaan lapisan. Metode ini melibatkan tiga tahapan utama analisis (Nazarian & Stokoe, 1984), yaitu

- a. Proses pengambilan data di lapangan, menggunakan penganalisis spektrum (*spectrum analyzer*),
- b. Pembuatan kurva dispersi eksperimen kecepatan gelombang Rayleigh melawan frekuensi atau panjang gelombang,
- c. Proses inversi kurva dispersi eksperimen untuk mendapatkan profil akhir.

3.1 Proses Pengambilan Data Seismik di Lapangan

Dalam proses pengambilan data lapangan, metode ini melibatkan serangkaian sumber gelombang mekanik yang digunakan untuk membangkitkan gelombang sementara (*transient*) dengan berbagai wilayah nilai frekuensi yang berbeda. Sumber gelombang berfrekuensi tinggi digunakan untuk mendapatkan data perambatan gelombang pada lapisan media yang keras (misalkan : lapisan beton, aspal, fondasi batu keras dan padat, dll.) sedangkan sumber gelombang berfrekuensi rendah dipakai untuk memperoleh sampel data gelombang pada lapisan media yang lebih lunak (misalkan : lapisan tanah dasar dipadatkan dan tanah asli dengan berbagai jenis klasifikasi tanah). Gelombang seismik berfrekuensi tinggi dapat diperoleh dari *solenoid-operated impactor*, palu ringan, hentaman mekanik bola baja (*steel ball bearing*) dan *V-meters* sedangkan pemberat yang dijatuhkan bebas (*large drop weights*), palu berat dan *bulldozers* digunakan untuk membangkitkan gelombang berfrekuensi rendah. Untuk merekam perambatan gelombang yang dihasilkan, digunakan dua (*two-channel SASW*) atau lebih (*multi-channel SASW*) penerima gelombang (*receivers*) atau sensor yang diletakkan sejajar dalam suatu garis imajiner lurus di atas permukaan media. Jarak antara sensor ditentukan berdasarkan proses sampling penetrasi gelombang yang direncanakan (Gazetas, 1991; Stokoe *et al.*, 1994). Beberapa set pengujian dengan jarak antara sensor yang berbeda disyaratkan untuk mendeteksi kedalaman pencapaian gelombang dalam media. Jarak sensor pendek dengan sumber frekuensi tinggi digunakan untuk mendeteksi lapisan yang dangkal sedangkan jarak sensor yang panjang dan sumber gelombang berfrekuensi rendah digunakan untuk mendapatkan lapisan yang lebih dalam. Gambar 3 menunjukkan skematik pengukuran lapangan metode analisis spektrum gelombang permukaan dengan dua sensor. Data analog gelombang dari kedua sensor disalurkan melalui unit akuisisi data dalam digital kepada komputer untuk dilakukan proses analisis spektrum. Analisis spektrum dilakukan dalam domain frekuensi dengan terlebih dahulu melakukan proses analisis *fast fourier transform* (FFT) terhadap data gelombang yang selanjutnya ditampilkan dalam beberapa bentuk spektrum diantaranya spektrum tenaga auto (*auto-power*), fungsi perpindahan (*transfer function*) dan koheren (*coherence*). Spektrum tenaga auto, $G_{xx}(f)$, didefinisikan sebagai hasil perkalian spektrum linear, $S_x(f)$ dan bilangan kompleksnya, $S_x^*(f)$, yaitu:

$$G_{xx}(f) = S_x(f) \cdot S_x^*(f) \quad (1)$$

disini $S_x(f)$ adalah spektrum linier yang merupakan bentuk sederhana dari transformasi Fourier dari sinyal $x(t)$ dalam domain waktu. Spektrum ini merupakan fungsi kompleks yang dapat diwakili oleh bagian nyata dan imajiner atau dengan nilai magnitudo dan fase. Fungsi perpindahan, $H(f)$, merupakan perbandingan nilai output terhadap input spektrum linier gelombang, yang dinyatakan dalam bentuk:

$$H(f) = \frac{S_y(f)}{S_x(f)} \quad (2)$$

Fungsi perpindahan juga dikenali sebagai fungsi respon frekuensi. Jika kedua-dua spektrum linier output dan input melibatkan bilangan kompleks, maka persamaan di atas merupakan fungsi dari spektrum tenaga silang (G_{yx}) dan tenaga autonya (G_{xx}), yang dapat ditulis sebagai :

$$H(f) = \frac{G_{yx}(f)}{G_{xx}(f)} = \frac{A_2}{A_1} \{ \cos(\phi_2 - \phi_1) + i \sin(\phi_2 - \phi_1) \} \quad (3)$$

disini ($\phi_2 - \phi_1$) adalah perbezaan nilai fase di antara dua komponen gelombang yang ditentukan oleh sudut fase yang diperolehi dari kedua sensor gelombang. Selanjutnya data ini dapat digunakan untuk menghitung kecepatan fase dalam pembuatan kurva penyebaran lapangan dari pengukuran SASW (Joh 1996) dan sifat pelemahan suatu sistem linear (Gucunski 1991). Fungsi koheren didefinisikan sebagai perbandingan tenaga output yang disebabkan oleh input terhadap seluruh output yang diukur. Fungsi ini dinyatakan sebagai:

$$\gamma^2(f) = \frac{[G_{yx}(f) \cdot G_{yx}^*(f)]}{[G_{xx}(f) \cdot G_{yy}(f)]} \quad (4)$$

disini $\gamma^2(f)$ adalah nilai koheren yang digunakan untuk mengenal pasti korelasi terbaik diantara sinyal input dan output. Nilai koheren ditetapkan sebagai nomor nyata diantara 0 – 1. Stokoe *et al.* (1994) menjelaskan bahwa nilai koheren 1 didefinisikan sebagai nilai perbandingan tertinggi penggabungan diantara sinyal sedangkan nilai yang lebih rendah daripada 1 menunjukkan penurunan kualitas sinyal. Al Hunaidi (1992) juga menyatakan bahwa nilai koheren yang boleh digunakan sebagai parameter pengukuran bagi sinyal yang baik bernilai lebih dari 0.98. Bagaimanapun juga, nilai koheren yang rendah tidak hanya sepenuhnya disebabkan oleh kualitas korelasi yang rendah diantara sinyal. Terdapat beberapa faktor lainnya seperti resolusi lebar jalur frekuensi yang rendah dan sinyal masukan yang berganda (Nazarian, 1984) yang menyebabkan nilai koheren yang rendah.

3.2 Pembangunan Kurva Dispersi Eksperimen Kecepatan Gelombang Rayleigh

Kurva dispersi kecepatan gelombang Rayleigh diperoleh dari data fase gelombang dan frekuensi dari spektrum gelombang perpindahan. Untuk menghitung kecepatan fase gelombang ini diterapkan algoritma sederhana dari metode perbezaan fase (*phase different method*) yang berdasarkan konsep waktu pergerakan gelombang. Waktu pergerakan gelombang (t) boleh dihitung daripada nilai beda fase (ϕ) dari kedua sensor menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\phi = 2\pi f_0 t \quad (5)$$

$$t = \frac{\phi}{2\pi f_0} \quad (6)$$

Selanjutnya jika jarak antara dua sensor (d) ditetapkan maka kecepatan gelombang Rayleigh (V_R) dan panjang gelombang (λ) boleh ditentukan daripada :

$$V_R = \frac{d}{t_1} = f_0 \cdot \lambda \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{d}{\phi/2\pi} \quad (8)$$

Keseluruhan data dalam spektrum perpindahan dianalisis untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang Rayleigh dan panjang gelombang yang selanjutnya membentuk kurva dispersi eksperimen individu untuk setiap spektrum jarak sensor tertentu. Kurva dispersi eksperimen gabungan kecepatan gelombang Rayleigh dibangun dengan menggabungkan kurva dispersi individu sehingga diperoleh sampel gelombang pada setiap lapisan perkerasan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.

3.3 Pembangunan Kurva Dispersi Eksperimen Kecepatan Gelombang Rayleigh

Langkah terakhir adalah inversi kurva dispersi eksperimen gabungan kecepatan gelombang Rayleigh diperoleh dari tahap sebelumnya. Proses inversi terbagi dalam dua metode yaitu inversi sederhana (*simple-inversion*) dan inversi canggih (*refined-inversion*). Inversi sederhana lebih sesuai untuk observasi profil tanah dengan perbedaan kekakuan antar lapisan yang tidak ekstrim sedangkan untuk profil perkerasan lebih sesuai menggunakan inversi canggih. Konsep inversi canggih adalah membangun perhitungan ulang (*backcalculation*) dengan membuat suatu profil mula yang mengasumsikan terlebih dahulu parameter-parameter kecepatan gelombang geser, berat volume bahan, angka Poisson dan angka peredaman (*damping*) setiap lapisan perkerasan yang ditinjau. Selanjutnya melalui algoritma 2 D atau 3 D matrik kekakuan bahan (*stiffness matrix*) dan memasukkan dalam hubungan integrasi Fourier serta perhitungan fase diperoleh kurva dispersi teoritik. Untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman struktur perkerasan jalan yang sebenarnya dilakukan proses optimisasi dengan memadukan (*matching*) antara kurva dispersi teori terhadap eksperimen. Kontrol perpaduan ini dilakukan dengan nilai *root-mean square* (RMS), semakin kecil nilai RMS akan diperoleh bentuk profil analisis SASW yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

3.4 Analisis Modulus Elastisitas Dinamik Bahan

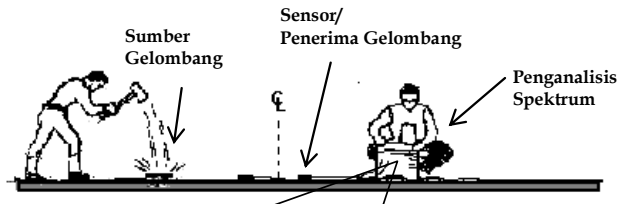
Berasaskan teori teknik perambatan gelombang, modulus geser maksimum bahan pada regangan di bawah 0.0003 % dapat ditentukan dari kecepatan perambatan gelombang geser sebagai (Kramer, 1996):

$$G = \rho V_s^2 \quad (9)$$

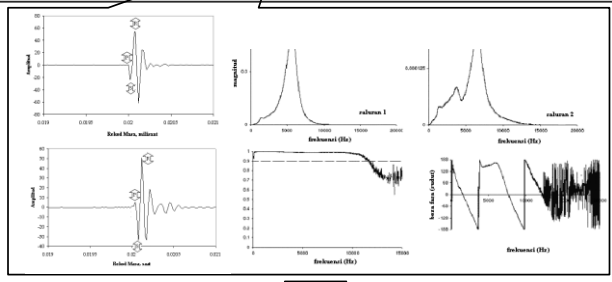
disini, ρ adalah berat jenis, diperoleh dari $\frac{\gamma_t}{g}$, dimana γ_t adalah berat unit bahan

dan g merupakan nilai gravitasi. Modulus elastik bahan pula dapat dihitung menggunakan nilai kecepatan gelombang apabila nisbah Poisson (ν) bahan diketahui. Berasaskan teori elastik (Yoder & Witczak, 1975), modulus elastik (E) dapat ditentukan sebagai :

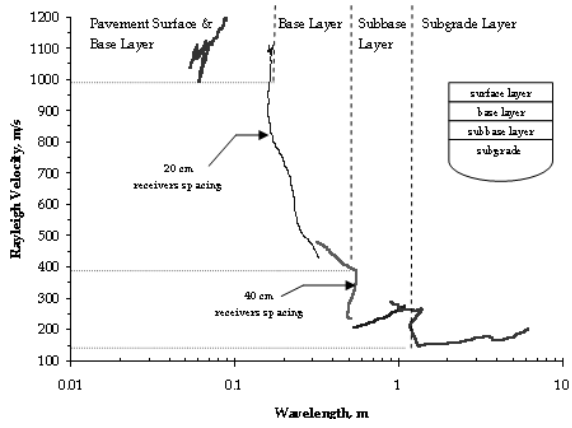
$$E = 2 G (1 + \nu) = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu) \quad (10)$$



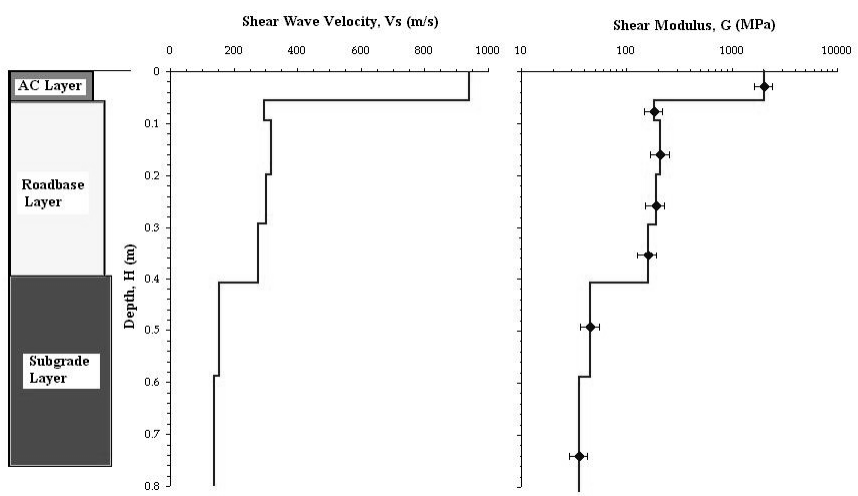
- SPEKTRUM GELOMBANG :**
1. Rekaman Gelombang dalam Domain Waktu.
 2. Spektrum Auto-Power
 3. Spektrum Coherence
 4. Spektrum Transfer Function



PEMBANGUNAN KURVA DISPERSI KECEPATAN GELOMBANG RAYLEIGH vs. PANJANG GELOMBANG :
Tampilan kurva eksperimen untuk Jarak antar Sensor 10 cm, 20 cm, 40 cm, 80 cm dan 160 cm.



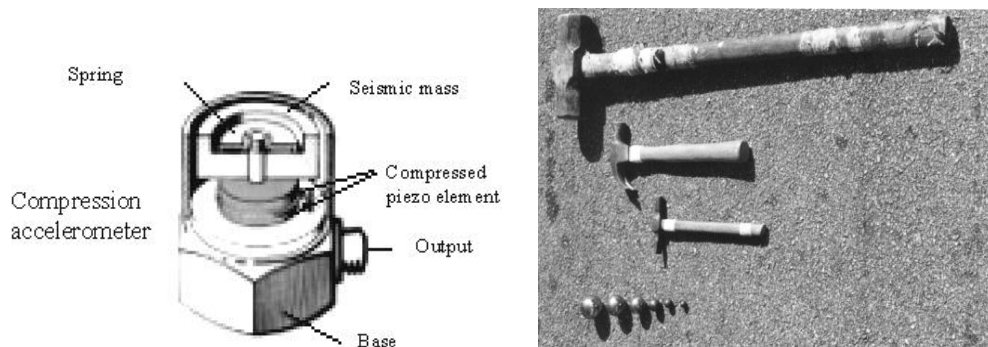
INVERSI KURVA DISPERSI EKSPERIMEN untuk mendapatkan PROFIL PERKERASAN SEBENARNYA dalam Paramater KECEPATAN GELOMBANG GESER vs. KEDALAMAN. Profil kekakuan dinamik bahan perkerasan dalam ditentukan (modulus elastisitas dan modulus geser).



Gambar 4. Proses pengujian analisis spektrum gelombang permukaan

4. STUDI KASUS APLIKASI PENGUJIAN SASW

Studi kasus penerapan metode analisis spektrum gelombang permukaan (SASW) dilakukan pada ruas Jalan Propinsi Prambanan-Pakem, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada pengukuran SASW pada lokasi pengujian tersebut digunakan satu set peralatan penganalisis spektrum yang sama yaitu satu unit akuisisi Harmonie dari 01dB Perancis, satu perangkat komputer untuk analisis data, satu set sumber gelombang yang terdiri dari bola baja ukuran 5 hingga 15 gram dan palu seberat 2 dan 4 kg, serta sepasang sensor gelombang jenis pengukur percepatan (*accelerometer*) berkapasitas 20 kHz (Gambar 5). Jarak antar sensor yang digunakan meliputi 4 dan 8 cm untuk mengesan sampel gelombang pada lapisan permukaan jalan, 16 dan 32 cm untuk lapisan fondasi jalan dan 64 serta 100 cm untuk lapisan tanah dasar.



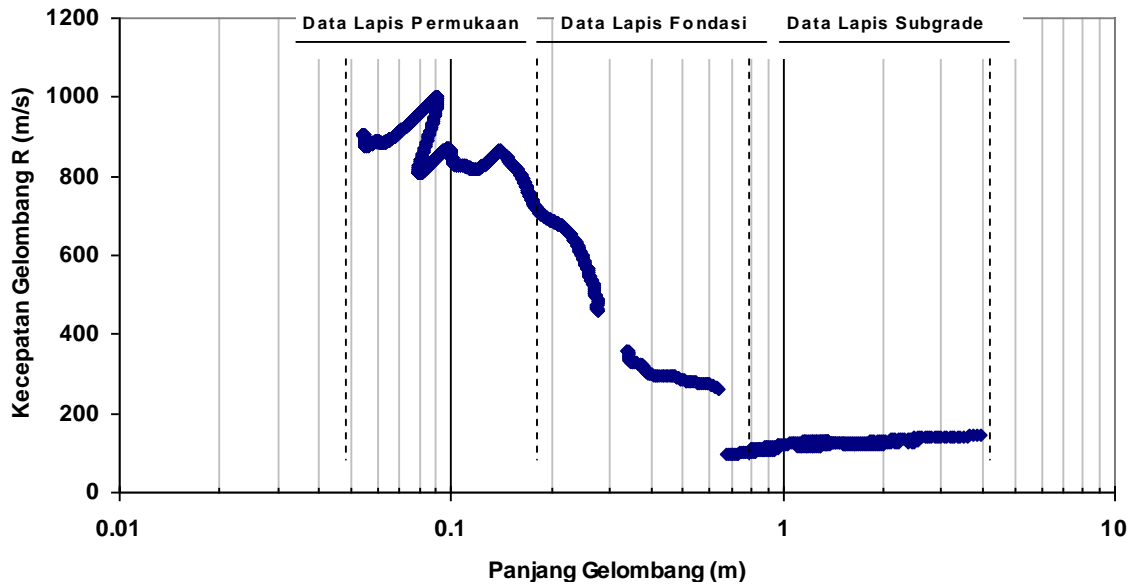
(a). Sensor Pengukur Percepatan (b). Satu set sumber gelombang



(c). Unit akuisisi dan komputer sebagai penganalisis spektrum

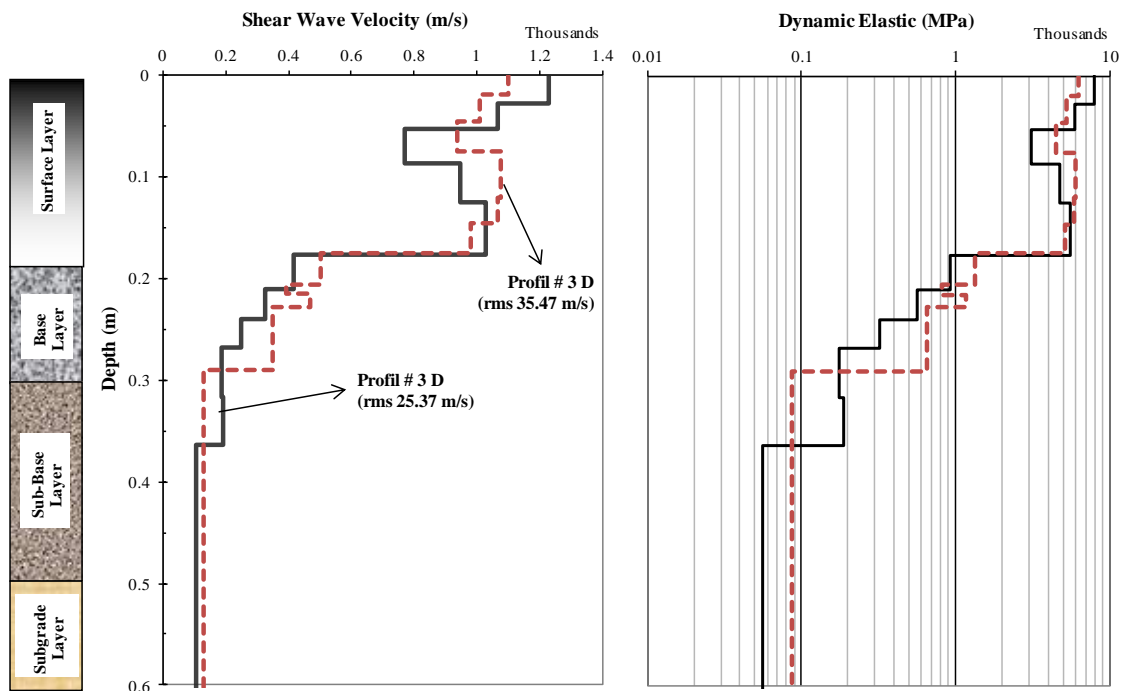
Gambar 5. Peralatan metode analisis spektrum gelombang permukaan

Gambar 6 menunjukkan kurva dispersi eksperimen gabungan yang diperoleh dari satu set pengukuran di Jalan Propinsi Prambanan – Pakem. Dalam gambar ditunjukkan bahwa kecepatan gelombang Rayleigh terlihat menyebar sesuai dengan nilai kekakuan lapisan perkerasan jalan. Untuk lapisan permukaan aspal, kecepatan gelombang Rayleigh ditunjukkan dalam wilayah 780 – 1020 m/s, sedangkan untuk lapisan fondasi jalan (*base* dan *subbase course*) dan lapisan tanah dasar masing-masing ditunjukkan dalam nilai 300 hingga 700 m/s dan 90 hingga 180 m/s.



Gambar 6. Kurva dispersi gabungan eksperimen untuk Jalan Prambanan-Pakem

Dari kurva dispersi eksperimen (Gambar 6), dilakukan inversi canggih dengan model matrik kekakuan 3 D dan metode optimasi kemiripan maksimum (*maximum likelihood*) sebagaimana direkomendasikan oleh Joh (1996) dan Rosyidi (2004) untuk analisis perkerasan jalan. Hasil inversi ditunjukkan dalam Gambar 7.

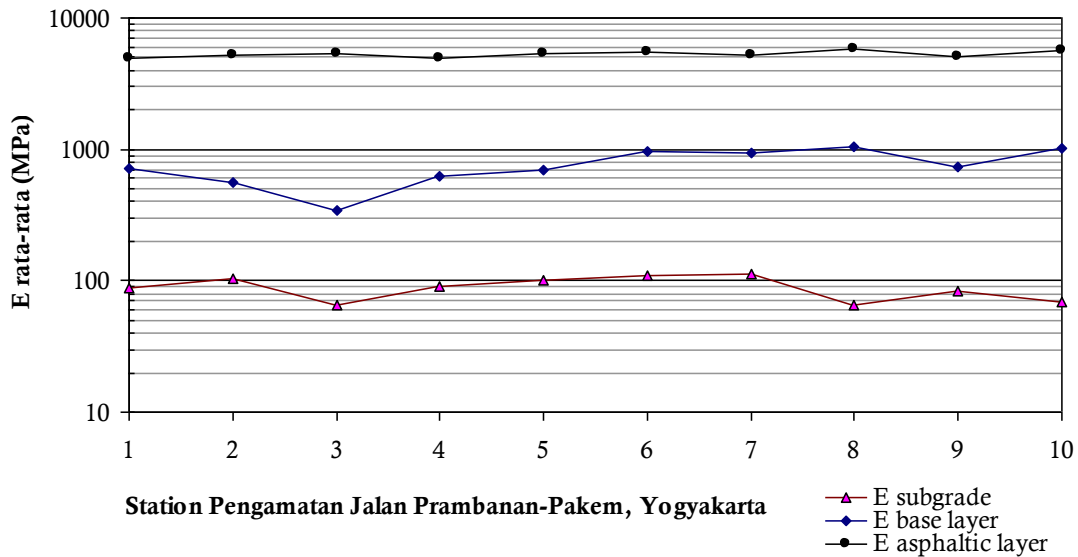


Gambar 7. Profil akhir kecepatan gelombang geser dan modulus elastisitas dinamik dari hasil inversi analisis SASW

Dari profil kecepatan gelombang geser dapat diperoleh nilai modulus elastisitas dinamik bahan dengan analisis sederhana menggunakan Persamaan (9) dan (10). Hasil studi menunjukkan bahwa lapisan permukaan aspal pada perkerasan jalan studi terdiri dari 3 lapisan susun dengan nilai kekakuan yang berbeda yang masing-

masing nilai modulus elastisitas dinamik bernilai 3195 MPa, 4282 MPa dan 5720 MPa. Untuk lapisan fondasi, baik fondasi atas maupun bawah diperoleh pada wilayah 248 hingga 937 MPa, sedangkan nilai modulus elastisitas lapisan tanah dasar diperoleh sebesar 61 hingga 94 MPa yang dideteksi hingga kedalaman 2,4 meter.

Untuk pengukuran SASW pada beberapa station pengamatan di Jalan Prambanan-Pakem, Yogyakarta, dapat digambarkan profil 2 dimensi struktur perkerasan jalan yang menunjukkan properti struktur (modulus elastisitas dinamik rata-rata) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

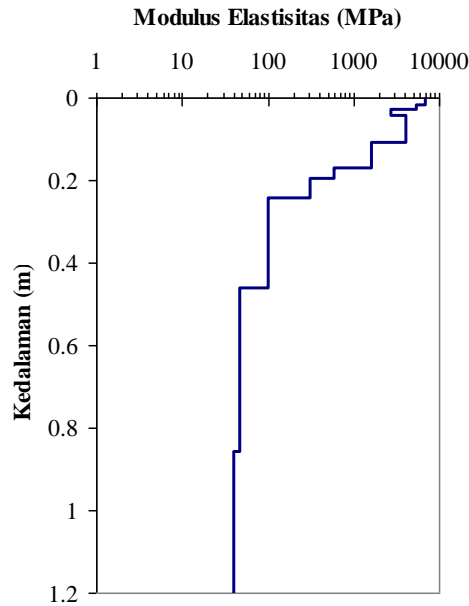


Gambar 8. Profil 2 dimensi modulus elastisitas dinamik rata-rata setiap lapisan penyusun perkerasan jalan di Jalan Prambanan-Pakem, Yogyakarta

5. PENGEMBANGAN SASW

Bermula dari teknik *spectral-analysis-of-surface-wave* (SASW) yang telah diperkenalkan oleh Nazarian dan Stokoe (1984), teknologi pengukuran SASW untuk evaluasi perkerasan jalan di Indonesia telah dikembangkan secara berkelanjutan di Indonesia oleh Rosyidi et al. (2006; 2007a; 2009); Widodo dan Rosyidi (2009). Rosyidi et al. (2007b; 2008a,b) mengusulkan suatu teknik analisis spektrum gelombang permukaan terpadu (*integrated-spectral analysis of surface wave, ISASW*) untuk penilaian jalan. Teknik pengembangan ini memiliki keunggulan mampu menganalisis kekuatan bahan jalan dan rasio pelemahan struktur jalan secara simultan untuk jenis perkerasan lentur.

Modulus elastisitas bahan setiap lapisan perkerasan jalan dihitung menggunakan hubungan antara kecepatan gelombang geser, rasio Poisson dan kepadatan bahan. Parameter rasio Poisson dapat diasumsikan dan nilai kepadatan bahan didapatkan dari data sekunder atau basis data jenis perkerasan. Gambar 9 menunjukkan profil modulus elastisitas dari profil kecepatan gelombang geser pada salah satu STA di Jalan Cagak, Subang .



Gambar 9. Profil modulus elastisitas perkerasan jalan

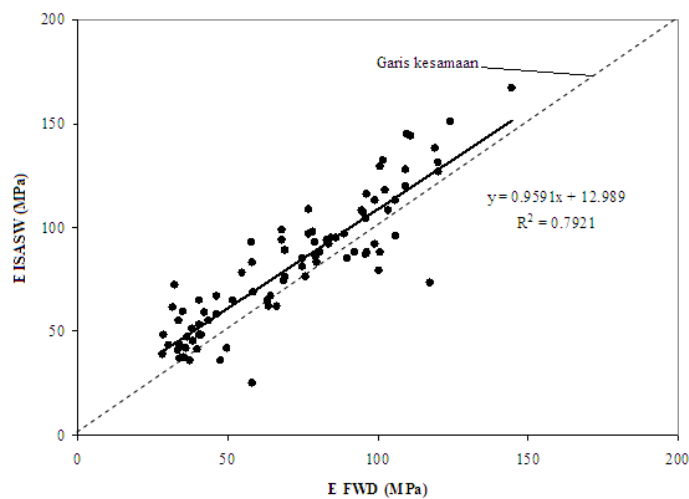
Perubahan modulus elastisitas terlihat secara jelas dalam profil yang menunjukkan perbedaan kekakuan lapisan bahan penyusun perkerasan jalan. Rata-rata pemberat (*weighted average*) menunjukkan bahwa lapisan permukaan ACWC memiliki nilai modulus 2660 MPa, lapisan fondasi memiliki modulus rata-rata antara 440 MPa dan bahan lapisan fondasi bawah berada pada modulus rata-rata 103 MPa. Lapisan tanah dasar dideteksi pada nilai modulus rata-rata 40 MPa. Beberapa hal yang perlu diperhatikan di sini adalah nilai regangan dalam modulus elastisitas. Prinsip kerja teknik ISASW adalah menggunakan analisis perambatan gelombang. Perambatan energi gelombang akan menghasilkan nilai tegangan pada regangan yang kurang dari 1×10^{-4} % sehingga sifat material yang diukur adalah nilai modulus yang maksimum (Rosyidi et al., 2008a). Persamaan respon tegangan dan regangan yang digunakan adalah model konstitutif bahan elastik linier.

Dalam studi yang dilakukan oleh penulis, pengukuran ISASW dan FWD dilakukan pada titik yang sama. Dengan demikian, hasil modulus elastisitas lapisan tanah dasar perkerasan jalan yang diperoleh dari pengukuran ISASW dapat diverifikasi dengan hasil modulus elastisitas dari pengukuran FWD. Proses verifikasi ini dilakukan untuk mendapatkan rasionalisasi hasil pengukuran seismik dan korelasi empirik ISASW terhadap hasil FWD. Pemilihan lapisan tanah dasar untuk proses verifikasi ini karena tanah dasar memegang peranan penting dalam disain perkerasan jalan dan perhitungan SN, khususnya jika melibatkan metode analitik-mekanistik.

Gambar 10 menjelaskan hubungan modulus elastisitas dari ISASW dan FWD untuk lapisan tanah dasar yang didapatkan dari 83 titik observasi pada dua lokasi penelitian. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa trend garis regresi linier hubungan antara ISASW dan FWD mendekati garis kesamaan atau *equality line*. Dengan koefisien determinasi sebesar 0,79, sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara modulus elastisitas hasil ISASW dan FWD adalah berkorelasi kuat.

Meskipun pengujian seismik bekerja pada level regangan bahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan respon regangan oleh beban jatuh dalam pengujian

FWD. Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dari pengukuran ISASW menunjukkan nilai sedikit lebih tinggi atau relatif sama dibandingkan dengan nilai modulus hasil pengukuran FWD. Keadaan ini disebabkan oleh tanah dasar memperoleh pengaruh regangan yang relatif hampir sama baik dari beban impuls (FWD) maupun perambatan gelombang permukaan (ISASW). Berdasarkan teori tegangan-regangan (Boussinesq), beban impuls yang dijatuhkan di permukaan jalan akan didistribusikan kepada lapisan yang berada di bawahnya dalam tegangan dengan luasan yang lebih besar. Sehingga, tegangan vertikal dan horizontal yang diterima oleh lapisan tanah dasar akan lebih kecil dibandingkan dengan lapisan permukaan dan fondasi. Dimungkinkan, tegangan yang kecil pada lapisan tanah dasar perkerasan jalan menghasilkan respon regangan yang nilainya hampir sama atau mendekati regangan akibat perambatan gelombang dalam teknik ISASW. Jika regangan dalam nilai yang relatif sama maka dimungkinkan modulus elastisitas yang dihasilkan menjadi sama. Untuk mengesahkan hipotesis ini, kajian lanjut pemodelan FWD yang terkait dengan pengaruh distribusi tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan jalan terhadap nilai modulus elastisitasnya perlu dilakukan.



Gambar 10. Korelasi modulus elastisitas antara ISASW dan FWD untuk lapisan tanah dasar perkerasan jalan

6. PENUTUP

Metode analisis spektrum gelombang permukaan Rayleigh atau dikenal sebagai metode SASW merupakan alternatif teknologi yang dapat dikembangkan di Indonesia untuk kontrol nilai kekakuan dalam term modulus elastisitas dinamik bahan perkerasan jalan pasca-konstruksi di Indonesia. Metode ini merupakan pengujian lapangan (*in-situ*) yang tidak memerlukan sampel, tidak merusak jalan dan dalam proses analisisnya tidak memerlukan waktu lama dan biaya yang mahal. Dari studi kasus yang dilakukan terindikasikan bahwa metode SASW mampu mengukur modulus elastisitas dinamik bahan untuk setiap lapisan profil perkerasan jalan secara detil pada setiap kedalaman yang diobservasi. Pengembangan dan studi metode ini perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk mendapatkan karakteristik teknis dan

mengeksplorasi kemampuannya ini bagi sistem manajemen jalan di Indonesia. Studi selanjutnya dapat dilakukan dengan melakukan kajian SASW pada berbagai jenis bahan perkerasan yang ada di Indonesia dengan variasi sifat mekanisnya. Pada sisi lain, dapat pula mengembangkan metode SASW pada sistem berjalan (*mobile technology*) sehingga akan lebih mempercepat waktu pengambilan data.

REFERENSI

1. Al-Hunaidi, M.O. 1992. Difficulties with Phase Unwrapping in Spectral Analysis of Surface Waves Nondestructive Testing of Pavements. *Canadian Geotechnical Journal* **29**, pp. 506-511.
2. Cho, Y.S. 2002. NDT Response of spectral analysis of surface wave method to multi-layer thin high strength concrete structure, *Ultrasonic* **40**, pp. 227-230.
3. Cho, Y.S. & Lin, F-B, 2001, Spectral analysis of surface wave response of multi-layer thin cement mortar slab structure with finite element thickness, *NDT&E International* **34** (2001), Elsevier Science, pp.115-122
4. Gazetas, G. 1991. Foundation Vibrations: Foundation Engineering Handbook, 2nd Edition, Hsai-Yang Fang Editor, pp.553-593.
5. Gucunski, N. 2000. Field Implementation of Surface Waves for Obstacle Detection (SWOD) Method, *Proc.of 15th WCNDT*, Roma 2000.
6. Heisey, J.S. 1982. Determination of In Situ Shear Wave Velocity from Spectral Analysis of Surface Wave. Master of Science Thesis. University of Texas at Austin, 300p.
7. Hvorslev, M.J., 1949. Subsurface exploration & sampling of soils for civil engineering purposes. Report on a Research Project of the Committee on Sampling and Testing Soil Mechanics and Foundations Division. Waterways Experimental Station.
8. Jones, R.B. 1958. In-situ measurement of the dynamic properties of soil by vibration methods. *Geotechnique* **8** (1), pp.1-21.
9. Joh, S.H. 1996. Advances in data interpretation technique for Spectral Analysis-of-Surface-Waves (SASW) measurements. Ph.D. Dissertation, the University of Texas at Austin, 240p.
10. Kramer, S.L. 1996. Geotechnical earthquake engineering. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 653p.
11. Kim, D.S, Shin M.K & Park H.C., 2001, Evaluation of density in layer compaction using SASW method, *Soil Dynamic and Earthquake Engineering* **21** (2001), Elsevier Science, pp.39-46.
12. Madshus, C. & Westerdahl, H. 1990. Surface wave measurements for construction control and maintenance planning of roads and airfields. *Proc. 3rd. Int. Conf. On Bearing Capacity of Roads and Airfields*, July 3-5, Trondheim, Norway.
13. Matthews, M.C., Hope, V.S. & Clayton, R.I. 1996. The geotechnical value of ground stiffness determined using seismic methods. *Proc. 30th Annual Conf. of the Eng. Group of the Geol. Soc.*, University of Lige, Belgium.
14. Nazarian, S. 1984. In-situ determination of elastic moduli of soil deposits and pavement systems by Spectral-Analysis-of-Surface-Wave Method. Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, 452 p.
15. Nazarian, S. & Stokoe II, K. H. 1984. In-situ shear wave velocity from spectral analysis of surface waves. *Proc. 8th World Conf. On Earthquake Engineering* **3**, pp 31-38.
16. Richart, Jr., F.E., Woods, R.D. & Hall, Jr., J.R. 1970. Vibrations of soil and foundations. Ed. Ke-8. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
17. Rix, G.J., Bay, J.A. & Stokoe II, K.H., 1990. Assessing in situ stiffness of curing Portland cement concrete with seismic tests. *Transportation Research Board* **1284**, Washington, D.C.
18. Rosyidi, S.A. 2004. Evaluation of the Dynamic Stiffness of Pavement Layer Using SASW Method. Master of Science Thesis. Universiti Kebangsaan Malaysia.

19. Rosyidi, S.A. 2005, Prospek pengembangan teknologi analisis gelombang seismik permukaan untuk evaluasi jalan pasca konstruksi di Indonesia, Konferensi Regional Teknik Jalan ke-8 (KRTJ-8) Wilayah Barat, Batam.
20. Rosyidi, S.A., 2007, Comparison between 2-D and 3-D stiffness matrix model simulation of SASW inversion for pavement structure, *Civil Engineering Dimension, Journal of Civil Engineering Science and Application*, Vol.9, No.1, March 2007, hal. 42 – 48.
21. Rosyidi, S.A., 2009, Wavelet analysis of surface wave for evaluation of soil dynamic properties, Ph.D. Thesis, Universiti Kebangsaan Malaysia.
22. Rosyidi, S.A., Nayan, K.A.M., Taha, M.R. & Mustafa, M.M. 2002. The measurement of the dynamic properties of flexible pavement using Spectral-Analysis-of-Surface-Wave (SASW) Method. The Symposium of Inter-University Transportation Studies Forum. University of Indonesia. Jakarta.
23. Rosyidi, S.A., Taha, M.R. & Nayan, K.A.M. 2003. Determination the design input parameter of dynamic elastic modulus of road-pavement base layer using wave propagation technique. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 (KNTJ-7)*, Jakarta, 7 - 8 Oktober 2003.
24. Rosyidi, S.A., Nayan, K.A.M. & Taha, M.R. 2004a. Measurement of subgrade stiffness using the SASW method. *Proc. of Malaysian Geotechnical Conference at Petalingjaya Kuala Lumpur*, 14-16 Maret 2004. The Institute of Engineer Malaysia.
25. Rosyidi, S.A. & Taha, M.R. 2004b. Measurement of Pavement Moduli using Simple Surface Wave Propagation Technique. *Prosiding Simposium ke-7 Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi, Universitas Katolik Parahyangan*, 11 September 2004.
26. Rosyidi, S.A., Taha, M.R. & Nayan, K.A.M. 2005. Assessing In Situ Dynamic Stiffness of Pavement Layers with Simple Seismic Test. *Proceeding of International Seminar and Exhibition on Road Constructions*. Semarang, 26 May 2005. pp.15-24.
27. Rosyidi, S.A., Nayan K.A.M., Taha, M.R. & Ismail, A., 2006, Estimating G-max of soil subgrade using a seismic method, *The International Electronical Journal of Non Destructive Testing*, Vol.11, No.6, June 2006.
28. Rosyidi, S.A., Taha, M.R, Chik, Z., Ismail, A. & Siegfried, 2007a, Development of VBSB-CBR-DCP empirical model for determining dynamic stiffness of base layer using SASW, *International Conference of Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Materials*, Athens, Greece.
29. Rosyidi, S.A., Hantoro, G., Siegfried, Handayani, G. dan Taha, M.R. 2007b. Pengembangan metode integrated-spectral-analysis-of-surface-waves (SASW) untuk evaluasi nilai modulus elastisitas struktur perkerasan jalan. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun Pertama, Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi Republik Indonesia*.
30. Rosyidi, S.A., Siegfried, Hantoro, G. & Taha, M.R., 2008a, Perbandingan hasil pengukuran modulus elastisitas antara teknik sasw dan fwd pada perkerasan jalan, *Simposium FSTPT XI, Universitas Diponegoro, Semarang*.
31. Rosyidi, S.A., Taha, M.R., Chik, Z. & Ismail, A. 2008b. Seismic response identification of surface waves on residual soils using wavelets analysis. *Proc.International Conference in Geotechnical and Highway Engineering, Geotropika 2008, Kuala Lumpur Malaysia*.
32. Rosyidi, S.A., Siegfried, Riyadi, S. & Handayani, G., 2009a, Pembangunan sistem dan instrumen portable multi-channel tomography of surface waves (pmtsw) untuk pengukuran kekuatan dan anomali struktur perkerasan jalan. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahun Pertama, Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi Republik Indonesia*.
33. Rosyidi, S.A., Taha, M.R., Chik, Z. & Ismail, A., 2009b, Signal reconstruction of surface waves on SASW measurement using gaussian derivative wavelet transform, *Acta Geophysica*, Vol. 57 No.3, hal.616-635.
34. Sjahdanulirwan, M. 2004. Arah Kebijakan Pemerintah Mengenai Pemeliharaan Jalan Di Indonesia. Makalah disampaikan Stadium General Penandatanganan MoU antara Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan Puslitbang Prasarana Transportasi,

Balitbang Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum, Yogyakarta, 20 Desember 2004

35. Stokoe, K.H. II, Wright, S.G., Bay, J.A. & Roesset, J.M., 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method. *Geotechnical characterization of sites*, R.D. Wood, ed., Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, India, pp. 15-26.
36. Terzaghi, K. 1943. Theoretical soil mechanics. New York: John & Wiley Sons.
37. William, O. 1981, Rayleigh wave velocity measurement using broad band frequency sources, Miscellaneous Paper EL-81-3, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
38. Yoder, E.J. & Witczak, M.W. 1975. Principle of pavement design, John Willey & Sons, New York.
39. Zagyapan, M. & Fairfield, C.A., 2002, Continuous surface wave and impact methods of measuring the stiffness and density of railway ballast, *NDT&E International* 35 (2002), Elsevier Science, pp.75-81



Sri Atmaja P. Rosyidi

Ir. (PII), ST. (UMY), MSc.Eng (UKM), GradD (Salerno), Ph.D. (UKM), P.Eng
MIACMAG, M.Inst of Engineers Indonesia (PII), MISGE, MIRDA, GreenShip Associate Certf. (GA)

Associate Professor, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Email: atmaja_sri@umy.ac.id

Website: atmaja.staff.umy.ac.id

Tel. +62-274-287656 ext. 101

Pekerjaan tetap (afiliasi tetap):

1. Staf akademik di Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sejak April 2000, pada mata kuliah: perencanaan transportasi, prasarana transportasi, perancangan tebal perkerasan jalan, evaluasi dan teknologi perkerasan jalan, geo-kegempaan, manajemen bencana.
2. Sebelumnya memimpin Center for regional Energy Management (Pusat Studi Pengelolaan Energi Regional/PUSPER) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta periode 2010 – 2011. Selain itu, menjadi Principal Senior Research Fellow dalam bidang Energy Conservation in Built Environments, dan Energy in Transportation.
3. Saat ini, diberikan amanah sebagai Wakil Rektor Bidang Kemahasiswaan, Alumni, Promosi dan Kerjasama Universitas Muhammadiyah Yogyakarta pada periode 2011-2013, periode 2013 – sekarang.

Pendidikan:

1. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Sipil UMY (www.umy.ac.id) dengan predikat Cum Laude pada tahun 1999,
2. Menerima gelar MSc.Eng (Master of Science in Engineering) dari the National University of Malaysia (www.ukm.my) pada tahun 2003/2004
3. Ph.D. (Doctor of Philosophy) dari Department of Civil and Structural Engineering, dari the National University of Malaysia (www.ukm.my) pada tahun 2008/2009.
4. Pada tahun 2008, menyelesaikan program pascasarjana (postgraduate certificate) dari International School of Landslide Risk Analysis and Hazards Mitigation, University of Salerno, Italy
5. Postdoctoral research fellow, GeoHazards and GeoEnvironment Research Group, the National University of Malaysia (www.ukm.my) pada tahun 2009 – 2011.
6. Postdoctoral fellow, bidang energy conservation in built environment di Technical University of Eindhoven (TU/e), the Netherlands, 2009

Sertifikasi:

1. Sertifikat Profesi Insinyur (PII), Reg: 1205.15.029564
2. Sertifikat Pendidik (Dosen), Reg:11105100710776 (2011)
3. Sertifikat Keahlian Perencana Jalan dan Perencana Jembatan (2006)
4. Sertifikat Keahlian Pelaksana Bangunan (1999)
5. Sertifikat GreenShip Associate/GA (2016)

Pengalaman pekerjaan/akademik:

1. Dosen, 2001, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Assistant Professor, 2007, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
3. Visiting professor/lecturer, University of East London, Malaysian campus, di School of Civil Engineering (mata kuliah: Geotechnical Engineering) tahun 2008;
4. Temporary contract professor/lecturer, Universiti Tenaga Nasional (Uniten) Malaysia pada program BSc/BEng (mata kuliah: Linear Algebra and Mathematics) tahun 2008-2009,

5. Research assistant professor (2009) pada Geotechnical Research Group, visiting professor/lecturer pada program Master of Engineering, Dept. of Civil and Structural Engineering (mata kuliah: Soil Dynamics; Site Investigations; Concrete Technology)
6. Postdoctoral Research Associate (Fellow) (2009-2011) pada Geohazards and GeoEnvironments Research Group and Geotechnical and GeoEnvironmental Engineering Research Group (expertise: applied geophysics, soil dynamics and earthquake engineering) di the National University of Malaysia.
7. Associate Professor (Lektor Kepala, IV/a, Pembina) , 2012, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Penelitian:

Telah dan sedang terlibat lebih dari 23 proyek penelitian yang didanai oleh UMY, Kementerian Pekerjaan Umum RI, Kementerian Pendidikan Tinggi RI, Kementerian Riset dan Teknologi Indonesia, Ministry of Science, Technology and Innovation Malaysia dan Ministry of Foreign Affairs, Netherlands (Agency of NL), European Commission and Embassy of the Royal of the Netherlands.

Publikasi Ilmiah:

telah menerbitkan, 4 buah buku, lebih dari 40 makalah ilmiah pada Jurnal Internasional dan Nasional (Accredited dan Non-Accredited); dan lebih dari 80 makalah ilmiah di Konferensi/Seminar Internasional dan Nasional.

Publikasi Jurnal Terpilih:

- SCOPUS ID Author : 26321207400
- ORCID ID: orcid.org/0000-0001-8853-555X
- Selected Journal Publications:
 - a) **Sri Atmaja P. Rosyidi**. Simultaneous in-situ stiffness and anomalies measurement on pavement subgrade using tomography surface waves technique. *Procedia Engineering* 125 (2015), Pages 534 – 540, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.057.
 - b) Yusoff, N.I.M., Hardwiyono, S., Ismail, N.N., Taha, M.R., **Rosyidi, S.A.P.**, Nayan, K.A.M. Measurements of the elastic modulus of pavement subgrade layers using the SASW and fwd test methods. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. Volume 10, Issue 2, 2013, Pages 174-181, DOI: 10.3846/bjrbe.2015.22.
 - c) **S.A. Rosyidi**, C.P. Abbiss, K.A.M. Nayan, M.R. Taha, Z. Chik & A. Ismail. Study of the relationship between stiffness parameters for base materials. *Proceedings of the ICE – Transport*, Volume 165, Issue 3, August 2012 pages 159 –165 , DOI: 10.1680/tran.10.00010.
 - d) **Sri Atmaja P. Rosyidi**, Fahmi Aldiamar, Nazib Faizal and Mohd. Raihan Taha. *Lesson Learned from Road Infrastructure Deterioration Caused by Earthquake 7.6 MW and 6.2 MW Padang, September 30, 2009*. Advances in Unsaturated Soil, Geo-Hazard, and Geo-Environmental Engineering (Geotechnical Special Publication 217, pp. 180-187, doi [http://dx.doi.org/10.1061/47628\(407\)23](http://dx.doi.org/10.1061/47628(407)23))
 - e) **Sri Atmaja P. Rosyidi**, Mohd. Raihan Taha. *Coupled Procedure for Elastic Modulus and Damping Ratio Measurement on Pavement Subgrade Structures Using Surface Wave Method*. Contemporary Topics on Testing, Modeling, and Case Studies of Geomaterials, Pavements, and Tunnels (Geotechnical Special Publication 215, pp. 66-73, doi [http://dx.doi.org/10.1061/47626\(405\)9](http://dx.doi.org/10.1061/47626(405)9)).
 - f) **Sri Atmaja P. Rosyidi**, Use of Wavelet Analysis and Filtration on Impulse Response for SASW Measurement in PCC Slab of Pavement Structure, Contemporary Topics on Testing, Modeling, and Case Studies of Geomaterials, Pavements, and Tunnels (Geotechnical Special Publication 215, pp. 74-82, doi [http://dx.doi.org/10.1061/47626\(405\)10](http://dx.doi.org/10.1061/47626(405)10))
 - g) **S.A. Rosyidi**, T.A. Jamaluddin, L.C. Sian, M.R. Taha. Kesan Gempa 7.6 Mw Padang Indonesia, 30 September 2009. *Journal of Sains Malaysiana* Vol. 40, No.12, December 2011, pp. 1393-1405 (SCOPUS/ISI IF 0.152).
 - h) Z.Chik, T. Islam, **S.A. Rosyidi**, H. Sanusi, M.R. Taha, M.M. Mustafa. Comparing the Performance of Fourier Decomposition and Wavelet Decomposition for Seismic Signal Analysis. *European Journal of Scientific Research*, Vol.32 No.3 (2009), pp.314-328.
 - i) **S.A. Rosyidi**, M.R. Taha, A. Ismail & Z. Chik, Signal reconstruction of surface waves on SASW measurement using gaussian derivative wavelet transform. *Acta Geophysica*, Vol. 57 No.3 (September 2009), pp.616-635, (Impact Factor 2009: 0.882, DOI: 10.2478/s11600-009-0015-8).
 - j) **S.A. Rosyidi**, M.R. Taha, A. Ismail and Z. Chik, Evaluation of Pavement Subgrade Quality using the Spectral Analysis of Surface Wave Method, *Journal of Sains Malaysiana*, Vol. 38, No. 1 (February 2009), pp. 21-30 (ISSN: 0126-6039).
 - k) Z.Chik, T. Islam, M.M. Mustafa, H. Sanusi, **S.A. Rosyidi** & M.R. Taha. Surface Wave Dispersive Analysis Using Morlet Wavelet in Geotechnical Investigations. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 9 No.19 (2009), pp.3491-3501, DOI: 10.3923/jas.2009.3491.3501

Penghargaan:

1. Lulusan terbaik Fakultas Teknik UMY tahun 1999;
2. Tiga International Fellowships,
3. Medali Perunggu (Kategori Innovation in Building – Architecture – Civil Engineering Construction – Materials – Woodwork Category) pada Malaysian Technology Exhibition 2009
4. Medali Perunggu pada Malaysian Innovation and Research Expo and Competition 2004.
5. Medali Perunggu pada Malaysian Technology Expo (2011), Ministry of Science, Technology and Innovation of Malaysia, 17-19 February 2011.

6. Medali Emas & The Best Award (Invention & Innovation Awards 2013), pada Malaysian Technology Expo (2013), *Geo-Sw@T: An Innovative Landslide Prediction Using Seismic Signal Analysis*, Ministry of Science, Technology and Innovation of Malaysia, 21 – 23 February 2013.

Patent/Copyright/TradeMark:

1. 1 patent, **PI**. 2010002731.
2. 2 trademarks: GEO-SW@T (TM), No. 09008357, Class 42; No. 09008358, Class 9.
3. 1 copyright, GeoSW@T version 1.1.0