

**LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**PENGEMBANGAN SISTEM DAN INSTRUMEN PENGUKUR DAYA
DUKUNG TANAH DASAR PERKERASAN JALAN BERBASIS
GELOMBANG SEISMIK**

Tahun ke-1 dari rencana 2 tahun

Ketua/Anggota Tim:

Sri Atmaja Putra J N N R, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.

NIDN : 0515047801

Slamet Riyadi, ST., M.Sc., Ph.D.

NIDN : 0509087801

Ir. Anita Widiанти, MT.

NIDN : 0020076502

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

DESEMBER 2015

**LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**PENGEMBANGAN SISTEM DAN INSTRUMEN PENGUKUR
DAYA DUKUNG TANAH DASAR PERKERASAN JALAN
BERBASIS GELOMBANG SEISMIK**

Tahun ke-1 dari rencana 2 tahun

Ketua/Anggota Tim:

Sri Atmaja Putra J N N R, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.

NIDN : 0515047801

Slamet Riyadi, ST., M.Sc., Ph.D.

NIDN : 0509087801

Ir. Anita Widianti, MT.

NIDN : 0020076502

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

DESEMBER 2015

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : PENGEMBANGAN SISTEM DAN INSTRUMEN
PENGUKUR DAYA DUKUNG TANAH DASAR
PERKERASAN JALAN BERBASIS GELOMBANG
SEISMIK

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : SRI ATMAJA PUTRA J N N R S.T., M.Sc.Eng, Ph.D
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
NIDN : 0515047801
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 08157909887
Alamat surel (e-mail) : atmaja_sri@umy.ac.id

Anggota (1)
Nama Lengkap : SLAMET RIYADI Ph.D
NIDN : 0509087801
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Anggota (2)
Nama Lengkap : ANITA WIDIANTI
NIDN : 0020076502
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Institusi Mitra (jika ada) : -
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 77.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 316.980.000,00



Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

(Jazaul Ikhsan, ST., MT., Ph.D.)
NIP/NIK 19720524199804123037

Yogyakarta, 21 - 12 - 2015

Ketua,

(SRI ATMAJA PUTRA J N N R S.T.,
M.Sc.Eng, Ph.D)
NIP/NIK 9780415200004123046



Menyetujui,
Kepala Lembaga Penelitian

(Hilman Latief, MA., Ph.D.)
NIP/NIK 19750912200004113033

RINGKASAN

Permasalahan utama yang dihadapi dalam evaluasi dan manajemen perkerasan jalan di Indonesia yaitu pertama, menentukan sistem dan instrumen penilaian struktural bahan jalan, khususnya lapisan tanah dasar (*subgrade*) berupa parameter daya dukung yang secara efektif dapat dimonitor secara berkelanjutan. Kedua, ketidakseimbangan antara ketersediaan dana monitoring dan pemeliharaan jalan dengan total panjang jaringan jalan di Indonesia. Ketiga, ketersediaan peralatan dan teknologi penilaian jalan yang terbatas pada Dinas Pekerjaan Umum di Indonesia, menyebabkan pekerjaan pengawasan kualitas jalan dan manajemen perkerasan menjadi tertunda. Dengan demikian, diperlukannya suatu teknik evaluasi jalan yang inovatif, cepat dalam operasional, memiliki hasil akhir yang akurat dan sekaligus ekonomis. Untuk itu, dalam penelitian tahun pertama ini telah dibangun suatu sistem teknologi dan instrumentasi baru berupa instrumen pengukur daya dukung tanah dasar perkerasan jalan yang bersifat tidak merusak (*Non Destructive Testing*, NDT) yang berbasis perambatan gelombang seismik, yang selanjutnya instrumen ini dinamakan “Portable Surface Waves Analyser (PSWA)”. Teknologi NDT-PSWA yang diusulkan merupakan teknik pengujian lapangan untuk menilai struktural bahan jalan secara tidak merusak, cepat, akurat dan ekonomis yang digunakan di Indonesia. Teknik ini dibangun berdasarkan analisis perambatan gelombang seismik Rayleigh pada media yang berlapis yang dihasilkan dari sumber mekanik buatan. Untuk membangun teknik NDT-PSWA ini diperlukan tahapan beberapa studi yang dibagi dalam tiga kerangka penelitian. Kerangka tahun pertama penelitian yang dikerjakan adalah penyusunan sistem pengukuran daya dukung tanah berbasis kecepatan gelombang seismik di laboratorium. Sistem dasar NDT PSWA dibangun menggunakan sistem penganalisis spektrum berbasis transformasi Fourier. Gelombang seismik dirambatkan dalam sel sampel tanah dengan variasi kadar air-kepadatan dan daya dukung tanah yang berbeda. Variasi kecepatan gelombang seismik digunakan sebagai parameter eksperimen kepadatan-daya dukung tanah. Berbasis kajian eksperimen ini, sistem instrumen NDT-PSWA dibangun dan dikembangkan. Prototipe instrumen NDT-PSWA telah dibangun dalam tahun pertama. Dalam kerangka penelitian tahun kedua ini adalah akan dilakukan penyempurnaan pembangunan instrumentasi PSWA. Dalam tahap kedua ini, validasi dan uji kalibrasi sistem untuk pengujian PSWA perkerasan jalan di lapangan akan dilakukan. Hasil pengujian lapangan akan dibanding dengan teknik DCP-CBR Lapangan, LFWD, SASW dan MASW.

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr.Wb.,

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah swt., dan sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW., beserta keluarga serta sahabatnya.

Laporan penelitian ini adalah hasil penelitian yang didanai oleh Dibiayai oleh Kopertis Wilayah V DIY Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Nomor: Tertanggal 25 Maret 2015, NOMOR SP DIPA-023.04.1.673453/2015 tanggal 14 November 2014, melalui Penelitian Desentralisasi Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Pendanaan 2015. Penelitian ini mengambil fokus penelitian mengenai pembangunan sistem dan instrumen “*Portable Surface Waves Analyser (PSWA)*” untuk evaluasi kepadatan tanah dasar jalan di Indonesia. Kajian ini merupakan topik penelitian utama yang dilakukan secara berkelanjutan dalam Roadmap Penelitian Kelompok Studi Teknik Transportasi, Program Studi S-1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) mengenai pengembangan teknik seismik dalam bidang teknik sipil, khususnya untuk infrastruktur jalan dan jalan kereta api.

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, diantaranya Dr. Hilman Latief, MA. selaku Ketua LP3M UMY, Siegfried, Ph.D. (Puslitbang Jalan dan Jembatan) yang telah banyak memberikan fasilitas dan kemudahan dalam peralatan dan analisis seismik serta kepada Muh. Lokot (Pimpro Lampung, Balai Kereta Api Sumatera Bagian Selatan) yang memberikan kemudahan dalam pengambilan data dan sampel di Lampung; Sumadi selaku laboran di Laboratorium UMY; para asisten: Fadlun, Budiarti, Silfiana Dewi dan Andri, sebagai Asisten Peneliti di Laboratorium Teknik Transportasi UMY; dan berbagai pihak yang membantu penelitian ini yang tidak dapat disebutkan seluruhnya di sini.

Penelitian ini merupakan kajian pengembangan dan aplikasi teknologi seismik dalam bidang jalan. Hasil ini diharapkan dapat dilanjutkan dengan penelitian tahun kedua untuk membuat instrumen lapangan PSWA. Teknologi ini merupakan teknik NDT baru dalam penilaian kekuatan struktur dalam manajemen infrastruktur jalan di Indonesia. Semoga kontribusi yang sederhana ini bisa memberikan manfaat. Amiin.

Wassalam,

Sri Atmaja P. Rosyidi
Slamet Riyadi
Anita Widianti

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Signifikansi Penelitian	3
1.3 Luaran Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengujian Bahan Berbasis Gelombang Seismik	5
2.2 Evaluasi Perkerasan Jalan Berbasis Gelombang Seismik	6
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	9
3.1 Tujuan Penelitian	9
3.2 Manfaat Penelitian	9
BAB IV. METODE PENELITIAN	12
4.1 Tahap Pembangunan Sistem Pengukur Cepat Rambat Gelombang Laboratorium	14
4.2 Tahap Penyiapan Sampel Uji	14
4.3 Tahap Sistem dan Analisis Data Seismik	22
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
5.1 Hasil Pengujian Sampel Tanah	27
5.2 Respon Seismik Hasil Pengukuran pada Pada Sampel Tanah Uji	32
5.3 Hasil Analisis Kecepatan Gelombang Fase dengan Variasi Kadar Air dan Kepadatan Tanah	41
BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	46

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	48
7.1 Kesimpulan	48
7.2 Saran	48
 DAFTAR PUSTAKA	 50
 LAMPIRAN	
- Instrumen	
- Personalia tenaga peneliti beserta kualifikasinya	
- HKI dan publikasi	

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Hasil uji sifat fisik tanah asli	27
Tabel 5.2	Hasil Pengujian oedometer	30
Tabel 5.3	Hasil analisis pengukuran seismik (VR, VP dan VS) pada sampel uji variasi 25, 30, 35 dan 40 %	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Peta jalan penelitian dan pengembangan teknologi NDT berbasis perambatan gelombang seismik	9
Gambar 4.1.	Kerangka global penelitian yang diusulkan	12
Gambar 4.2.	Bagan alir tahap penelitian tahun pertama: pembangunan sistem dan instrumen pengukur cepat rambat gelombang di laboratorium	13
Gambar 4.3.	Lokasi pengambilan sampel tanah	15
Gambar 4.4	Proses pengeboran pengambilan sampel tanah tak terusik	16
Gambar 4.5.	Disain sistem instrumentasi multi-sensor laboratorium untuk investigasi cepat rambat gelombang seismik pada sampel tanah padat (Sp) di laboratorium	23
Gambar 4.6.	Sel benda uji pada alat laboratorium	24
Gambar 4.7.	Konfigurasi pengukuran pada sampel uji	25
Gambar 5.1.	Grafik hubungan batas cair dengan indeks plastisitas	27
Gambar 5.2.	Grafik hubungan kadar air dengan berat volume kering	28
Gambar 5.3	Grafik hubungan tegangan dengan regangan pada tanah asli	29
Gambar 5.4	Grafik hubungan tekanan dan angka pori	31
Gambar 5.5	Pola rekaman data seismik pada sampel tanah pada kadar air 35 %	33
Gambar 5.6	Detil pola rekaman data seismik pada sampel tanah pada kadar air 35 % yang menunjukkan amplitudo gelombang Rayleigh	34
Gambar 5.7	Diagram alir proses FFT untuk tampilan spectrum	35
Gambar 5.8	Tampilan spektrum real-imaginary hasil analisis FFT untuk pengukuran sampel tanah uji pada kadar air 35 %	36
Gambar 5.9	Tampilan spektrum magnitudo hasil analisis FFT untuk pengukuran sampel tanah uji pada kadar air 35 %	37
Gambar 5.10	Tampilan spektrum STFT hasil analisis FFT untuk pengukuran sampel tanah uji pada kadar air 35 %	37
Gambar 5.11	Data seismik tanah uji pada kadar air 35 % dan penentuan waktu kedatangan gelombang R pada sensor pertama dan kedua	39
Gambar 5.12.	Rekaman data untuk analisis beda fase untuk sampel uji 35 %	40
Gambar 5.13.	Spektrum beda fase atau fungsi perpindahan untuk sampel uji 35 %	41
Gambar 5.14.	Kurva dispersi kecepatan gelombang fase untuk sampel uji 35 %	41
Gambar 5.15.	Hubungan antara kecepatan gelombang fase pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air	42

Gambar 5.16. Hubungan antara kecepatan gelombang tubuh P dan S pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air	43
Gambar 5.17. Hubungan antara kecepatan gelombang permukaan pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air	44
Gambar 5.18. Hubungan antara kecepatan gelombang tubuh P pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air	45
Gambar 5.19. Hubungan antara kecepatan gelombang tubuh S pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air	45
Gambar 6.1. Disain sistem instrumentasi multi-sensor PSWA lapangan	47

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I :INSTRUMEN DUKUNGAN PADA PELAKSANAAN
PENELITIAN

LAMPIRAN II: ORGANISASI PENELITI

LAMPIRAN III: BIODATA

LAMPIRAN IV: PUBLIKASI DAN HAKI

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Permasalahan yang terjadi di Indonesia yang terkait dengan proses manajemen jaringan jalan adalah ketidakseimbangan besaran alokasi dana untuk kegiatan 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. Meskipun alokasi dana infrastruktur dalam APBN untuk sektor jalan sudah mengalami peningkatan dari tahun ke tahun namun jika dibandingkan dengan total panjang jalan yang harus ditangani, alokasi dana program pemeliharaan jalan tidak dapat mencukupi kebutuhan pemeliharaan. Hal ini terindikasi dari kondisi dan kinerja perkerasan jalan yang ada. Data Ditjen Bina Marga Tahun 2010 (Warta Anggaran, 2012) tentang kondisi jalan di Indonesia menunjukkan bahwa dari panjang jalan nasional 38.569 km, ditemukan 3,34% mengalami rusak berat; 33,56% rusak ringan; 33,56% dalam kondisi sedang; dan sisanya 49,67% dalam kondisi baik. Untuk jalan provinsi, dari total panjang 48.966 km, didapati 31,06% dalam kondisi rusak berat; 28,21% rusak ringan; 34,88% kondisi sedang; dan sisanya 5,85% dalam kondisi baik. Adapun untuk jalan kabupaten/kota dengan 358.713 Km, ditemukan: 21,87% dalam kondisi rusak berat; 31,14% rusak ringan; 24,53 kondisi sedang; dan sisanya 22,46% dalam kondisi baik.

Dalam bidang prasarana jalan raya ini, Indonesia masih tertinggal dari negara lain. Data yang dipublikasikan oleh *World Economic Forum* (WEF) pada 2011 menunjukkan bahwa perkerasan jalan di Indonesia masih digolongkan dalam kategori buruk di Asia. WEF (2011) mencatat bahwa kondisi infrastruktur jalan raya Indonesia menempati posisi ke-83 dari 142 negara. Posisi Indonesia berada di bawah negara tetangga, seperti Singapura (2), Malaysia (18) dan China

(54) (Lakip Ditjen Bina Marga 2011). 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 dalam sistem manajemen anggaran dan penerapan teknologi pemeliharaan jalan di Indonesia yang inovatif sehingga pembinaan jalan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

Dalam pengembangan teknologi pemeliharaan jalan, tahapan yang paling penting dalam RMS adalah suatu sistem yang mampu mengukur kondisi jalan saat ini dan memprediksi depresiasi kekuatannya di masa yang akan datang (Rosyidi, 2005). 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 struktural setiap ketebalan 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 analisis gelombang permukaan (Nazarian & Stokoe, 1984). 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 (Rosyidi dkk. (2002, 2003, 2009, 2012), Rosyidi (2004, 2006, 2007, 2011), Rosyidi dan Ikhsan (2005)). Untuk itu, teknologi perambatan gelombang

seismik untuk evaluasi perkerasan jalan perlu dikaji dan dihasilkan lebih lanjut lagi supaya teknologi tersebut semakin inovatif, ekonomi dan mudah untuk diaplikasikan bagi monitoring kualitas perkerasan jalan di Indonesia

1.2 SIGNIFIKANSI PENELITIAN

Ketika jaringan jalan sudah semakin luas dan mempertimbangkan faktor ekonomi dan biaya pemeliharannya yang semakin mahal, maka diperlukan suatu sistem manajemen manajemen jalan yang mampu mengevaluasi konstruksi secara baik dari tahap penilaian hingga rehabilitasi, dengan tujuan supaya jalan memiliki umur layanan yang lebih lama. Selain itu, masalah klasik, iklim tropis dengan curah hujan tinggi di Indonesia yang menyebabkan sebagian besar perkerasan jalan yang dibangun di atas permukaan tanah ekspansif akan cepat mengalami kerusakan. Monitoring terhadap daya dukung lapisan tanah dasar secara berkelanjutan menjadi salah satu faktor penting dalam pemeliharaan jalan. Untuk itu, perlu mencari upaya-upaya terobosan teknologi pemeliharaan jalan di Indonesia yang inovatif, ekonomis, akurat dan mudah dalam pelaksanaannya. Salah satu teknologi termaju saat ini yang dimiliki oleh Indonesia dalam penilaian kekuatan struktur jalan raya adalah alat uji Falling Weight Deflectometer (FWD). Alat FWD ini merupakan instrumen pengujian lapangan yang bersifat tidak merusak jalan, bekerja cepat dan memberikan output hasil nilai modulus elastisitas setaip lapisan jalan. Meskipun demikian, peralatan FWD ini sangat mahal harganya dan Departemen Pekerjaan Umum hanya memiliki peralatan FWD sejumlah 4 buah, sehingga sangat tidak dimungkinkan untuk melayani keseluruhan jaringan jalan di Indonesia. Selain itu, aplikasi untuk analisis data FWD yang digunakan untuk intepretasi hasil akhir masih menunjukkan deviasi yang cukup besar. Ini disebabkan oleh model yang digunakan merupakan pengembangan kondisi lingkungan yang berbeda dengan kondisi di Indonesia dan model defleksi yang dikembangkan masih berlandaskan teori analisis defleksi statik, padahal kondisi yang perlu diperhitungkan adalah respon defleksi dinamik. Melihat dari aspek ini, maka diperlukan pengembangan teknologi pemeliharaan jalan yang lebih representatif yang mampu menjadi alternatif dari pengujian

FWD. Penelitian ini adalah pengembangan teknik gelombang permukaan untuk evaluasi jaringan jalan di Indonesia. Teknik gelombang seismik memiliki potensi untuk dikembangkan dengan pertimbangan instrumen pengujian yang relatif lebih sederhana (lebih ekonomis daripada FWD) dan juga, teknik ini dikembangkan menggunakan model dinamis berbasis perambatan gelombang permukaan dengan menghasilkan parameter dinamik bahan yang lebih mendekati kepada kondisi nilai modulus elastisitas sebenarnya.

Dari penelitian ini dihasilkan suatu sistem dan instrumentasi analisis gelombang permukaan protabel (*portable-surface waves analyser*, PSWA) yang dapat diterapkan secara langsung untuk proses evaluasi struktur lapisan tanah dasar perkerasan jalan di Indonesia khususnya oleh pihak pemerintah dalam hal ini Direktorat Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum yang bertanggung jawab untuk jaringan jalan nasional dan Pemerintah Daerah yang memiliki otoritas pengembangan dan pemeliharaan jalan provinsi dan kabupaten. Mengingat aspek ekonomis dan pengadaan peralatannya yang lebih mudah, metode Intergated-SASW yang diusulkan dalam penelitian ini, diharapkan juga dapat menjadi alternatif metode evaluasi perkerasan jalan.

1.3 LUARAN PENELITIAN

Dari penelitian tahun pertama ini dihasilkan suatu sistem dan instrumentasi analisis gelombang permukaan protabel (*portable-surface waves analyser*, PSWA) yang belum dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Dengan demikian, luaran penelitian ini adalah Hak Paten/HaKI untuk sistem dan pengukuran cepat rambat gelombang untuk tanah dasar di laboratorium dan lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENGUJIAN BAHAN BERBASIS GELOMBANG SEISMIK

2.1.1 Konsep Penggunaan Gelombang Seismik Permukaan untuk Uji Material

Ketika suatu beban getaran diletakkan di atas permukaan media, perambatan gelombang Rayleigh (R) yang dihasilkan memiliki 67 % daripada seluruh tenaga mekanik yang dikeluarkan (Nazarian, 1984). Oleh karena itu, gelombang R merupakan parameter yang berpotensi bagi pengukuran sifat bahan yang menggunakan asas perambatan gelombang. Energi dari suatu sumber gelombang permukaan Rayleigh akan bergerak sepanjang permukaan dan amplitudonya akan berkurang secara cepat sesuai kedalaman. Pergerakan gelombang Rayleigh akan berlaku secara menyebar (*dispersion*) yang merupakan suatu fenomena dari fungsi kecepatan gelombang terhadap panjang gelombang dan frekuensinya. Panjang gelombang pendek dengan frekuensi tinggi hanya merambat pada permukaan yang dangkal, sedangkan gelombang yang lebih panjang dengan frekuensi rendah dapat merambat lebih dalam.

2.1.2 Aplikasi Metode Analisis Gelombang Permukaan

Aplikasinya yang pertama telah dilakukan oleh Nazarian (1984) dan Nazarian & Stokoe (1984) yang menjelaskan penggunaan analisis gelombang permukaan untuk menentukan kekakuan tanah dan struktur timbunan jalan di Texas, USA. Meskipun demikian, teknik tersebut masih menggunakan algoritma analisis yang sederhana sehingga proses inversi profil kekakuan bahan masih sederhana yang belum merepresentasikan profil kedalaman yang detail.

Penelitian lain mengenai penggunaan teknik SASW telah didapati berhasil untuk beberapa pengujian empiris lapangan, seperti studi karakteristik berbagai fondasi bangunan yang dilakukan oleh Stokoe dkk. (1994). Penelitian yang dilakukan menghasilkan korelasi-korelasi empiris parameter dinamik gelombang

dengan berbagai variasi kekuatan fondasi. Studi ini dilanjutkan oleh Matthews dkk. (1996) dengan melakukan pengukuran lapangan dan perbandingan nilai kekakuan tanah meliputi modulus geser dan modulus elastisitas tanah menggunakan metode SASW dan metode seismik lainnya. Hasil studi menunjukkan nilai korelasi perbandingan yang baik. Penilaian nilai modulus dinamik struktur beton menggunakan metode SASW dilakukan oleh Rix dkk. (1990) dan Cho (2002), dan dilanjutkan dengan studi pengembangan dengan pendeteksian tebal dan parameter dinamis lapisan pada struktur motar semen oleh Cho dkk. (2001). Kim dkk. (2001) melakukan studi pengukuran tingkat pemadatan tanah menggunakan spektrum gelombang. Studi yang dilakukan menerbitkan suatu korelasi empiris antara kecepatan gelombang geser (V_s) dan kepadatan kering tanah. Studi penggunaan spektrum gelombang permukaan pada struktur balas jalan kereta api dilakukan oleh Zagyapan dkk. (2002). Pada perkembangannya, penggunaan analisis spektrum gelombang permukaan telah diperluas untuk mendeteksi anomali pada berbagai struktur sub-permukaan oleh Gucunski dkk. (1996, 2000).

2.2 EVALUASI PERKERASAN JALAN BERBASIS GELOMBANG SEISMIK

2.2.1. Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pengembangan teknik gelombang permukaan untuk evaluasi jalan khususnya untuk perkerasan dan struktur tanah yang dipengaruhi oleh iklim wilayah tropis selanjutnya dilaksanakan oleh peneliti sejak tahun 2002 dengan ringkasan hasil penelitian diberikan berikut ini.

Rosyidi dkk. (2002, 2003), Rosyidi (2004, 2006) dan Rosyidi dan Ikhsan (2005) telah melakukan pengujian empiris metode analisis gelombang permukaan pada berbagai tipe jalan dan lokasi yang berbeda di beberapa wilayah di Indonesia. Hasil kajiannya menunjukkan bahwa untuk kajian analisis gelombang permukaan pada profil berlapis dengan perbedaan nilai kekakuan yang tidak ekstrim, inversi sederhana dan model perambatan gelombang dengan model *wave-plate* dapat digunakan untuk membangun kurva penyebaran gelombang fase

terhadap frekuensi dengan baik (representatif). Di sisi lain, Rosyidi (2004, 2006) menemukan bahwa untuk menjalankan pengujian metode analisis gelombang permukaan di perkerasan jalan masih terdapat berbagai kesulitan terutama memastikan mode perambatan gelombang Rayleigh sehingga rekomendasi yang diberikan oleh Rosyidi (2006) adalah diperlukannya studi lanjutan berupa simulasi pemodelan dan penyempurnaan perumusan algoritma bagi memperoleh bentuk-bentuk mode perambatan gelombang yang nyata, dengan demikian dapat membantu dalam proses analisis data seismik. Kekeliruan dalam interpretasi mode gelombang R yang bergerak di suatu profil uji akan berpengaruh pada tingkat keberhasilan pada proses inversi (*inversion process*) kurva dispersi kecepatan gelombang geser. Proses tersebut bertumpu pada interpretasi dan pemisahan kecepatan gelombang fase kelompok (*group velocity*) menjadi kelompok gelombang fase (*phase velocity*) yang mewakili gelombang Rayleigh.

Rosyidi (2007) melakukan penelitian dengan melibatkan algoritma matrik kekakuan dinamik 2 D dan 3 D untuk mempelajari pola mode gelombang pada struktur jalan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pengaruh pencampuran gelombang mekanik dapat didekati dengan pemodelan 3 D, dimana model ini dianalisis lebih nyata dibandingkan pendekatan 2 D. Penelitian ini menyelesaikan kendala terutama terkait dengan belum dapat dibedakannya antara kecepatan kelompok (*group velocity*) dan kecepatan fase (*phase velocity*) dalam investigasi perambatan gelombang pada struktur jalan. Hasil penelitian Rosyidi (2007) memberikan kontribusi dengan ditemukannya variasi mode gelombang yang dipengaruhi oleh gelombang mekanik tubuh dan permukaan pada model jalan.

Penelitian lanjutan penggunaan teknik analisis gelombang permukaan untuk manajemen perkerasan jalan dilakukan oleh Rosyidi dkk. (2007) yang mengemukakan bahwa faktor penentu lain dalam keberhasilan analisis gelombang permukaan adalah pemilihan bentuk dan frekuensi gelombang yang diperlukan dalam analisis. Kekeliruan ini akan berpengaruh pada hasil akhir berupa dispersi kecepatan gelombang geser. Secara analitik dan numerik, penelitian ini diteruskan oleh Rosyidi dkk. (2008a), Rosyidi (2008) yang

mengusulkan metode transformasi wavelet untuk menyelesaikan permasalahan teknik analisis mode gelombang dalam metode SASW.

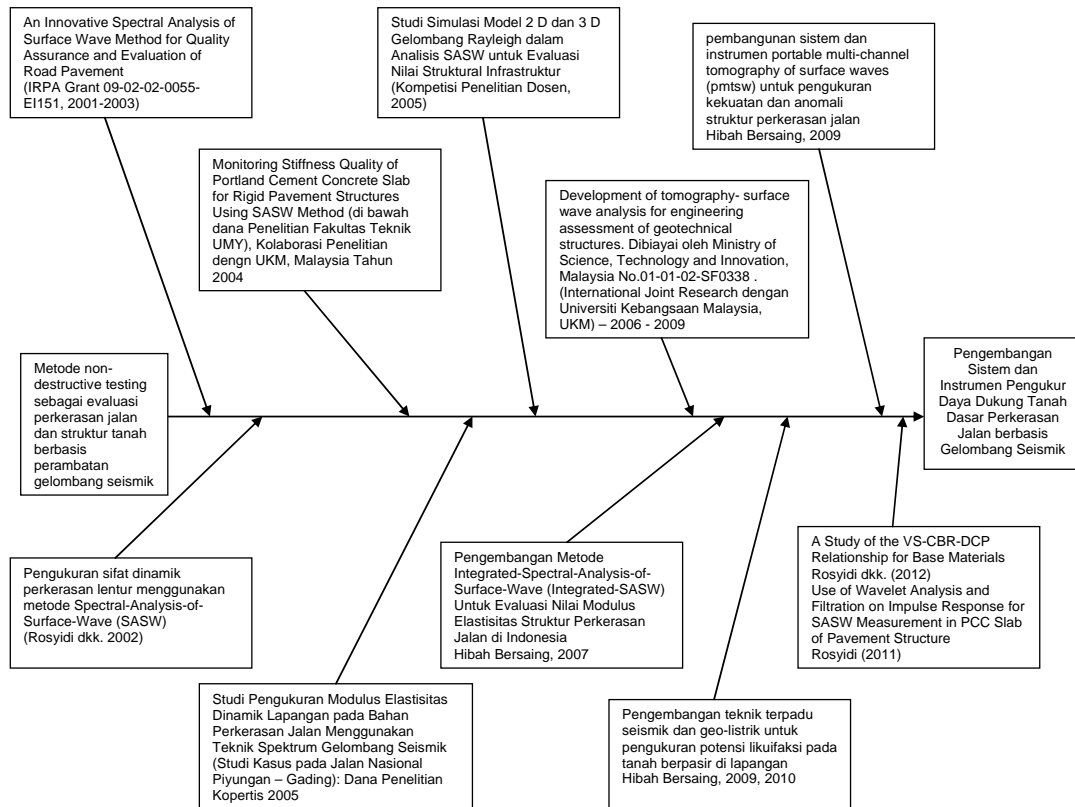
Dalam perkembangannya, Rosyidi dkk. (2007a,b, 2008b) telah mengusulkan suatu teknik integrated-SASW untuk penilaian jalan. Teknik pengembangan ini memiliki keunggulan mampu menganalisis kekuatan bahan jalan dan rasio pelemahan struktur jalan secara simultan. Rosyidi dkk. (2007a) dalam mengembangkan teknik tersebut menggunakan skala model fisik perkerasan jalan untuk jenis perkerasan AC dan ATB. Berdasarkan kajian terbaru yang dilakukan oleh Rosyidi dkk. (2007b), penelitian ini difokuskan kepada penyusunan sistem multi-channel gelombang permukaan untuk evaluasi bahan jalan dan anomali struktur jalan.

Rosyidi dkk. (2009) mengusulkan algoritma transformasi wavelet berbasis Gaussian untuk mendapatkan spektrum analisis yang lebih baik untuk data non-stationary acak yang bisa diperoleh dalam pengujian di perkerasan jalan. Hasil penelitiannya memberikan kontribusi terhadap pembangunan sistem analisis perbedaan fase dan spektrum fase yang lebih tepat.

Rosyidi (2011a) melanjutkan rekomendasi dari penelitian Rosyidi dkk (2009) untuk diaplikasikan pada struktur perkerasan kaku. Model perkerasan kaku dibangun dengan menggunakan nilai kuat tekan beton yang berbeda. Kajian tersebut menunjukkan bahwa teknik wavelet dapat digunakan untuk mendeteksi respon impuls dalam teknik analisis gelombang permukaan. Suatu persamaan empiris dari kajian ini menunjukkan korelasi yang baik dengan model ACI untuk penentuan kuat tekan beton berdasarkan kecepatan gelombang seismik. Selain untuk analisis perkerasan jalan, Rosyidi (2011b) telah mengaplikasikan metode analisis spektrum gelombang permukaan dan geo-resistivity untuk menghasilkan profil 2-D potensi likuifaksi pada tanah deposit pasir di kawasan kampus UMY. Lanjut lagi, Rosyidi dkk. (2012) telah merekomendasikan beberapa persamaan empiris kecepatan gelombang geser dan nilai CBR lapangan untuk bahan granular (berbutir) agregat perkerasan jalan untuk evaluasi bahan perkerasan jalan.

2.2.2 Road Map Penelitian

Peta jalan penelitian dan pengembangan teknologi NDT berbasis seismik sebagai teknologi pengujian perkerasan jalan yang ramah lingkungan, ekonomi, inovatif dan berkelanjutan diberikan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Peta jalan penelitian dan pengembangan teknologi NDT berbasis perambatan gelombang seismik

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT

3.1 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem dan instrumentasi teknologi berbasis gelombang permukaan untuk menentukan daya dukung lapisan tanah dasar perkerasan jalan dengan sifat pengujian yang tidak merusak, efisien dan dapat menjawab permasalahan pemeliharaan jaringan jalan tentang monitoring nilai struktural jalan yang berkelanjutan. Penelitian ini terfokus pada pembangunan sistem dan instrumentasi *Portable Surface Waves Analysis* (PSWA) sebagai alat uji di laboratorium dan lapangan untuk menghasilkan nilai daya dukung tanah berbasis kecepatan gelombang seismik.

Tujuan khusus penelitian ini untuk setiap tahapan penelitian ini dijelaskan secara terperinci sebagai berikut:

1. mengkaji perilaku cepat rambat gelombang seismik pada tanah dengan variasi kepadatan-daya dukung tanah yang berbeda di laboratorium.
2. membangun sistem dan instrumentasi alat pengukur cepat rambat gelombang seismik laboratorium.
3. membangun model analitik-empirik cepat rambat gelombang seismik dan daya dukung tanah.

3.2 MANFAAT PENELITIAN

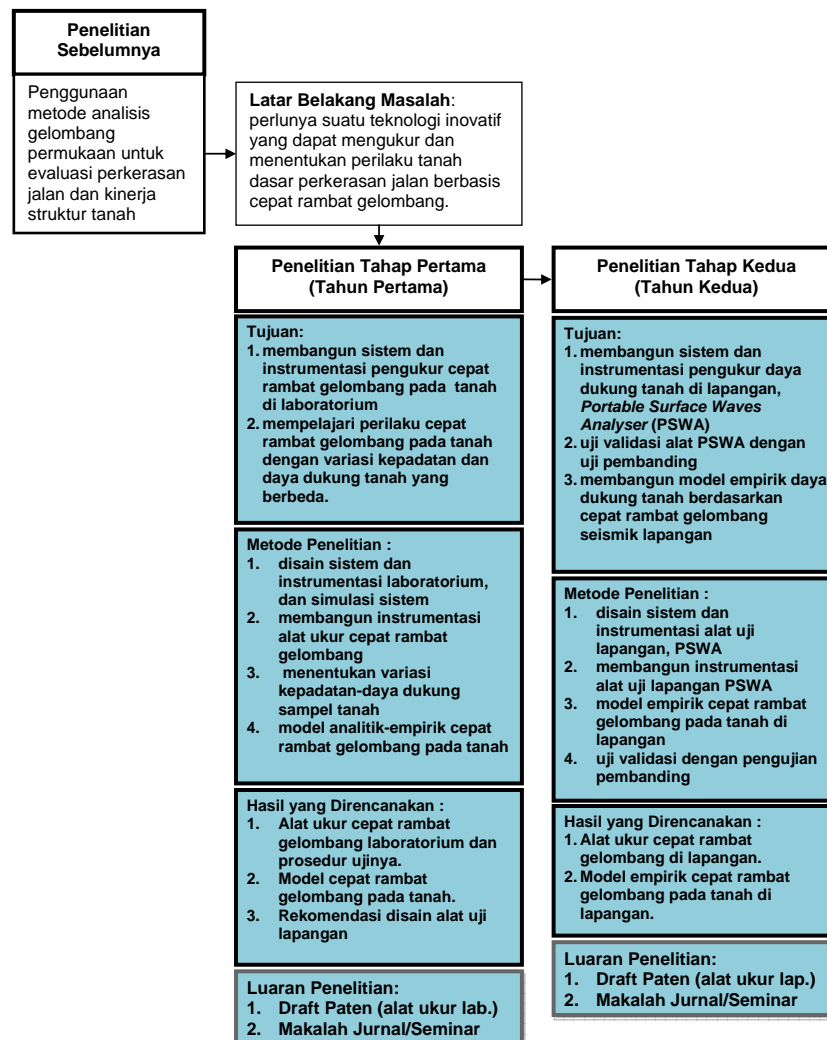
Dari penelitian ini, adalah menghasilkan teknik dan instrumen evaluator NDT (non destructive testing) baru berupa teknik PSWA yang dapat diterapkan secara langsung untuk proses evaluasi struktur perkerasan jalan di Indonesia khususnya oleh pihak pemerintah dalam hal ini Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum yang bertanggung jawab untuk jaringan jalan nasional dan Pemerintah Daerah yang memiliki otoritas pengembangan dan pemeliharaan jalan propinsi dan kabupaten. Mengingat aspek ekonomis dan pengadaan peralatannya yang lebih mudah (karena dibuat sendiri) dan memiliki keakuratan

yang lebih baik untuk pengujian lapangan, teknik ini diharapkan juga dapat menjadi alternatif metode evaluasi perkerasan jalan selain penggunaan FWD untuk memenuhi kebutuhan pemeliharaan jaringan jalan di Indonesia.

BAB IV

METODE PENELITIAN

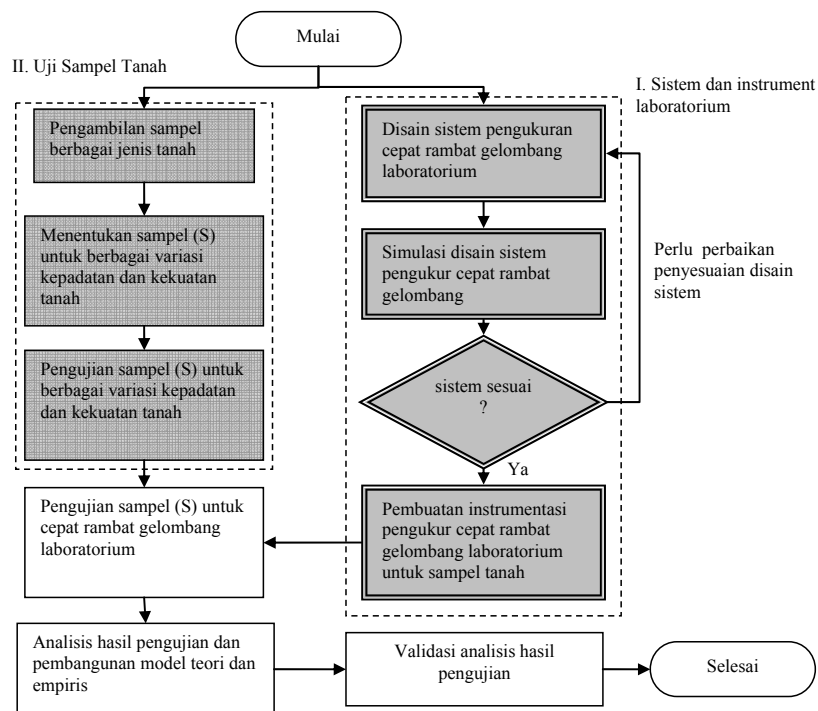
Untuk menjalankan penelitian ini digunakan dua tahapan utama dalam kerangka penelitian global yang disesuaikan menurut penyusunan periodisasi penelitian selama dua tahun, yaitu tahap pertama pembangunan sistem pengukur cepat rambat gelombang “Portable Surface Waves Analyser (PSWA)”. Secara terperinci, uraian kedua tahapan utama penelitian dijelaskan berikut ini dan bagan alir kerangka (metode) penelitian secara global diberikan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Kerangka global penelitian yang diusulkan

Dalam Gambar 4.1 dijelaskan secara umum kerangka penelitian multi-tahun yang diusulkan. Penelitian disusun dalam dua tahapan utama sesuai dengan keluaran (*output*) dan periodisasi penelitian. Masing-masing tahapan utama terdiri dari berbagai kegiatan dan metodologi yang saling terkait dan mengarah pada hasil akhir penelitian.

Pada tahun pertama, telah dicapai beberapa target penelitian dengan menggunakan metode penelitian seperti dijelaskan berikut ini. Dalam tahap ini, suatu sistem dan instrumentasi pengukur cepat rambat gelombang seismik di laboratorium akan dibangun. Gambar 4.2 menunjukkan bagan alir tahap penelitian pada tahun pertama.



Gambar 4.2. Bagan alir tahap penelitian tahun pertama: pembangunan sistem dan instrumen pengukur cepat rambat gelombang di laboratorium

4.1 TAHAP PEMBANGUNAN SISTEM PENGUKUR CEPAT RAMBAT GELOMBANG LABORATORIUM

Bagian pertama dari tahap penelitian tersebut adalah menyusun algoritma, pemrograman dan sistem instrument yang digunakan untuk membangun sistem dan instrumentasi pengukur cepat rambat gelombang tanah di laboratorium. Sistem yang dibangun menggunakan konsep “analisis analog-digital data” gelombang seismik berbasis algoritma transformasi Fourier.

Basis algoritma Fourier yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan hasil rekomendasi penelitian Rosyidi dkk. (2009). Sistem disimulasikan dalam sebuah simulasi komputer bagi memastikan sistem instrumen dapat bekerja dengan baik dan menghasilkan hasil analisis data yang optimal. Keluaran bagian ini adalah suatu sistem pengukur cepat rambat gelombang di laboratorium untuk sampel tanah.

4.2 TAHAP PENYIAPAN SAMPEL UJI

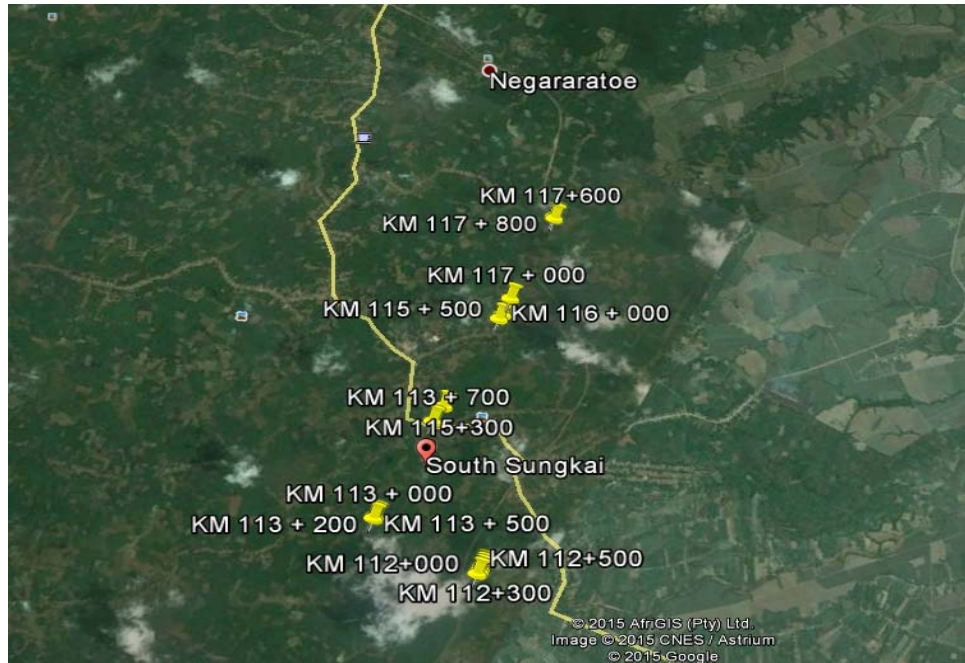
4.2.1 Penyiapan Sampel Tanah

Jenis tanah untuk sampel pengujian akan diambil dari jenis tanah lunak lempung yang diambil dari Lampung. Sebelumnya, pengujian dasar tanah (sifat fisik, indeks plastisitas) dan pengujian mekanis (pemadatan, kuat tekan bebas, CBR) akan dijalankan pada jenis tanah tersebut. Selanjutnya, sampel tanah dari kelima jenis tanah dengan berbagai variasi kepadatan (lima variasi kepadatan pada setiap jenis tanah) dan daya dukung tanah (CBR dan nilai tekan bebas, parameter c dan ϕ) akan disiapkan untuk digunakan sebagai sampel pengujian cepat rambat gelombang laboratorium. Sampel tanah (S) akan dibuat dengan ukuran sampel uji CBR laboratorium. Prosedur pengujian tanah dalam penelitian ini merujuk kepada SNI dan ASTM.

1) Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi pengambilan sampel tanah di Desa Ketapang, Kecamatan Sungkai Selatan, Kabupaten Lampung Utara. Gambar 4.3 merupakan lokasi pengambilan sampel dari Km.112 sampai Km.120 yaitu daerah yang mengalami penurunan

(*settlement*) pada struktur jalan akibat karakteristik lempung lunak pada tanah residu.



Gambar 4.3. Lokasi pengambilan sampel tanah

2) Metode Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah terusik (*disturb*) dan sampel tanah tak terusik (*undisturb*). Sampel tanah terusik diambil pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah, dengan cara digali menggunakan cangkul. Untuk sampel tanah tak terusik diambil pada kedalaman 0,5 – 1,5 m dari permukaan tanah. Pengambilan sampel tanah tak terusik menggunakan tabung sampel yaitu berupa tabung baja dan paralon, dengan cara ditumbuk menggunakan penumbuk sampai tabung sampel terisi penuh oleh sampel tanah. Kemudian, tabung sampel tanah dikeluarkan dengan cara ditarik secara manual. Pada kedua ujung tabung sampel dibersihkan dan ditutup lilin untuk menjaga kelembaban udara. Tahap terakhir yaitu memberi label pada tabung sampel yang berupa nomor *boring*, kedalaman dan lokasi pengambilan sampel tanah. Proses pengambilan sampel tanah tak terusik dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Proses pengeboran pengambilan sampel tanah tak terusik

4.2.2 Pengujian Dasar Sampel Tanah

Setelah mendapatkan contoh tanah residu, kemudian tanah dijemur untuk mendapatkan kondisi kering udara. Setelah itu dilakukan pengujian-pengujian awal pada tanah asli, meliputi :

1) Uji kadar air (ASTM D 2216 – 10)

Proses pengujian kadar air berdasarkan ASTM D 2216 – 10 dengan tujuan untuk menentukan kadar air tanah.

2) Uji berat jenis (ASTM D 854 – 06)

Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis butiran tanah (G_s). Proses pengujian berdasarkan ASTM D 854 – 06.

3) Analisis butiran (ASTM D 6913 - 04)

Analisis saringan

Bertujuan untuk mengetahui gradasi pembagian butiran dari sampel tanah berbutir kasar, mengklasifikasikan tanah dan menentukan koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c).

Analisis hidrometer

Bertujuan untuk menentukan pembagian butiran tanah yang lolos saringan nomor 200 dan menggambarkan kurva gradasinya.

4) Batas *Atterberg*

Batas cair (ASTM D 4318 - 10)

Pemeriksaan batas cair (LL) bertujuan untuk menentukan kadar air suatu sampel tanah dalam keadaan batas cair.

Batas plastis (ASTM D 4318 - 10)

Pengujian batas plastis (PL) bertujuan untuk menentukan kadar air suatu tanah dalam keadaan batas plastis. Hasil dari pemeriksaan batas cair dan batas plastis digabungkan untuk menghitung indeks plastisitas (PI). PI merupakan perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah.

4.2.3 Pengujian Mekanik Sampel Tanah

Pengujian mekanik tanah yang dilaksanakan pada contoh tanah residu antara lain:

- 1) Uji pemadatan *standard proctor* (ASTM D 698 - 12)
 - o Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan harga berat volume kering maksimum dan harga kadar air optimum dari contoh tanah dengan energi tertentu. Adapun beberapa istilah dalam pemadatan di laboratorium adalah :
 - i. Kadar air optimum (*optimum moisture content* – OMC) yaitu kadar air dari suatu contoh tanah, yang jika dipadatkan dengan energi pemadatan tertentu akan menghasilkan nilai kepadatan maksimum ($\gamma_{\text{dry maks}}$).
 - ii. Kepadatan kering maksimum (*maximum dry density* - $\gamma_{\text{dry maks}}$) yaitu kepadatan kering yang dipadatkan, jika suatu contoh tanah dengan kadar air optimum dipadatkan dengan energi tertentu.
 - iii. Pemadatan relatif (*relative compaction*) yaitu persentase perbandingan antara γ_{dry} yang dicapai di lapangan terhadap $\gamma_{\text{dry maks}}$ yang didapat dari percobaan di laboratorium.
 - iv. Garis kejenuhan (*saturation / zero air void line* – ZAVL) yaitu garis yang menunjukkan hubungan antara γ_{dry} dan kadar air (w) untuk tanah dalam keadaan jenuh.

- o Peralatan
 - i. Alat kompaksi: *mould* dengan diameter 4” (5 cm) dan tinggi 4,6” (10 cm) dan *hammer* dengan berat 5,5 lbs (2,5 kg) dan tinggi jatuh 12” (30,5 cm).
 - ii. *Sprayer* untuk menyeprot air ketanah.
 - iii. Saringan nomor 4
 - iv. *Oven*, *desicator*, dan cawan.
 - v. Sendok perata, kertas, kantong plastik.
 - vi. Pisau *scoop*, palu karet.
 - vii. Neraca
- o Prosedur pengujian
 - i. Persiapan
 - a) Menyediakan contoh tanah \pm 50 kg yang diambil dari lapangan (bersih dari akar dan kotoran).
 - b) Tanah dijemur sampai kering udara (*air drained*).
 - c) Kemudian tanah diayak dan disaring dengan saringan nomor 4, masing-masing ditimbang 2 kg gram untuk 6 buah sampel.
 - d) Estimasi kadar air optimum (OMC) dengan menggunakan grafik yang berdasarkan nilai LL dan PL.
 - e) Menghitung kadar air awal masing-masing contoh sampel.
 - f) Mencampur tanah lolos saringan nomor 4 dengan air sebanyak 100 ml, 200 ml, 300 ml, 400 ml, 500 ml dan 600 ml, aduk sampai merata.
 - g) Campuran tanah dengan air kemudian dimasukkan ke dalam plastik selama 24 jam supaya benar-benar merata.
 - h) Menyiapkan alat percobaan.
 - ii. Pelaksanaan pemadatan
 - a) Mempersiapkan contoh tanah yang telah dicampur dan diperam selama 24 jam.
 - b) Menimbang berat *mould*.
 - c) Mengolesi *mould* dengan pelumas, kemudian contoh tanah pertama dimasukkan. Contoh tanah diatur sampai tiga lapisan, masing-masing

ditumbuk 25 kali merata diatas tiap-tiap lapisan dengan penumbuk standar (berat 5,5 lbs) dan tinggi jatuhnya 1 ft didalam mould 4 inch yang telah dipasang. Setelah contoh dalam *mould* padat, pengikat dibuka dan permukaannya diratakan dengan pisau perata.

- d) Menimbang *mould* beserta isinya, yaitu tanah yang telah dipadatkan.
- e) Contoh tanah kemudian diambil sedikit pada bagian atas, tengah dan bawah, kemudian dimasukkan kedalam cawan untuk diuji kadar airnya.
- f) Menimbang contoh tanah + cawan dengan neraca, kemudian dimasukkan ke dalam *oven* selama 24 jam.
- g) Setelah 24 jam cawan ditimbang lagi sehingga diperoleh kadar airnya.
- h) Mengolah data hasil pengujian.

2) Uji kuat tekan bebas (ASTM D 2166-06)

- o Metoda pengujian ini meliputi penentuan nilai kuat tekan bebas (q_u) untuk tanah kohesif, dari benda uji asli (*undisturbed*) maupun buatan (*remoulded*). Kuat tekan bebas (q_u) ialah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan (beban maksimum) atau bila regangan aksial telah mencapai 20 %.
- o Peralatan
 - i. Alat tekan bebas (*Unconfined Compressive Machine*).
 - ii. Alat pencetak sampel berbentuk silinder.
 - iii. Pisau tipis dan tajam
- o Proses pengujian
 - i. Menyiapkan contoh tanah yang lolos saringan No. 4 seberat 257,22 gram dan air 102 ml (Berat tanah kering dan air didapat dari hasil pengujian pemadatan *standard proctor* dalam kondisi optimum basah).
 - ii. Tanah kering dan air dicampur sampai merata dan homogen.
 - iii. Campuran tanah kering dan air dimasukkan seluruhnya ke dalam silinder, kemudian dipadatkan dengan cara ditekan.

- iv. Kemudian, benda uji yang telah dicetak dikeluarkan dari silinder belah, diukur dimensinya, ditimbang beratnya, dan dicatat.
- v. Benda uji ditempatkan pada alat tekan, berdiri vertikal dan simetris pada dasar alat.
- vi. Alat tekan diatur, sehingga pelat atas menyentuh benda uji.
- vii. Mengatur arloji ukur pada cincin beban dan arloji ukur regangan pada pembacaan nol.
- viii. Kecepatan alat beban diatur 0,5 – 2 % terhadap tinggi benda uji per menitnya. Kecepatan ini diperkirakan, sehingga keruntuhan benda uji tidak melampaui 15 menit. Mencatat pembacaan arloji ukur beban dan arloji ukur regangan setiap 30 detik.
- ix. Pembebanan dihentikan apabila tampak beban yang bekerja telah mengalami penurunan. Apabila beban yang bekerja tidak mengalami penurunan, maka pembebanan sampai regangan/pemendekan benda uji mencapai 20 % dari tinggi benda uji.
- x. Kemudian periksa kadar air setelah dilakukan pengujian.
- xi. Pengolahan data hasil pengujian.

3) Pengujian Oedometer

- o Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 2435-11. Mengingat tanah yang diuji merupakan tanah residu yang memiliki mineral lempung, maka 1 hari untuk 1 beban diasumsikan penurunan konsolidasi sudah mencapai 90% atau sudah selesai.
- o Pada penelitian ini hanya menggunakan 1 sampel tanah yang mengalami kerusakan paling parah di lapangan. Beban yang digunakan adalah 0,5; 1; 2; 4, dan 8 kg dengan interval waktu yang digunakan adalah 0; 5,40; 15; 29,40 detik, dan 1; 2,25; 4; 6,25; 9; 12,25; 16; 25; 36; 49; 64; 81; 100; 121; 144; 225; 400; 1440 menit.
- o Persiapan benda uji
 - i. Membersihkan lilin yang terdapat di bagian atas dan bawah tabung secara perlahan sehingga kondisi tanah tetap tidak terganggu.

- ii. Membersihkan dan menimbang ring oedometer dengan ketelitian 0,01 gram dan mengoleskan ring dengan oli, setelah itu memasukkan ring ke dalam tabung sampel.
 - iii. Permukaan benda uji harus benar-benar rata dan tanah masuk ke dalam ring dengan sempurna.
 - iv. Menimbang benda uji yang sudah siap digunakan untuk pengujian konsolidasi.
- o Pengujian
- i. Memeriksa alat-alat dan lengan beban telah seimbang, serta memeriksa batu pori bersih dan tidak tersumbat.
 - ii. Meletakkan berturut-turut dalam oedometer : batu pori bawah, cincin yang telah berisi benda uji, dan plat perata beban.
 - iii. Menempatkan sel konsolidasi yang sudah berisi benda uji pada tempatnya pada rangka pembebanan.
 - iv. Mengatur alat penekan bebas di atas benda uji dan arloji pengukur penurunan pada pembacaan angka nol.
 - v. Mengisi sel oedometer dengan air selama 24 jam supaya tanah dalam keadaan kenyang air. Selama percobaan benda uji selalu terendam air, dengan muka air kira-kira sama tinggi dengan permukaan atas benda uji.
 - vi. Menurunkan sekrup pengatur lengan beban, sehingga beban mulai bekerja di atas sampel tanah kemudian menyalakan stopwatch.
 - vii. Membaca dan mencatat arloji penurunan pada waktu yang ditentukan.
 - viii. Setelah pembacaan 24 jam, tambahkan beban. Membiarkan beban bekerja 24 jam dan mengamati penurunan arloji pengukur pada waktu yang ditentukan.
 - ix. Setelah beban maksimum, beban dikurangi secara bertahap berturut-turut dengan urutan kebalikan penambahan beban. Mencatat pembacaan arloji seperti tadi.
 - x. Setelah pelaksanaan pembebanan selesai dilakukan, mengeluarkan sampel tanah tadi dari oedometer. menimbang dan mencatat berat benda uji

kemudian keringkan dalam oven. Setelah kering, timbang lagi untuk mengetahui berat butir-butir tanah.

4.3 TAHAP SISTEM DAN ANALISIS DATA SEISMIK

4.3.1 Disain Sistem dan Instrumen Pengukur Cepat Rambat Gelombang Laboratorium

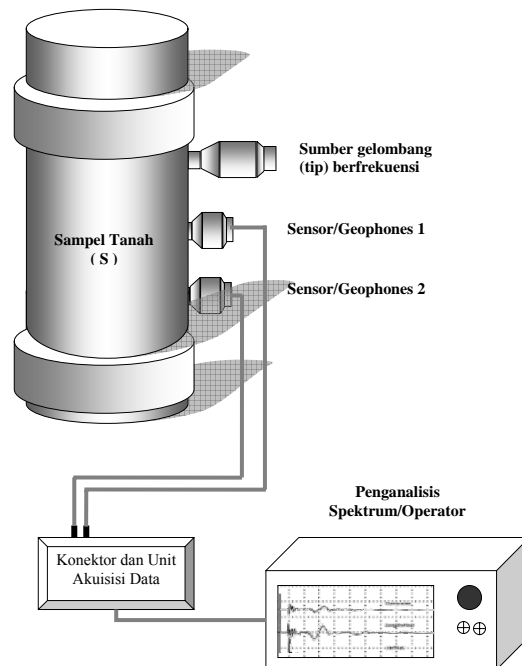
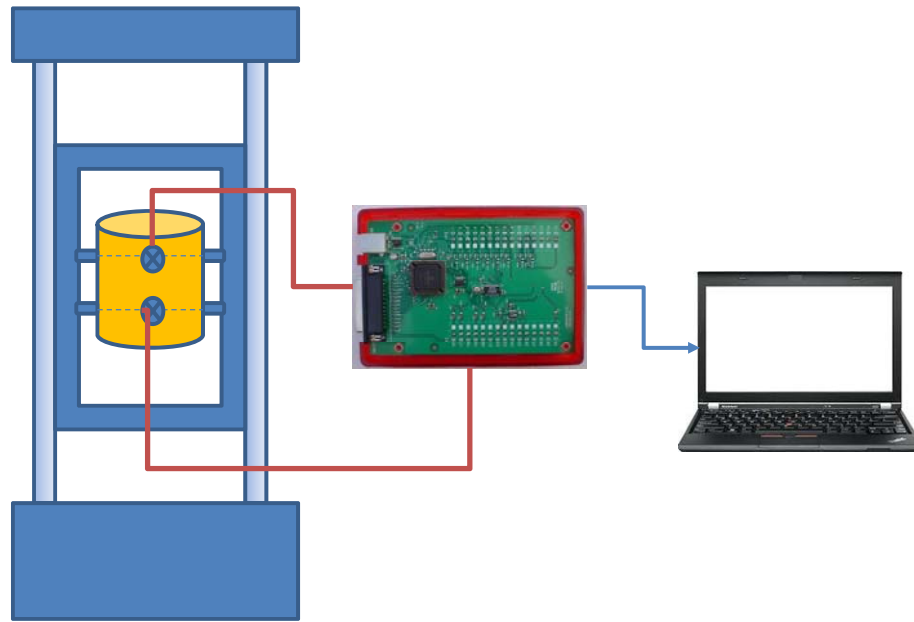
Saat ini, alat uji pengukur cepat rambat gelombang pada sampel tanah di laboratorium belum ada yang bersifat *direct measurement* (pengukuran langsung). Dalam penelitian ini, dibangun suatu sistem dan instrumen pengukur cepat rambat gelombang seismik pada sampel tanah (sel tanah) secara langsung. Sistem instrumentasi terdiri dari komponen (Gambar 4.5): (1). pencatat rambat gelombang menggunakan geofon, (2). sumber gelombang berfrekuensi sedang hingga tinggi yang dilengkapi dengan akselerometer, (3) unit akuisisi data dan (4). penganalisis spektrum yang didalamnya akan dibangun sistem analisis data seismik.

Disain sistem dan instrument alat ini dirancang untuk dapat mengukur cepat rambat gelombang pada sampel tanah di laboratorium dengan berbagai variasi parameter tanahnya.

4.3.2 Prosedur Analisis Data

Prosedur pengukuran gelombang seismik dijelaskan dalam langkah-langkah berikut ini.

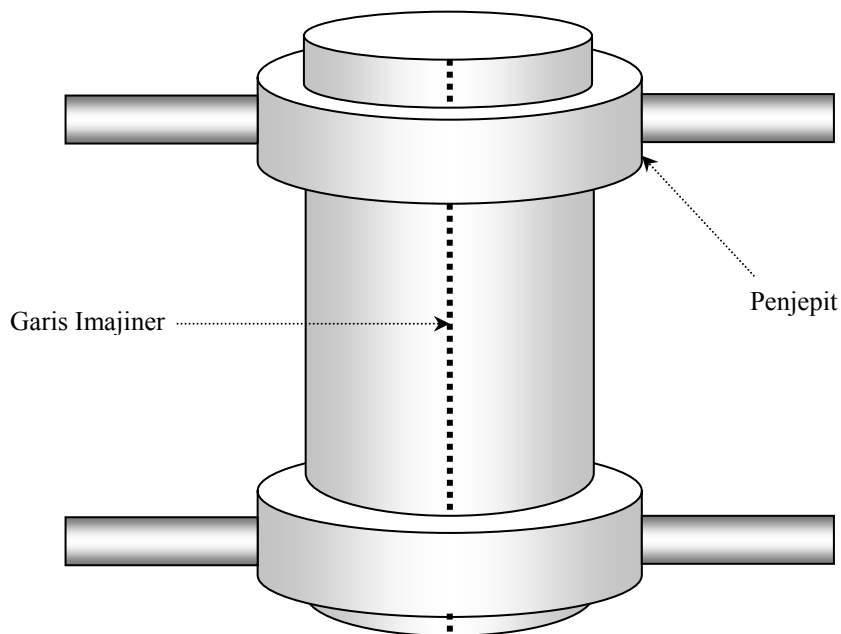
1. Sampel tanah uji dipersiapkan dengan melakukan pemadatan kepada tanah lepas pada sampel uji pada mold (cetakan silinder benda uji) yang telah dipersiapkan. Pemadatan dilakukan dengan mengikuti prosedur penyiapan sampel untuk pemadatan dengan pemadat (penumbuk) standar atau modifikasi sesuai dengan rancangan kepadatan.



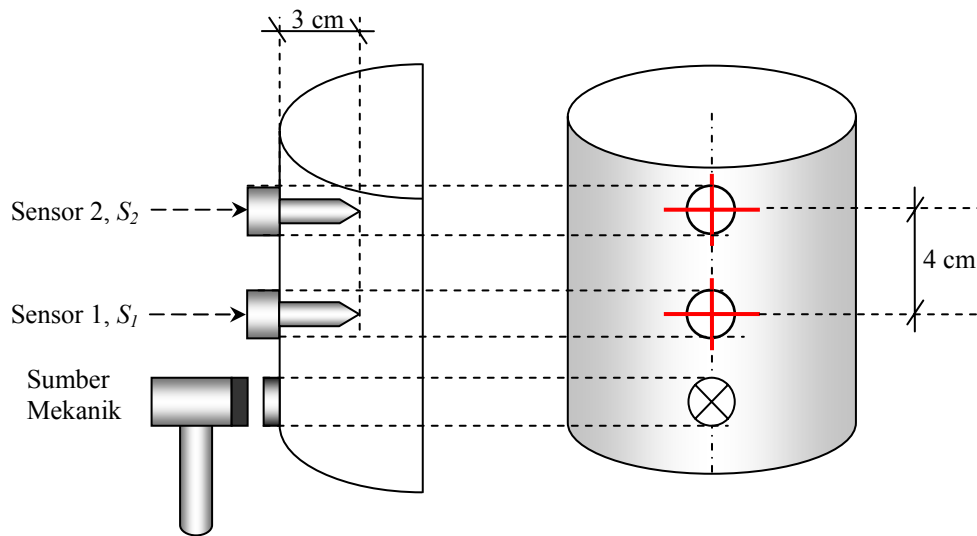
Gambar 4.5. Disain sistem instrumentasi multi-sensor laboratorium untuk investigasi cepat rambat gelombang seismik pada sampel tanah padat (S_p) di laboratorium

2. Tanah uji dilepaskan dari cetakan benda uji, selanjutnya ditimbang untuk mendapatkan berat tanah basah (w_1).

3. Benda uji selanjutnya diukur tinggi benda uji dan diameternya untuk mendapatkan volume tanah (V).
4. Benda uji diletakkan pada kedudukan alat uji dan diikat pada posisi penjepit (Gambar 4.6).
5. Ditentukan garis imajiner pada tinggi sampel uji, untuk meletakkan kedudukan dua sensor penerima sebagai sensor pertama (S_1) dan sensor kedua (S_2).
6. Kedua sensor dimasukkan (ditusukkan) ke dalam sampel uji hingga kedalaman 3 cm sesuai dengan dudukan paku pada sensor yang telah diberikan tanda batas.
7. Kedudukan sensor S_1 dan S_2 diletakkan sejajar pada garis imajiner dengan jarak yang telah ditentukan sebesar 4 cm (Gambar 4.7).
8. Kedudukan sumber gelombang ditentukan sama dengan jarak sensor 4 cm.



Gambar 4.6. Sel benda uji pada alat laboratorium



Gambar 4.7. Konfigurasi pengukuran pada sampel uji

9. Kedua sensor disambung pada alat analog digital converter (ADC) untuk merekam data rambatan gelombang seismik. ADC disambungkan pada unit komputer untuk pengoperasian perekaman dan penyimpanan data (Gambar 4.5).
10. Gelombang seismik dihasilkan dari ketukan sumber gelombang mekanik, berupa palu pukul mekanik dengan ukuran diameter 2 cm.
11. Dilakukan pengujian gelombang berulang-ulang untuk mendapatkan pola data yang konsisten.
12. Pengujian dapat diulangi untuk sisi benda uji lainnya.
13. Data direkam pada alat ADC dan dianalisis menggunakan metode beda waktu rambat (*time different method*) untuk mendapatkan cepat rambat gelombang seismik.

4.3.3 Metode Analisis

Nilai cepat rambat gelombang pada variasi tanah dengan kepadatan dan daya dukung berbeda dianalisis menggunakan konsep persamaan dasar berikut ini. Nilai rentang frekuensi gelombang seismik yang merambat perlu dikelompokkan

dalam kecepatan fase prediksi dalam spektrum fungsi transfer untuk setiap karakteristik tanah. Nilai rentang frekuensi diperoleh menggunakan persamaan:

$$A_{12} = \frac{A_{puncak}}{\sqrt{2}} \quad \begin{cases} f_1 = g(A_1) \\ f_2 = g(A_2) \end{cases} \quad (4.1)$$

dengan :

A_{puncak} = Nilai amplitudo maksimum pada suatu spektrum auto

f_1 = Nilai frekuensi respon minimum dari fungsi amplitudo pada suatu rentang

f_2 = Nilai frekuensi respon maksimum dari fungsi amplitudo pada suatu rentang

Metode analisis kecepatan rambat gelombang dilakukan dengan metode beda waktu rambat (time different method) yang mana metode ini menggunakan puncak amplitudo gelombang permukaan yang pertama kali direkam pada sensor sebagai acuan. Beda waktu kedatangan puncak gelombang pertama akan ditentukan sebagai gap waktu ($t_2 - t_1$). Selanjutnya kecepatan gelombang (V) dapat ditentukan menggunakan hubungan jarak antar sensor (d) dan gap waktu dengan persamaan:

$$V = \frac{d}{(t_2 - t_1)} \quad (4.2)$$

Model empirik kecepatan gelombang seismik terhadap kepadatan-daya dukung tanah selanjutnya dibangun berdasarkan hubungan cepat rambat gelombang yang dimodifikasi dengan mempertimbangkan berbagai parameter tanah.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

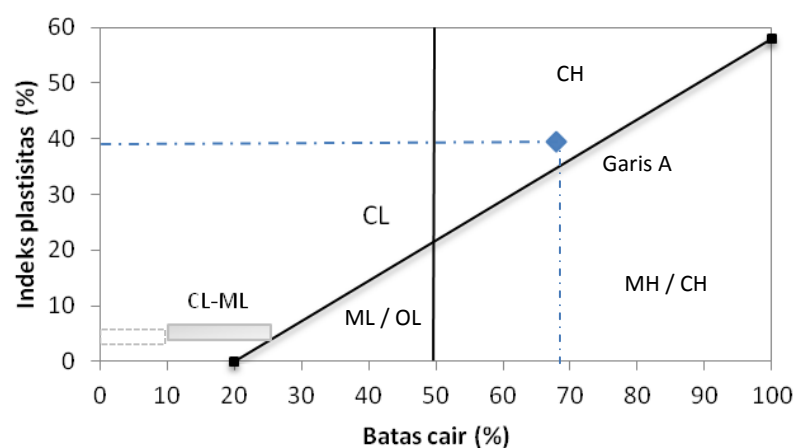
5.1 HASIL PENGUJIAN SAMPEL TANAH

5.1.1. Hasil uji sifat fisik tanah asli

Pada penelitian tanah residu sampel uji, hasil uji sifat fisik tanah asli dapat dilihat pada Tabel 5.1. Dari data hasil uji sifat fisik tanah asli diperoleh klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO bahwa sampel tanah termasuk tanah berlempung (A-7-5), sedangkan menurut USCS termasuk jenis tanah lempung anorganik (CH) dengan plastisitas tinggi (Gambar 5.1).

Tabel 5.1 Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Asli

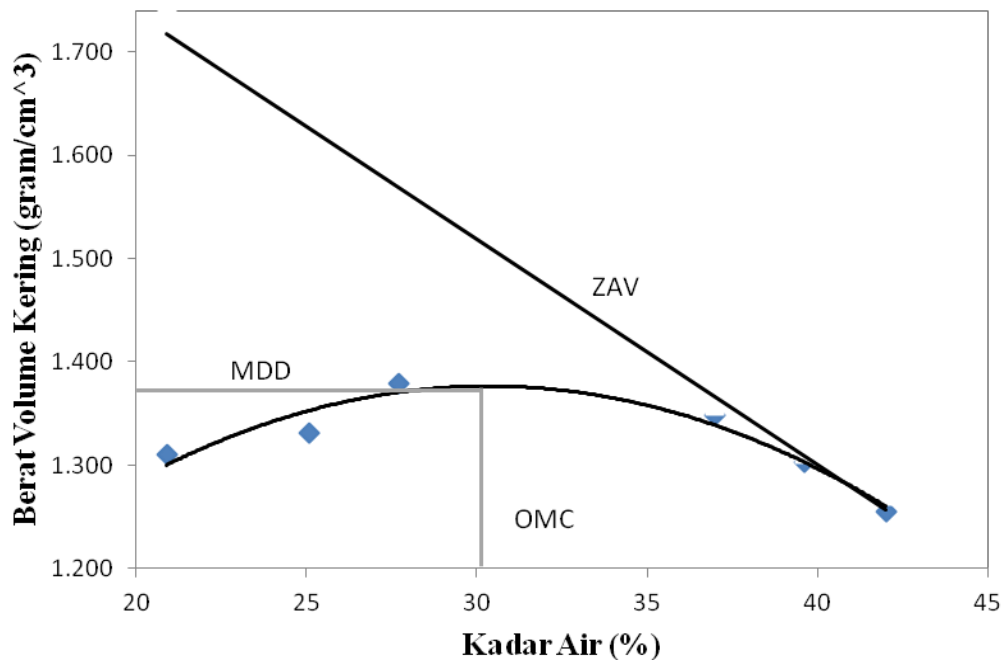
No	Pengujian	Hasil
1	Kadar air (<i>Water content</i>)	45,84 %
2	Berat jenis (<i>Specific gravity</i>)	2,725
3	Batas cair (<i>Liquid limit</i>)	68 %
4	Indeks plastisitas (<i>Plasticity index</i>)	39,50 %
5	Persen lolos saringan No. 200 ASTM	68.35 %



Gambar 5.1. Grafik hubungan batas cair dengan indeks plastisitas

5.1.2. Hasil uji pemadatan standard proctor

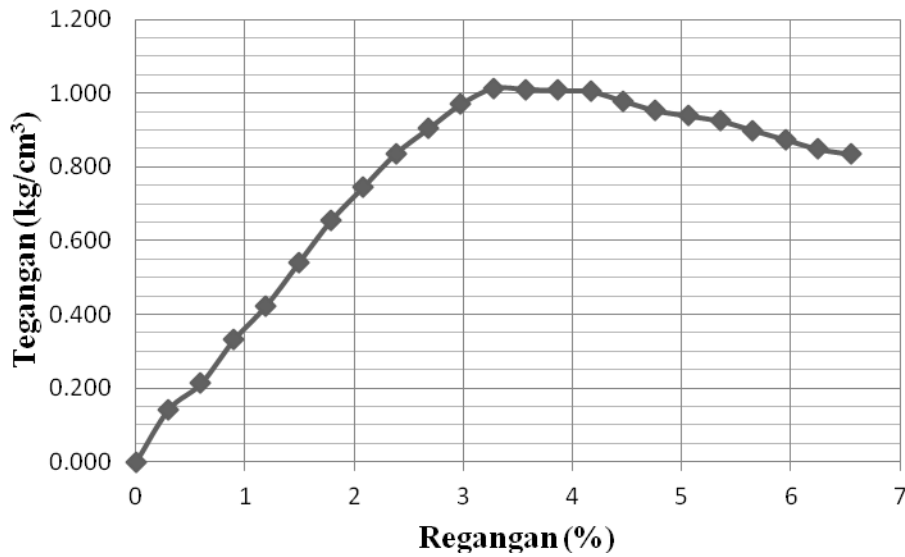
Dari hasil uji pemadatan *standard proctor* didapatkan kadar air optimum sebesar 30 % dan nilai berat volume kering tanah sebesar 1,376 gram/cm³. Grafik uji pemadatan *standard proctor* dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Volume Kering.

5.1.3. Hasil uji kuat tekan bebas tanah asli

Dari hasil uji kuat tekan bebas pada tanah asli didapatkan nilai kuat tekan (q_u) sebesar 1,014 kg/cm³ dengan regangan sebesar 3,27 %. Grafik uji kuat tekan bebas pada tanah asli dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik hubungan tegangan dengan regangan pada tanah asli

5.1.4. Hasil Pengujian Oedometer

Dari pengujian oedometer atau konsolidasi akan diperoleh parameter konsolidasi yang dibutuhkan dalam perhitungan penurunan konsolidasi. Contoh perhitungan untuk memperoleh angka pori awal dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Diketahui data konsolidasi sebagai berikut :

Tinggi ekuivalen bagian padat (H_s) = 0,858 cm

Tinggi benda uji awal (H) = 1,90 cm

maka :

Mencari angka pori awal (beban = 0 kg)

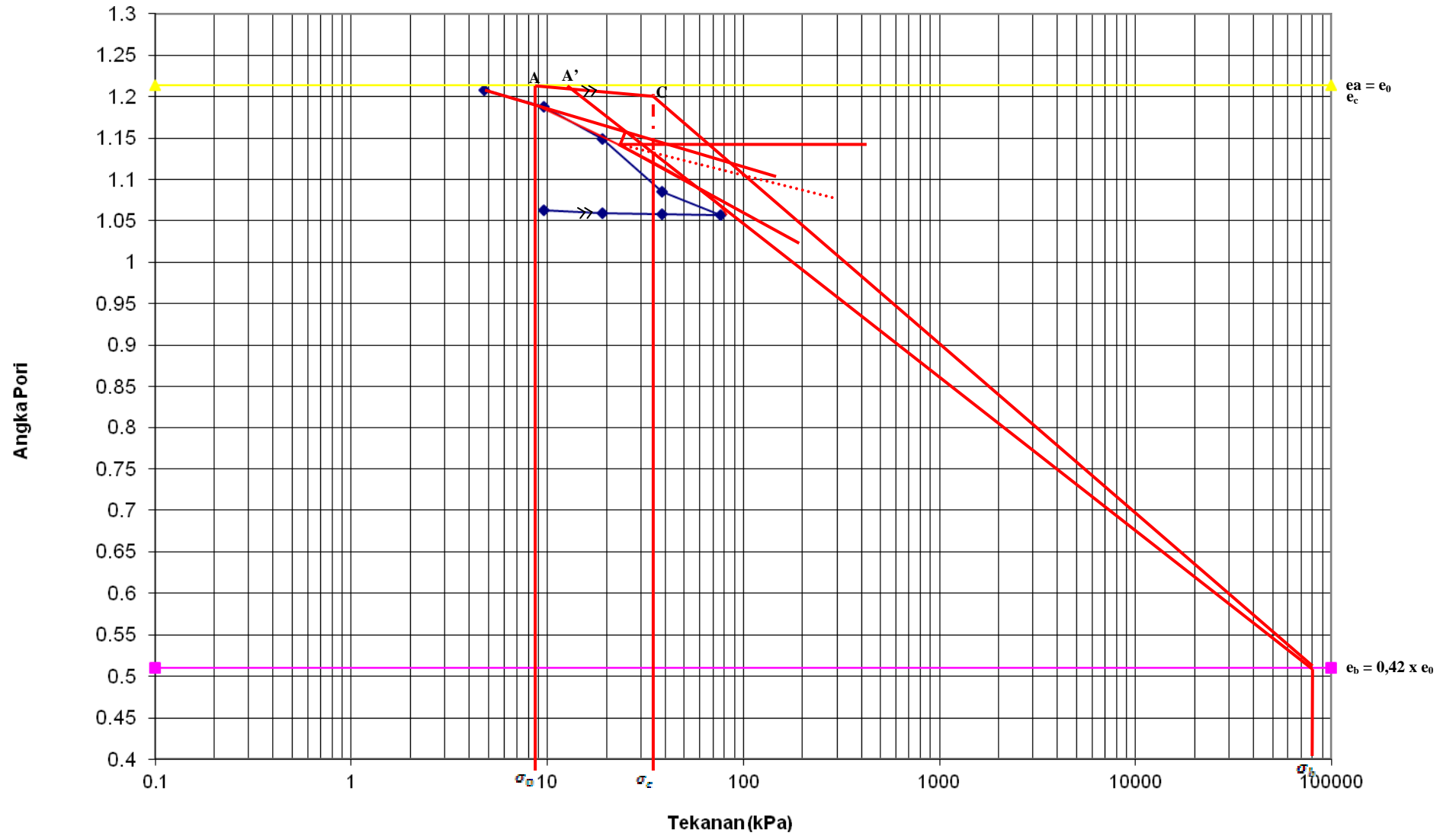
$$\begin{aligned}
 e &= \frac{H - H_s}{H_s} \\
 &= \frac{1,90 - 0,858}{0,858} \\
 &= 1,214
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian oedometer untuk memperoleh angka pori secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Oedometer

Pembebanan (kg)	Tekanan (kPa)	H (cm)	Angka pori
0,00	0,00	1,900	1,214
0,50	4,78	1,895	1,208
1,00	9,57	1,878	1,188
2,00	19,13	1,844	1,149
4,00	38,27	1,789	1,085
8,00	76,53	1,765	1,057
4,00	38,27	1,767	1,058
2,00	19,13	1,767	1,059
1,00	9,57	1,771	1,063

Hasil pengujian oedometer pada Tabel 5.3 diplot ke dalam grafik hubungan tekanan dan angka pori agar didapat parameter konsolidasi, seperti C_c dan C_r yang akan digunakan dalam perhitungan penurunan. Grafik hubungan tekanan dan angka pori dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Tekanan dan Angka Pori

Sebelum membuat grafik hubungan tekanan dan angka pori pada Gambar 5.4, terlebih dahulu harus menghitung tekanan *overburden* (σ_0) yang dialami oleh tanah pada saat pengambilan sampel. Pada penelitian ini, sampel diambil pada kedalaman 50 cm. Perhitungan tekanan *overburden* (σ_0) yang dialami tanah pada saat pengambilan sampel dapat dilihat di bawah ini.

Diketahui :

$$H = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\gamma_d = 12,07 \text{ kN/m}^3$$

$$w_{\text{rata-rata}} = 45,84 \%$$

Maka :

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_d (1 + w) \\ &= 12,07 (1 + 0,4584) \\ &= 17,60 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \gamma \times H \\ &= 17,60 \times 0,5 \\ &= 8,803 \text{ kN/m}^2 = 8,803 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.4 dapat diperoleh nilai C_c , C_r dan OCR. Perhitungan dapat dilihat di bawah ini. Diketahui :

$$e_0 = 1,214$$

$$e_c = 1,200$$

$$e_b = 0,510$$

$$\sigma_0 = 8,803 \text{ kPa}$$

$$\sigma_c = 33,84 \text{ kPa}$$

$$\sigma_b = 80000 \text{ kPa}$$

maka :

$$C_r = \frac{(e_0 - e_c)}{\log \sigma_c - \log \sigma_0} = \frac{(1,214 - 1,200)}{\log 33,84 - \log 8,803} = 0,024$$

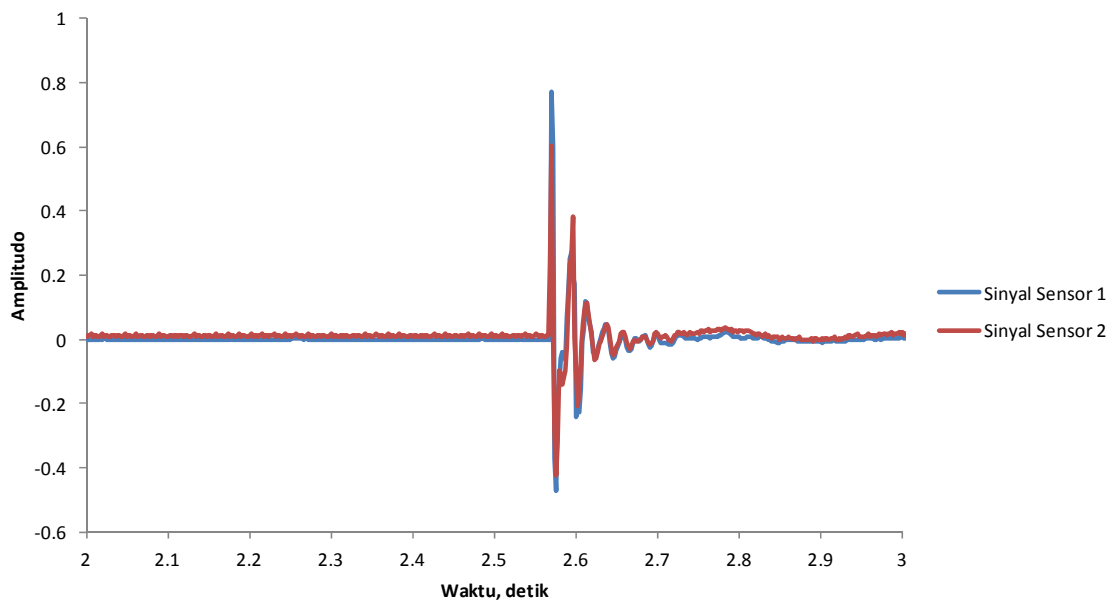
$$C_c = \frac{(e_c - e_b)}{\log \sigma_b - \log \sigma_c} = \frac{(1,200 - 0,510)}{\log 80000 - \log 33,84} = 0,205$$

$$\text{OCR} = \frac{\sigma_c}{\sigma_0} = \frac{33,84}{8,803} = 3,84$$

5.2 RESPON SEISMIK HASIL PENGUKURAN PADA SAMPEL TANAH UJI

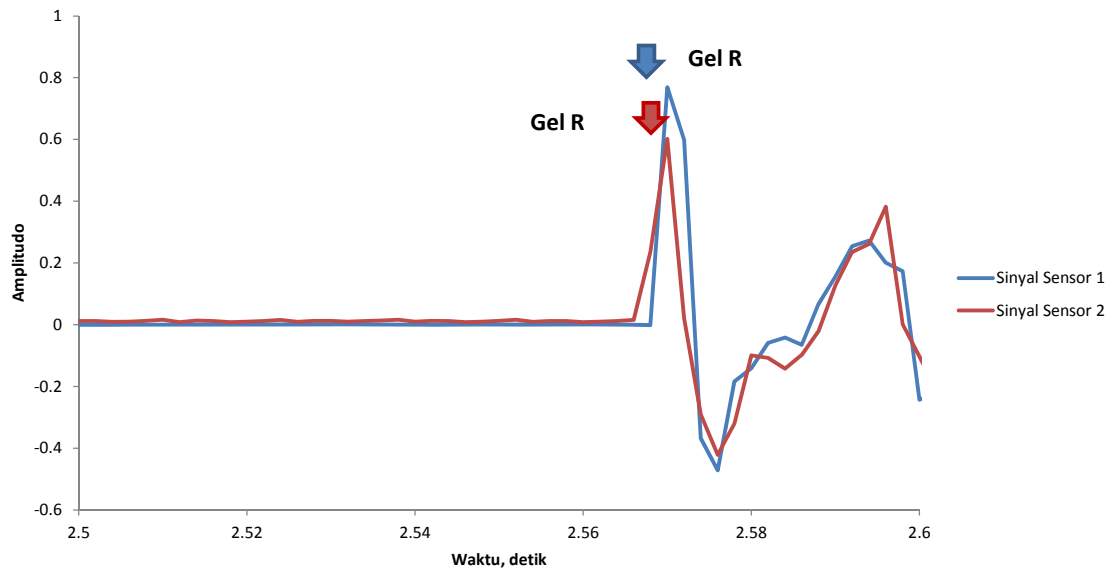
5.2.1 Analisis Waktu dan Frekuensi Gelombang Permukaan

Data seismik dihasilkan dari pengukuran gelombang seismik pada sampel tanah sesuai dengan konfigurasi pengukuran sensor sejajar (KSS) dengan jarak antar sensor dan jarak sensor kepada sumber mekanik adalah sama. Pengukuran dilakukan dari beberapa kali perekaman perambatan gelombang yang dihasilkan oleh sumber gelombang mekanik di atas lapisan sampel dengan menggunakan pemukul mekanik. Gambar 5.5 menunjukkan corak data seismik yang direkam di lapangan.



Gambar 5.5 Pola rekaman data seismik pada sampel tanah pada kadar air 35 %

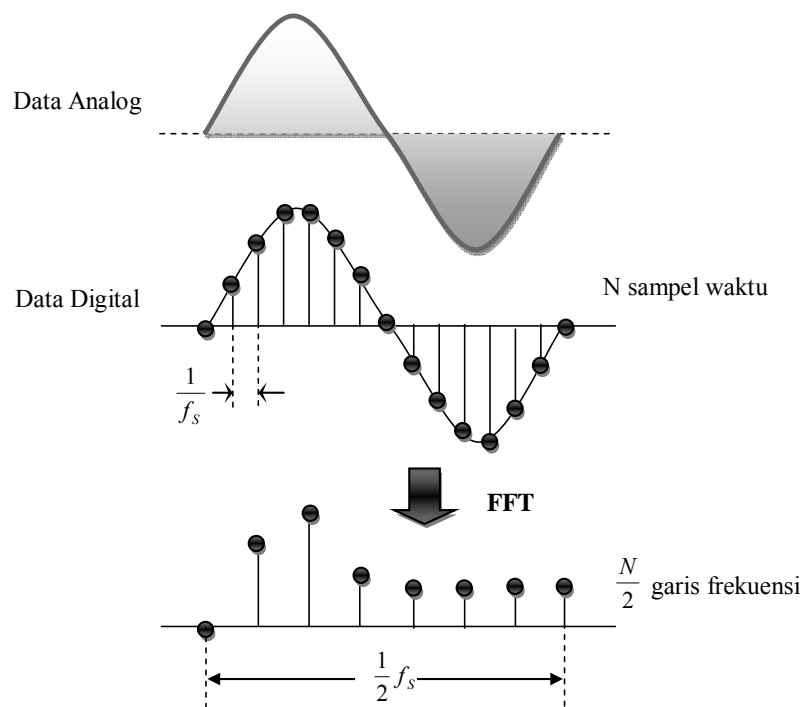
Dari Gambar 5.5 di atas, dapat dilihat bahwa gelombang permukaan Rayleigh mengkontribusikan energi terbesar. Hal ini bisa dideteksi dari amplitudo terbesar yang diterima oleh sensor dari sinyal gelombang. Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.6 berikut ini, yang merupakan hasil pembesaran rekaman gelombang dari Gambar 5.5.



Gambar 5.6 Detil pola rekaman data seismik pada sampel tanah pada kadar air 35 % yang menunjukkan amplitudo gelombang Rayleigh

Analisis selanjutnya yang perlu dilakukan untuk menghasilkan parameter ukur seismik dan parameter dalam domain frekuensi menggunakan analisis Cooley-Tukey atau analisis FFT (*fast Fourier transform*). Dalam analisis ini, data gelombang seismik berdomain waktu dialihkan/ditransformasikan ke dalam domain frekuensi. Tujuan utama analisis ini adalah mendapatkan parameter seismik yang lebih jelas berdomain frekuensi untuk dianalisis guna mendapatkan sifat bahan jalan. Penggunaan analisis frekuensi ini akan meminimalisasi penggunaan algoritma yang kompleks dalam analisis data seismik berdomain waktu.

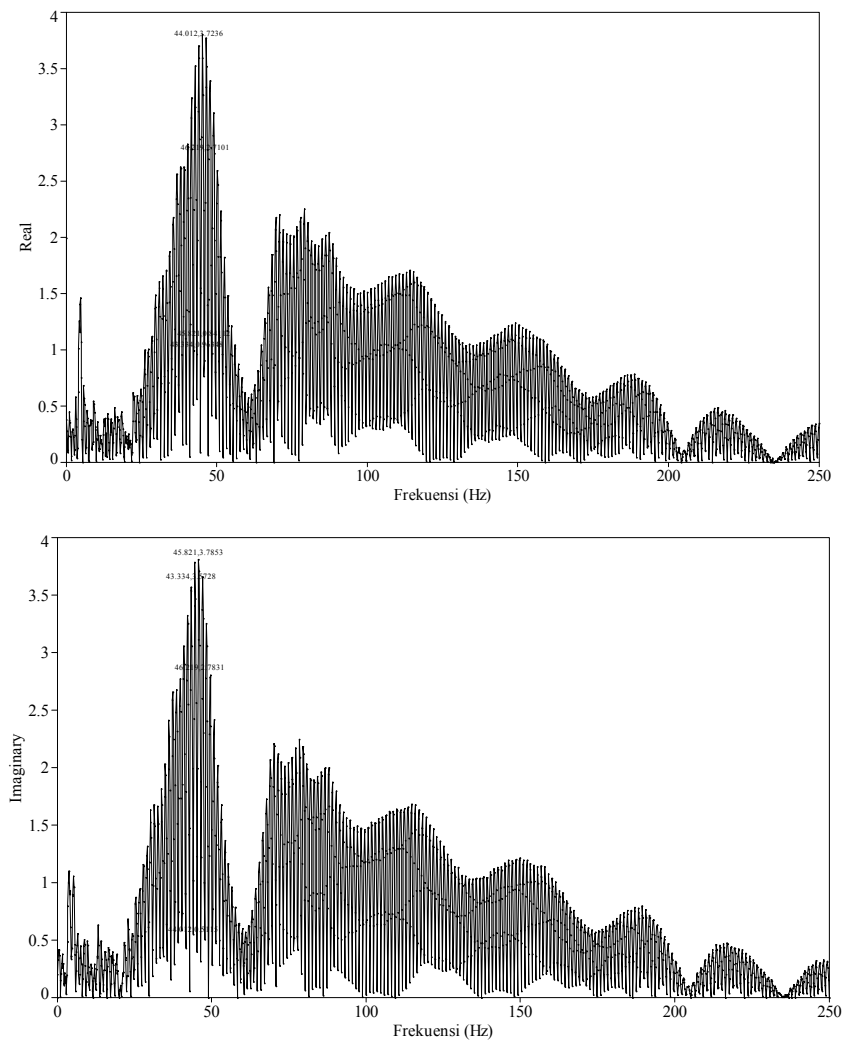
Gambar 5.7 menunjukkan diagram proses sederhana tentang analisis domain waktu ke domain frekuensi menggunakan algoritma Cooley-Tukey atau FFT. Dasar algoritma yang digunakan adalah integral Fourier yang mendiskritkan suatu persamaan menggunakan fungsi dasar sinus dan kosinus. Data analog gelombang yang dihasilkan dari sumber mekanik dikonversikan ke dalam data digital menggunakan ADC atau unit akuisisi. Data blok digital diperlukan oleh algoritma dalam proses FFT untuk merubah domain waktu ke domain frekuensi. Selanjutnya beberapa tampilan spektrum bisa dihasilkan dari spektrum sinyal digital. Proses ini berjalan dalam fungsi linier sehingga aplikasi algoritma tidak kompleks.



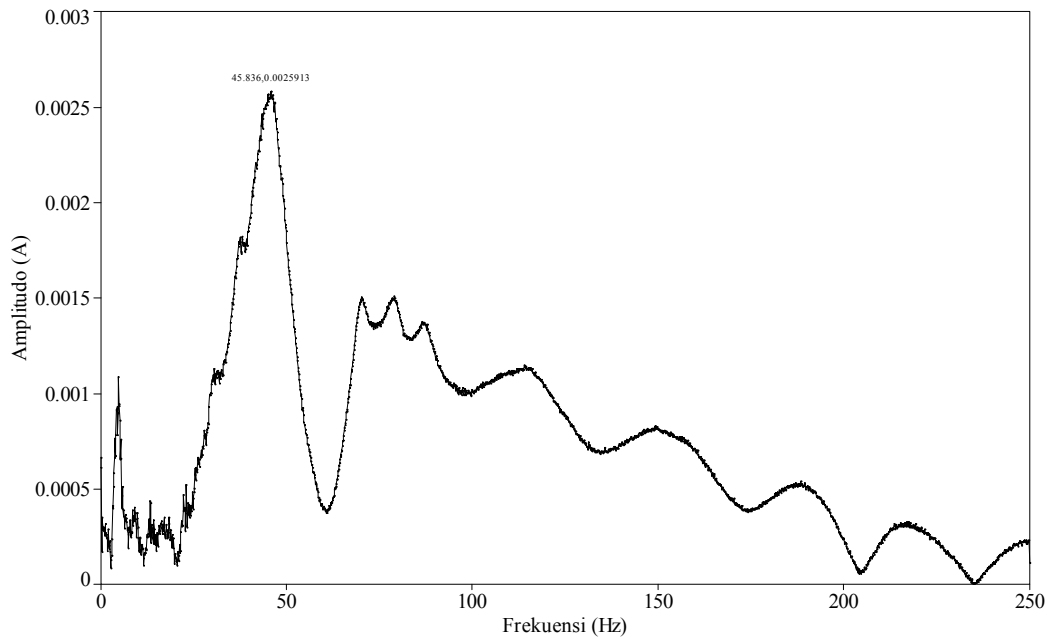
Gambar 5.7 Diagram alir proses FFT untuk tampilan spektrum

Analisis data seismik yang pertama dilakukan untuk mendapatkan respon energi dalam domain frekuensi melalui plot spektrum auto-density. Gambar 5.8 menunjukkan hasil analisis FFT dalam bentuk spektrum real-imaginary dari sinyal Gambar 5.5. Amplitudo gelombang seismik berdomain waktu yang direkam telah ditransformasikan ke bentuk frekuensi. Gambar 5.9 menunjukkan tampilan

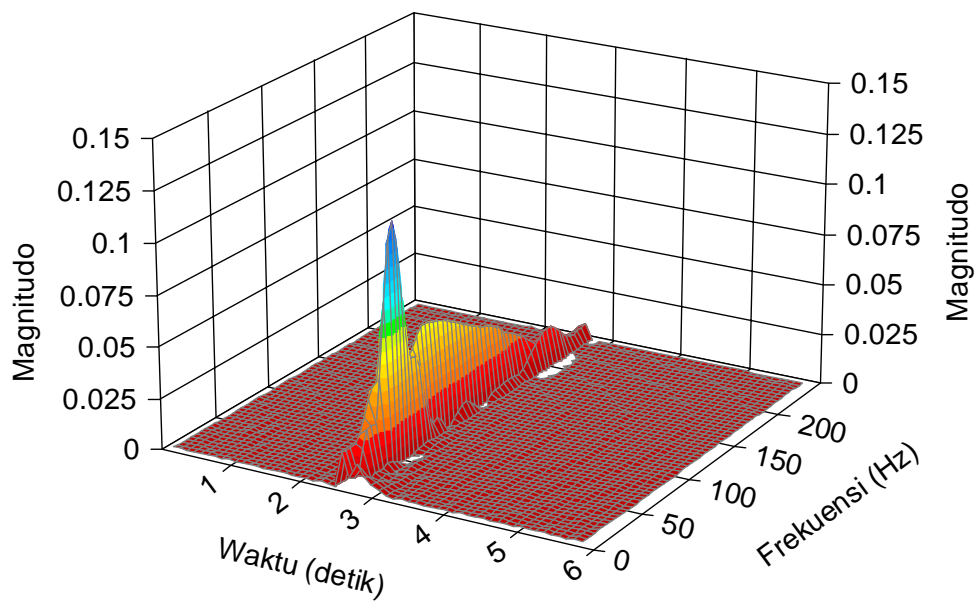
spektrum magnitudo yang menunjukkan besaran energi gelombang seismik terhadap frekuensinya. Dari spektrum magnitudo dapat diperoleh bahwa wilayah frekuensi respon berada pada wilayah 30 hingga 50 Hz dengan puncak amplitudo pada frekuensi 45,84 Hz. Wilayah frekuensi ini sesuai dengan respon frekuensi untuk tanah. Gambar 5.10 memperjelas wilayah frekuensi dominan gelombang seismik yang dianalisis menggunakan STFT – short time fourier transform, dimana plotting domain dan frekuensi dalam tiga dimensi bisa menunjukkan wilayah respon gelombang dengan teliti. Analisis selanjutnya dilakukan untuk keseluruhan data seismik dari seluruh sampel tanah uji.



Gambar 5.8 Tampilan spektrum real-imaginary hasil analisis FFT untuk pengukuran sampel tanah uji pada kadar air 35 %



Gambar 5.9 Tampilan spektrum magnitudo hasil analisis FFT untuk pengukuran sampel tanah uji pada kadar air 35 %



Gambar 5.10 Tampilan spektrum STFT hasil analisis FFT untuk pengukuran sampel tanah uji pada kadar air 35 %

5.2.2 Analisis Kecepatan Rambat Gelombang Permukaan

Kecepatan rambat gelombang permukaan (V_R) dalam penelitian ini dapat ditentukan menggunakan dua metode, yaitu (1). Beda waktu rambat (*time different method*), dan (2). Beda fase (*phase different method*).

1). Beda waktu rambat (*time different method*)

Cepat rambat gelombang R dapat ditentukan dengan mengukur waktu rambatan atau perjalanan gelombang antara dua sensor pada sampel uji. Gambar 5.11 menjelaskan bagaimana metode ini digunakan dan persamaan kecepatan rambatnya dapat dijelaskan berikut ini:

$$V_R = \frac{d}{T_2 - T_1} \quad (5.1)$$

dengan,

d = jarak antar sensor,

$T_{1,2}$ = waktu kedatangan gelombang pada masing-masing sensor.

Gelombang tubuh Primer (P) dapat dihitung dan diturunkan dari hubungan antara kecepatan rambat gelombang R dan angka Poisson dengan persamaan berikut ini.

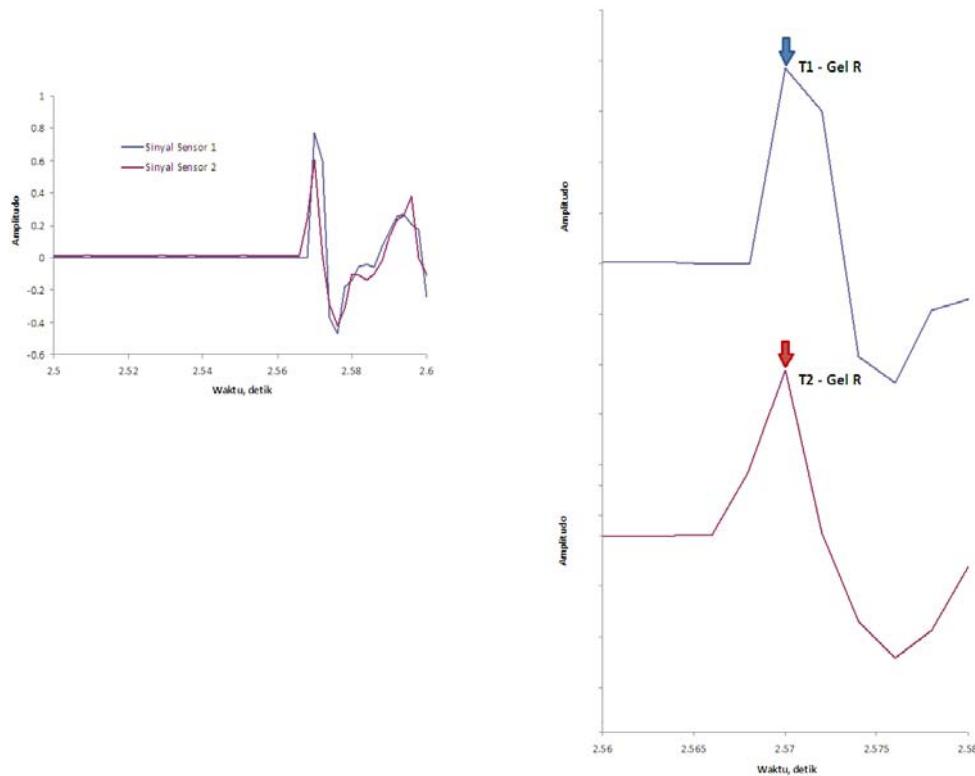
$$V_P = \frac{1+\nu}{0,87+1,12\nu} \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}} V_R \quad (5.2)$$

dengan,

ν = angka Poisson.

Dalam penelitian ini, angka Poisson untuk tanah ditentukan sebagai $\nu = 0,33$, maka persamaan 5.2 dapat disederhanakan menjadi:

$$V_P = 2,13V_R \quad (5.3)$$



Gambar 5.11 Data seismik tanah uji pada kadar air 35 % dan penentuan waktu kedatangan gelombang R pada sensor pertama dan kedua

Dari Gambar 5.11 dapat ditentukan, waktu kedatangan gelombang R pada sensor 1, $T_1 = 2,5699$ detik dan pada sensor 2, $T_2 = 2,57055$ detik. Dengan jarak antar sensor (d), sebesar 4 cm (0,04 m) maka menggunakan persamaan 5.1, dapat ditentukan kecepatan gelombang R, $V_R = 61,54$ m/s. Selanjutnya kecepatan gelombang P, dapat diperoleh menggunakan persamaan 5.3 dengan $V_P = 131,1$ m/s.

2). Beda fase (*phase different method*)

Metode beda fase akan digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang menggunakan parameter waktu pergerakan gelombang. Waktu pergerakan gelombang (t) dapat dihitung menggunakan nilai beda fase (ϕ) dari spektrum

gelombang fungsi transfer (*transfer function*) melalui proses FFT data seismik gelombang dengan persamaan:

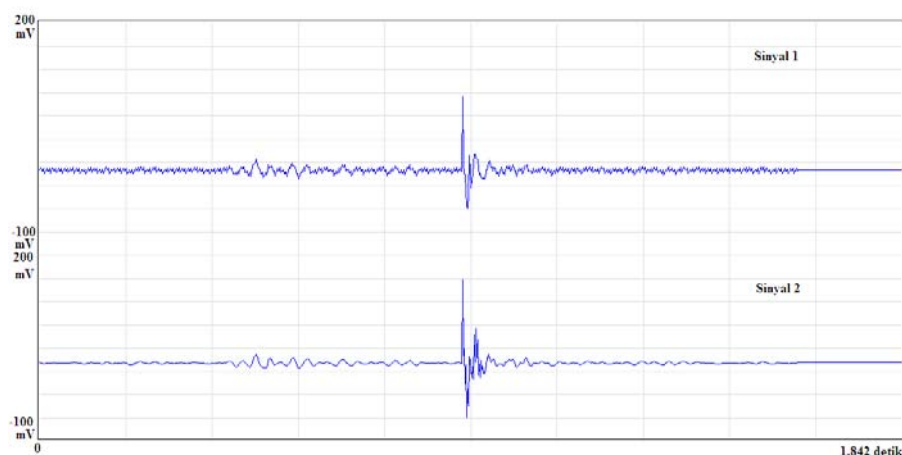
$$\phi = 2\pi f_0 t \quad (5.4)$$

$$t = \frac{\phi}{2\pi f_0} \quad (5.5)$$

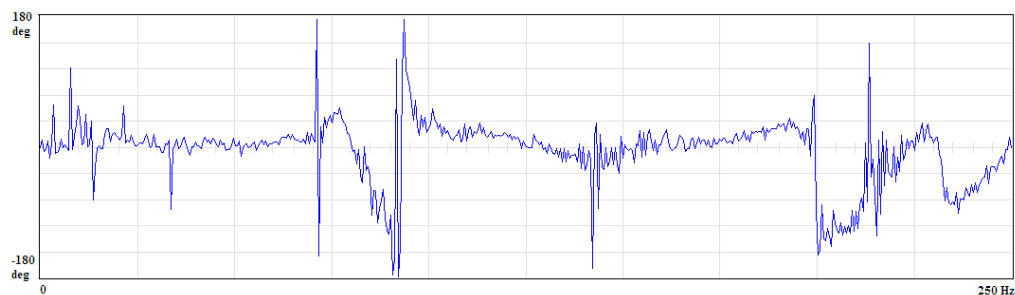
$$V_{PH(R)} = \frac{d}{t_1} = f_0 \cdot \lambda \quad (5.6)$$

dengan : f_0 = frekuensi, d = jarak antar sensor pengesan gelombang dan V_{PH} = kecepatan fase gelombang.

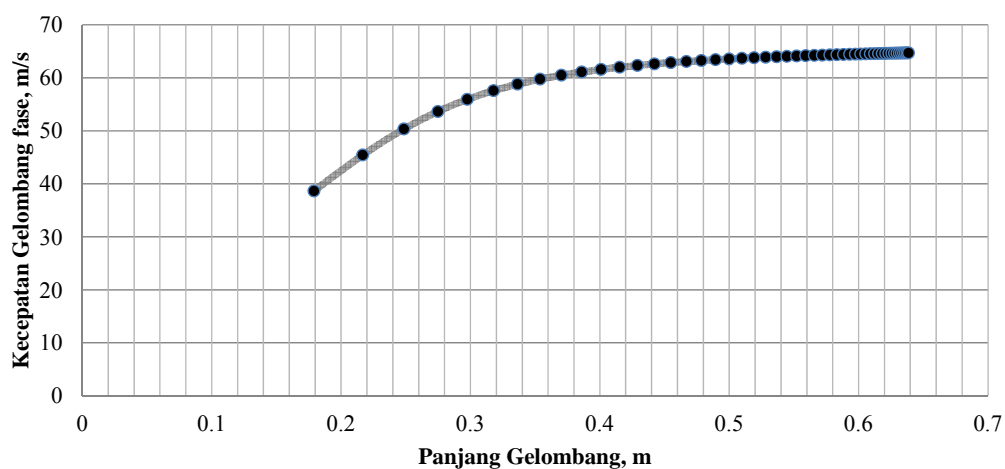
Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 merupakan data spektrum beda fase atau fungsi perpindahan dari data seismik sampel uji kadar air 35 %. Menggunakan persamaan 5.5 hingga 5.6 di atas dapat diperoleh kurva dispersi kecepatan fase (kecepatan gelombang permukaan) sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.14 di bawah ini. Hasil perhitungan kecepatan gelombang fase atau gelombang permukaan R dari metode beda fase dan metode beda waktu rambat terlihat tidak jauh berbeda. Rata-rata nilai kecepatan fase dari kurva dispersi menghasilkan $V_R = 62,08$ m/s, atau berbeda sebesar 0,87 % dengan metode beda waktu rambat ($V_R = 61,54$ m/s). Selanjutnya kecepatan gelombang P, dapat diperoleh menggunakan persamaan 5.3 dengan $V_P = 132,23$ m/s.



Gambar 5.12. Rekaman data untuk analisis beda fase untuk sampel uji 35 %



Gambar 5.13. Spektrum beda fase atau fungsi perpindahan untuk sampel uji 35 %



Gambar 5.14. Kurva dispersi kecepatan gelombang fase untuk sampel uji 35 %

Untuk perhitungan selanjutnya, dalam penelitian ini digunakan metode beda waktu rambat. Analisis dilakukan untuk seluruh data hasil pengukuran seismik untuk variasi kadar air pada sampel uji tanah dan variasi kepadatan tanah.

5.3 HASIL ANALISIS KECEPATAN GELOMBANG FASE DENGAN VARIASI KADAR AIR DAN KEPADATAN TANAH

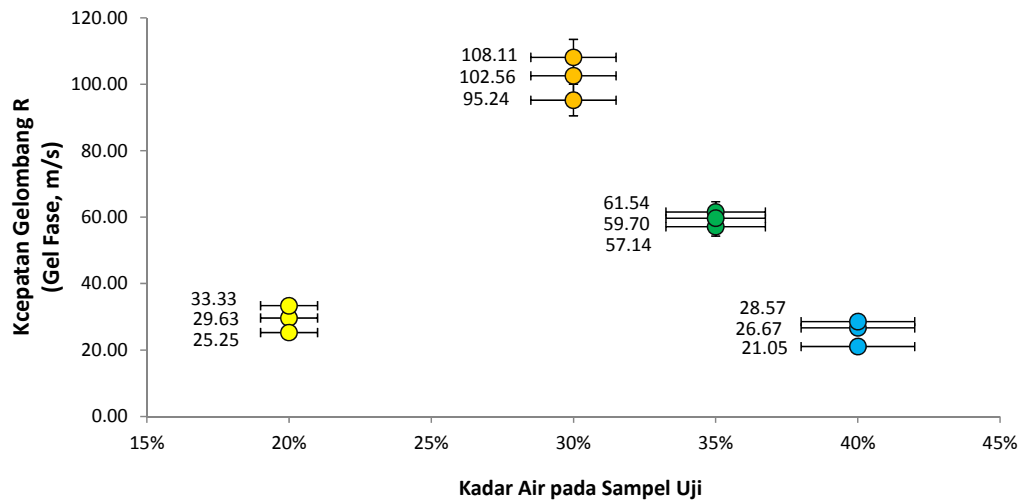
5.3.1 Hubungan antara Kecepatan Gelombang Seismik dan Variasi Kadar Air Tanah

Hasil analisis gelombang seismik pada sampel uji dengan variasi kadar air 25 %, 30 %, 35 % dan 40 % diberikan dalam Tabel 5.4 dan plot hubungan data diberikan dalam Gambar 5.15. Dari gambar tersebut terlihat bahwa peningkatan kadar air

pada sampel tanah dapat dideteksi dengan jelas oleh perubahan kecepatan gelombang fase.

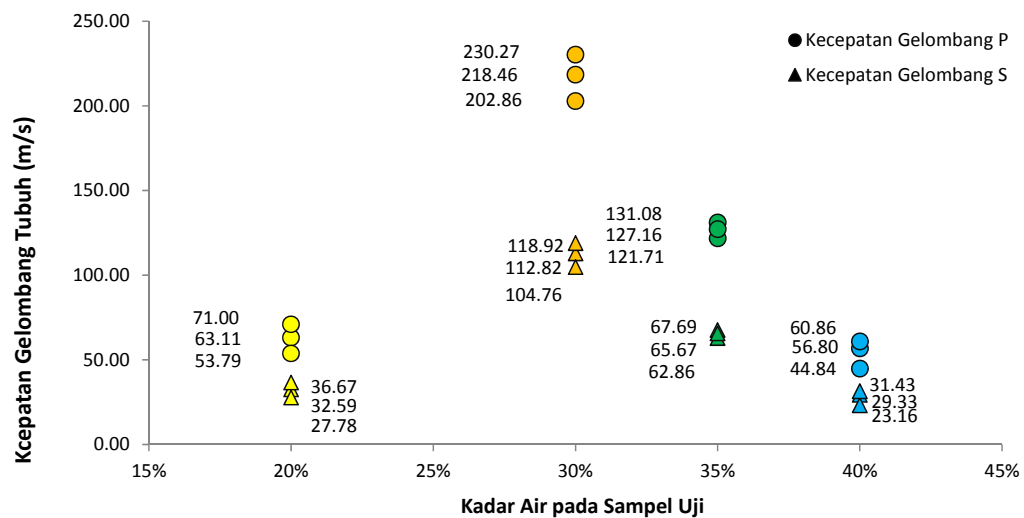
Tabel 5.4. Hasil analisis pengukuran seismik (V_R , V_P dan V_S) pada sampel uji variasi 25, 30, 35 dan 40 %

Kadar Air %	V_R m/s	V_P m/s	V_S m/s
20%	29,63	63,11	32,59
	33,33	71,00	36,67
	25,25	53,79	27,78
30%	102,56	218,46	112,82
	95,24	202,86	104,76
	108,11	230,27	118,92
35%	61,54	131,08	67,69
	57,14	121,71	62,86
	59,70	127,16	65,67
40%	26,67	56,80	29,33
	21,05	44,84	23,16
	28,57	60,86	31,43



Gambar 5.15. Hubungan antara kecepatan gelombang fase pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air

Semakin tinggi kadar air, nilai cepat rambat gelombang permukaan semakin tinggi, hingga mencapai suatu titik optimum. Selanjutnya nilai kecepatan gelombang semakin rendah searah dengan penambahan kadar air pada sampel tanah uji setelah mencapai titik optimum. Demikian juga, hasil yang sama ditunjukkan dari hubungan antara kecepatan gelombang tubuh P dan S terhadap kenaikan kadar air. Gambar 5.16 menunjukkan perubahan kecepatan gelombang P dan S terhadap perubahan kadar air pada sampel uji.

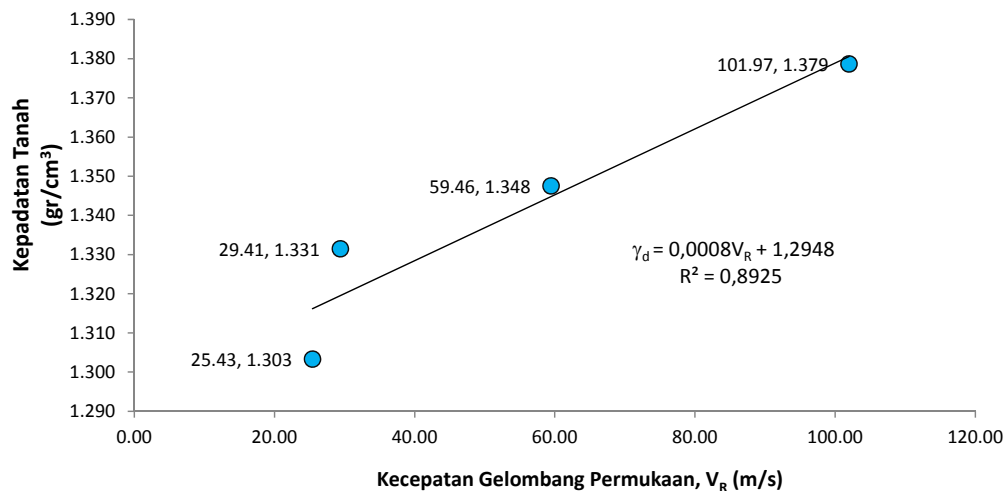


Gambar 5.16. Hubungan antara kecepatan gelombang tubuh P dan S pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air

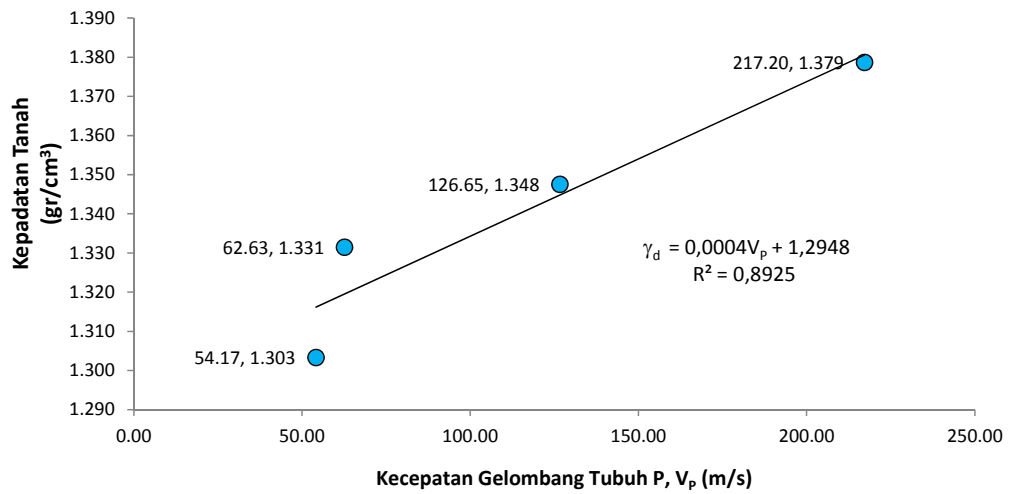
Meskipun secara langsung, gelombang permukaan tidak dapat mendeteksi keberadaan kadar air, namun dengan penambahan air pada sampel tanah yang dipadatkan akan mengakibatkan perubahan kepadatan (*dry density*). Perubahan kepadatan akan berpengaruh kepada perubahan kekakuan bahan (modulus elastisitas). Perubahan kekakuan ini yang menyebabkan nilai kecepatan gelombang menjadi semakin meningkat.

5.3.2 Hubungan antara Kecepatan Gelombang Seismik dan Kepadatan Tanah

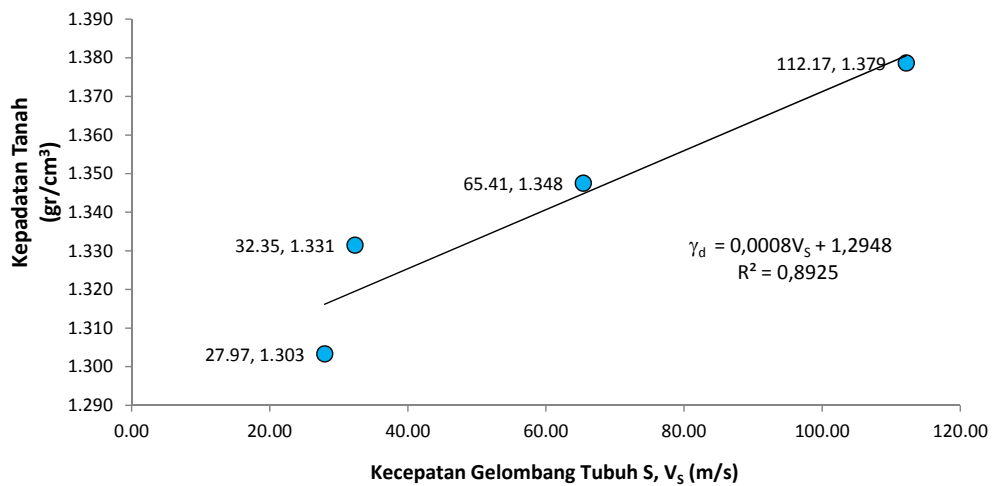
Hubungan antara kecepatan gelombang seismik (permukaan dan tubuh) dari analisis gelombang seismik pada sampel uji terhadap kepadatan tanah yang dihasilkan dari variasi kadar air 25 %, 30 %, 35 % dan 40 % diberikan dalam Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.19. Kecepatan gelombang seismik yang ditentukan dari kecepatan rata-rata dari beberapa pengukuran seismik pada sampel tanah. Dari gambar tersebut terlihat bahwa dengan kepadatan yang meningkat, kecepatan gelombang pun akan semakin meningkat.



Gambar 5.17. Hubungan antara kecepatan gelombang permukaan pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air



Gambar 5.18. Hubungan antara kecepatan gelombang tubuh P pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air



Gambar 5.19. Hubungan antara kecepatan gelombang tubuh S pada sampel uji tanah dengan variasi kadar air

BAB VI

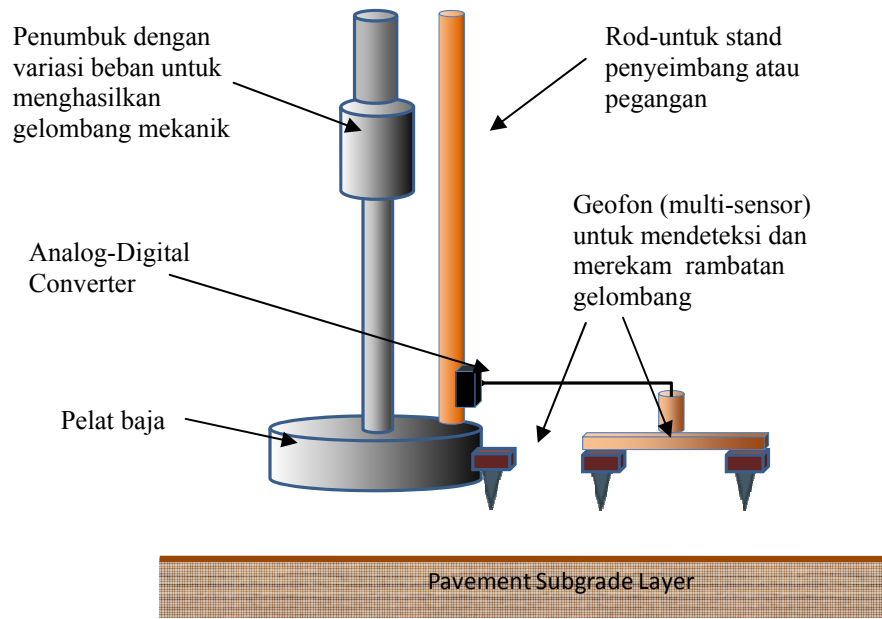
RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Pada tahap kedua ini, hasil yang akan dicapai pada penelitian tahap pertama akan digunakan untuk membangun sistem dan instrumentasi pengukur cepat rambat gelombang di lapangan yang selanjutnya diberikan nama: “Portable Surface Waves Analyser (PSWA)”. Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai untuk tahun kedua adalah:

1. membangun sistem dan instrumentasi Portable Surface Waves Analysis (PSWA) lapangan untuk evaluasi tanah dasar perkerasan jalan.
2. melakukan verifikasi hasil dan validasi sistem instrumen PSWA melalui pengukuran langsung di lapangan dan membandingkan hasilnya dengan hasil pengukuran teknik CBR-DCP, LFWD, SASW dan MASW.

Sistem dan instrumentasi PSWA akan dibangun menggunakan sistem mikro-kontroler, sehingga peralatan PSWA menjadi sederhana dan mudah digunakan di lapangan. Gambar 6.1 menunjukkan disain PSWA yang akan dibangun dalam tahap penelitian kedua.

Dalam sistem ini, PSWA direncanakan akan menggunakan multi-sensor (geofon) untuk menerima dan merekam gelombang seismik yang dirambatkan dari sumber gelombang berupa impak dari berat jatuh yang diberikan oleh penumbuk pada pelat baja yang diletakkan di atas tanah. Gelombang mekanik (seismik) yang diterima oleh sensor geofon selanjutnya ditransfer dalam bentuk digital oleh konversi analog digital (ADC). Dari data digital akan direkam dan dimasukkan dalam instrumentasi berbasis mikro kontroler untuk menentukan cepat rambat gelombang seismik pada lapisan yang diukur.



Gambar 6.1. Disain sistem instrumentasi multi-sensor PSWA lapangan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 KESIMPULAN

Suatu teknik baru yang disebut sebagai *Portable Surface Waves Analyser* (PSWA) untuk evaluasi kepadatan tanah dasar perkerasan jalan di Indonesia telah dihasilkan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini, sistem dan instrumen pengukur laboratorium PSWA telah dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa kesimpulan dapat diberikan sebagai berikut:

1. Teknik *Portable Surface Waves Analyser* (PSWA) dapat mendeteksi pergerakan gelombang seismik menggunakan instrumen sensor dan ADC yang selanjutnya digunakan untuk menganalisis cepat rambat pergerakan gelombang seismik baik gelombang permukaan maupun gelombang tubuh P dan S.
2. Teknik PSWA dapat mendeteksi cepat rambat gelombang pada sampel uji laboratorium dengan variasi kadar air 25 %, 30 %, 35 % dan 40 %. Konfigurasi pengukuran yang digunakan adalah dual-sensor dengan sumber gelombang mekanik sebagai pembangkit gelombang mekanik.
3. Nilai kepadatan tanah dasar dapat dideteksi dengan menghasilkan hubungan empirik sebagai berikut:
 - a. $\gamma_d = 0,0008 V_R + 1,2948$
 - b. $\gamma_d = 0,0004 V_P + 1,2948$
 - c. $\gamma_d = 0,0008 V_S + 1,2948$

7.2 SARAN

Studi ini merupakan penelitian aplikatif berkelanjutan untuk menghasilkan sistem, teknik dan instrumen terpadu untuk evaluasi jalan di Indonesia. Beberapa kegiatan penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk memastikan teknik ini

dikembangkan dengan baik dengan berbagai penyesuaian lingkungan dan kondisi perkerasan jalan di Indonesia. Beberapa rekomendasi dan saran diberikan untuk kelanjutan penelitian ini, diantaranya:

1. Analisis tegangan-regangan perlu dilakukan supaya mengetahui dengan tepat tingkat regangan bahan yang dihasilkan pada saat uji seismik pada sampel tanah dasar perkerasan jalan. Dengan mengetahui tingkat regangan ini, hubungan konstitutif dari teknik PSWA dan CBR-daya dukung tang dapat dibangun.
2. Variasi kadar air pada sampel tanah perlu ditambah khususnya untuk nilai interval yang lebih rapat 3 %.
3. Perlu dicoba untuk jenis tanah yang lain supaya menghasilkan model empirik untuk model tanah umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Cho, Y.S. 2002. NDT Response of spectral analysis of surface wave method to multi-layer thin high strength concrete structure, *Ultrasonic* **2336**.
- Cho, Y.S. & Lin, F.B. 2001. Spectral analysis of surface wave response of multi layer thin cement mortar slab structures with finite thickness. *NDT&E International* **34**: 115-122.
- Gucunski, N., Krstic, V. & Maher, A. 2000. Field implementation of surface waves for obstacle detection (SWOD) method. *Proc. of 15th World Conference Non Destructive Testing*.
- Gucunski, N. Ganji, V. & Maher, M.H. 1996. Effect of soil non homogeneity on SASW testing. *Geotechnical Special Publication*, American Society of Civil Engineer **58**: 1083-1097.
- Kim, D.-S., Shin, M.-K. & Park H.C. 2001. Evaluation of density in layer compaction using SASW method, *Soil Dynamic & Earthquake Engineering* **21** : 39-46
- Lakip Ditjen Bina Marga. 2011. Laporan Kinerja Perusahaan. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Perhubungan. Tidak Dipublikasikan.
- Matthews, M.C. Hope, V.S. & Clayton, C.R.I. 1996. The geotechnical value of ground stiffness determined using seismic methods. *Proc. of 30th Annual Conference of the Engineering Group of the Geological Society*: 1-13.
- Nazarian, S. 1984. In situ determination of elastic moduli of soil deposits and pavement systems by Spectral-Analysis-of-Surface-Wave method. Disertasi Ph.D. The University of Texas at Austin.
- Nazarian, S. & Stokoe II, K. H. 1984. In-situ shear wave velocity from spectral analysis of surface waves. *Proc. of 8th World Conf. on Earthquake Engineering* **3** : 31-38
- 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 Record* **1284**: 8-15.
- Rosyidi, S.A. 2004. *Evaluation of Dynamic Stiffness of Pavement Material using SASW Method*. Master Thesis. Universiti Kebangsaan Malaysia. 210 pp.
- Rosyidi, S.A. 2005. Studi Pengukuran Modulus Elastisitas Dinamik Lapangan pada Bahan Perkerasan Jalan Menggunakan Teknik Spektrum Gelombang Seismik (Studi Kasus pada Jalan Nasional Piyungan – Gading). Laporan Penelitian Kopertis Wilayah V Yogyakarta.
- 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: pp. 42-48.
- Rosyidi, S.A. 2009. Wavelets Model of Surface Waves Analysis on Selected Geotechnical Earthquake Problems. Ph.D Thesis, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Rosyidi, S.A. 2010. Contribution of Integrated Geophysical Surveys for Site Investigation in Geohazards Analysis. International Conference on Sustainable Built Environment 2010, Yogyakarta, Indonesia 27-29 May 2010.
- Rosyidi, S.A. 2012. 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.
- 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.
- Rosyidi, S.A. & Taha, M.R. 2004a. Measurement of Pavement Moduli using Simple Surface Wave Propagation Technique *The 7nd Symposium of Forum Studi*

- Transportasi antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*. Catholic Parahyangan University. 11 September 2004.
- Rosyidi, S.A., Nayan, K.A.M & Taha, M.R. 2004b. Measurement of Subgrade Stiffness using the SASW Method. Malaysian Geotechnical Conference at Petalingjaya Kuala Lumpur, 14-16 Maret 2004. The Institute of Engineer Malaysia.
- Rosyidi, S.A., Hantoro, G. & Taha, M.R. 2003 Determination the design input parameter of dynamic elastic modulus of road-pavement base layer using wave propagation technique. Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 pada tanggal 7 – 10 Oktober 2003. Himpunan Pengembang Jalan Indonesia (HPJI). Jakarta.
- Rosyidi, S.A., Nayan, K.A.M., Taha, M.R. & Mustafa, M.M. 2002. Pengukuran sifat dinamik perkerasan lentur menggunakan metode Spectral-Analysis-of-Surface-Wave (SASW). *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi V (FSTPT)*. Universitas Indonesia
- Rosyidi, S.A., Hantoro, G., Siegfried, Handayani, G. dan Taha, M.R. 2007a. Pengembangan metode integrated-spectral-analysis-of-surface-waves (SASW) untuk evaluasi nilai modulus elastisitas struktur perkerasan jalan. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.
- Rosyidi, S.A. Taha, M.R., , A. Ismail & Z. Chik. 2007b. Measurement of Seismic Parameter, Dynamic Shear Modulus and Bearing Capacity of Subgrade Layer on a Clayey Sandy Residual Soil. *International Journal of Al-Azhar University Engineering (JAUES)*, Vol.2, No.3, April 2007: pp. 549 – 558.
- Rosyidi, S.A. & Siegfried. 2010. Kinerja dan verifikasi terhadap modulus elastisitas tanah dasar dari pengukuran teknik seismik gelombang permukaan. *Jurnal Semesta Teknika*, Vol.13., No.1: 62-76
- Rosyidi, S.A., Taha, M.R., Chik, Z. & Ismail, A. 2008. 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.
- Rosyidi, S.A., Abiss, C.P., Nayan, K.A.M., Taha, M.R., Chik, Z. & Ismail, A. 2012. Study of the relationship between stiffness parameters for base materials. *The ICE – Transport Journal, Institution of Civil Engineers*, 165(TR3) : 159–165.
- Rosyidi, S.A., Taha, M.R., Ismail, A. & Chik, Z. 2009. Signal reconstruction of surface waves on SASW measurement using gaussian derivative wavelet transform. *Acta Geophysica*, Vol. 57 No.3: 616-635.
- Stokoe II, K.H., Wright, S.G., Bay, J.A. & Rössset, J.M. 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method. In : Woods, R.D. editor. *ISSMFE Technical Committee 10*. XIII ICSMFE. New Delhi. India
- Zagyapan, M. & Fairfield, C.A. 2002. Continuous surface wave & impact methods of measuring the stiffness & density of railway ballast. *NDT&E International* **35**: 75-81

LAMPIRAN I
INSTRUMEN DUKUNGAN PADA PELAKSANAAN PENELITIAN

- Analog Digital Converter (ADC) untuk menganalisis data analog ke digital, alat ini pendukung 15 % penelitian.
- Penganalisis Spektrum Gelombang dalam komputer. Alat ini mendukung 15 % kegiatan penelitian, sebagai peralatan ukur cepat rambat gelombang yang akan dihasilkan dari penelitian ini.
- Sensor geofon/geophones dengan kapasitas respon 4,5 Hz. Alat ini mendukung 20 % kegiatan penelitian, sebagai peralatan kalibrator sistem penerima alat ukur cepat rambat gelombang yang akan dihasilkan dari penelitian ini.
- Perangkat Lunak Matlab, Autosignal dan WinSASW versi 2.0.0 dari program penelitian milik laboratorium transportasi UMY. Software melakukan simulasi rambatan gelombang yang mendukung 20 % kegiatan penelitian.
- CBR Lapangan dan peralatan pengujian mekanika tanah milik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Alat ini mendukung 30 % kegiatan penelitian.

Lampiran II : Susunan Organisasi

Susunan Organisasi Peneliti Tahun Pertama

Nama	Peran dalam Penelitian	Tugas dan Tanggungjawab
Sri Atmaja PJNRR, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.	Ketua Peneliti	Merencanakan kegiatan penelitian, membuat disain sistem dan instrumentasi alat ukur cepat rambat gelombang, menyiapkan pemrograman, menganalisis hasil dan verifikasi data.
Slamet Riyadi, ST., M.Sc., Ph.D.	Anggota 1	Menganalisis dan mensimulasi sistem instrumentasi, menyiapkan fabrikasi alat instrumentasi, menyiapkan pemrograman.
Ir. Anita Widianti, MT.	Anggota 2	Menyiapkan pengujian tanah dasar dengan berbagai variasi kepadatan dan daya dukung, menyiapkan sampel tanah.

Susunan Organisasi Peneliti Tahun Kedua

Nama	Peran dalam Penelitian	Tugas dan Tanggungjawab
Sri Atmaja PJNRR, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.	Ketua Peneliti	Merencanakan kegiatan penelitian, membuat disain sistem dan instrumentasi alat ukur cepat rambat gelombang di lapangan (PSWA), menyiapkan pemrograman, menganalisis hasil dan verifikasi data dan menganalisis data pembanding SASW dan MASW
Slamet Riyadi, ST., M.Sc., Ph.D.	Anggota 1	Menganalisis dan mensimulasi sistem instrumentasi, menyiapkan fabrikasi alat instrumentasi, menyiapkan pemrograman.
Ir. Anita Widianti, MT.	Anggota 2	Menyiapkan lokasi pengujian tanah dasar pada lokasi uji lapangan, melakukan analisis pengujian DCP-CBR pada lokasi uji.
Dr. Siegfried, M.Sc.	Anggota 3	Melakukan uji dan analisis pembanding LFWD pada lokasi uji lapangan

BIODATA

KETUA PENELITI

Nama dan Gelar : Sri Atmaja Putra J N N R, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIDN : 0515047801
NIK : 19780415200004 123046
Pangkat/Gol. : Penata Tk. I/III d
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Alamat Rumah (lengkap) : Jalan Demakan Baru TR.III/773A, RT.34/RW.09, Tegalgrejo,
Yogyakarta 55244
Telepon Rumah : 0274-5304871
Nomor HP : 0815 790 9887
Faksimili Rumah : ---
Email Pribadi : atmaja_sri@umy.ac.id / atmaja.sri@gmail.com
Alamat Kantor (lengkap) : Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta, 55183
Telepon Kantor : 0274-387656 (110)
Faksimili Kantor : 0274-387646

Riwayat Pendidikan

Tahun lulus	Perguruan Tinggi	Bidang Spesialisasi
S-1	Universitas Muhammadiyah Yogyakarta	Teknik Sipil (Transportasi)
S-2	the National University of Malaysia	Teknik Sipil (Transportasi)
S-3	the National University of Malaysia	Teknik Sipil (Geo-Pavement)

Pengalaman Penelitian 5 (Lima) Tahun Terakhir

Tahun	Topik/Judul Penelitian	Sumber Dana
2009	Development of tomography surface wave analysis for engineering assessment of geotechnical structures	Ministry of Science, Technology and Innovation, Malaysia No.01-01-02-SF0338
2009-2010	Pengembangan Teknik Pengukuran Lapangan Terpadu Seismik dan Geo-Listrik untuk Pengukuran Potensi Likuifaksi pada Tanah Berpasir dan Lokasi Patahan	Hibah Bersaing, Dikti
2009	Pembangunan Sistem Spektrum Tomografi Gelombang Permukaan untuk Mendeteksi Kekuatan dan Anomali Perkerasan Jalan	Hibah Bersaing, Dikti
2010 – 2011	Ground response analysis of soils column by dynamic loadings	Ministry of Higher Education, Malaysia

2013	Pengembangan Fondasi Perkerasan Lentur Jalan dengan Kolom Eco Si-CC Pada Tanah Ekspansif	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, Hibah Desentralisasi Dikti
------	---	--

Pengalaman Publikasi di Berkala Ilmiah 5 (Lima) Tahun Terakhir

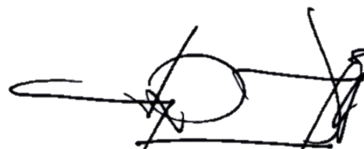
Nama (-nama) penulis	Tahun terbit	Judul artikel	Nama berkala	Volume dan halaman
S.A.P.J.N.N. Rosyidi, C.P.Abbiss, K.A.M. Nayan, M.R. Taha, Z. Chik & A. Ismail	2012	Empirical study on VS-CBR-DCP relationship for the stiffness of unbound granular base layer.	The ICE – Transport Journal, Institution of Civil Engineers, ISSN: 0965-092X, E-ISSN: 1751-7710 (SCOPUS/ISI IF: 0.174)	Volume 165 August 2012 Issue TR3 Pages 159–165 http://dx.doi.org/10.1680/tran.10.00010
Sri Atmaja P. Rosyidi, Fahmi Aldiamar, Nazib Faizal and Mohd. Raihan Taha	2011	Lesson Learned from Road Infrastructure Deterioration Caused by Earthquake 7.6 MW and 6.2 MW Padang, September 30, 2009.	Geotechnical Special Publication ASCE	Vol. 217, pp. 180-187 http://dx.doi.org/10.1061/47628(407)23
Sri Atmaja P. Rosyidi	2011	Use of Wavelet Analysis and Filtration on Impulse Response for SASW Measurement in PCC Slab of Pavement Structure	Geotechnical Special Publication ASCE	Vol. 215, pp. 74-82 http://dx.doi.org/10.1061/47626(405)10
S.A.P.J.N.N. Rosyidi, T.A. Jamaluddin, L.C. Sian, M.R. Taha	2011	Impact of 7.6 Mw Earthquake, Padang Indonesia, 30 September 2009.	Journal of Sains Malaysiana (SCOPUS/ISI IF 0.152)	Vol. 40, No.12, December 201, pp. 1393-1405
Z.Chik, T. Islam, M.M. Mustafa, H. Sanusi, S.A.P.J.N.N Rosyidi & M.R. Taha	2009	Surface Wave Dispersive Analysis Using Morlet Wavelet in Geotechnical Investigations	Journal of Applied Sciences	Vol. 9 No.19, pp.3491-3501.
Z.Chik, T. Islam, S.A. Rosyidi, H. Sanusi, M.R. Taha, M.M. Mustafa	2009	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
S.A.P.J.N.N Rosyidi, M.R. Taha, A. Ismail & Z. Chik	2009	Signal reconstruction of surface waves on SASW measurement using gaussian derivative wavelet transform	Acta Geophysica, (Impact Factor 2009: 0.882)	Vol. 57 No.3 (September 2009), pp.616-635, DOI: 10.2478/s11600-009-0015-8.

S.A. Rosyidi, M.R. Taha, A. Ismail and Z. Chik	2009	Evaluation of Pavement Subgrade Quality using the Spectral Analysis of Surface Wave Method	Journal of Sains Malaysiana	Vol. 38, No. 1, February 2009
--	------	--	------------------------------------	-------------------------------

Pengalaman Menulis Buku 10 (Sepuluh) Tahun Terakhir

Nama	Judul Buku	Tahun	Penerbit	ISBN
Sri Atmaja P. Rosyidi	Rekayasa Jalan Kereta Api	2014	LP3M	978-979-98053-9-3
Sri Atmaja P. Rosyidi	Metode Analisis Gelombang Permukaan untuk Penyelidikan Sub-Permukaan	2013	LP3M	978-602-7577-24-4

Yogyakarta, Tanggal 24 April 2014



(Sri Atmaja P J N R)

Biodata Ketua / Anggota Tim Peneliti / Pelaksana

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (<i>dengan gelar</i>)	Slamet Riyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Jabatan fungsional	Lektor
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	19780809200104123048
5	NIDN	0509087801
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Sukoharjo, 9 Agustus 1978
7	E-mail	riyadi@umy.ac.id
8	Nomor Telepon/HP	08157917000
9	Alamat Kantor	Prodi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul
10	Nomor Telepon/Fax	0274-387656/0274-387646
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1= 5 orang; S-2= - orang; S-3= - orang
13	Mata Kuliah Yang Diampu	Mikrokontoler
		Sistem Kontrol Digital
		Dasar Jaringan Komputer
		Protokol Routing pada Jaringan Komputer
		Switching Jaringan dan Wireless
		Jaringan Area Luas
		Perancangan Antarmuka Manusia-Komputer

B. Riwayat Pendidikan

Strata	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan tinggi	Universitas Gadjah Mada	Universiti Kebangsaan Malaysia	Universiti Kebangsaan Malaysia
Bidang Ilmu	Teknik Elektro	Teknik Elektro	Teknik Elektro
Tahun Masuk-Lulus	1996 – 2000	2004 - 2008	2008 - 2012
Judul Skripsi/Thesis/Disertasi	Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Thyristor	Portable Instrument for Measuring Concrete Thickness based on Impact Echo Technique	Cardiac Motion Profiles based on Optical Flow
Nama Pembimbing/Promotor	Bambang Sutopo, MPhil Ir. Isnaeni	Prof. Mohd Marzuki Mustafa Khairul Anuar, MSc	Prof. Mohd Marzuki Mustafa Prof Aini Hussain

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Thesis, maupun Disertai)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2008	An Automated Machine Vision Based for Fruit Size Grading System	Ministry of Science, Technology and Innovation, Malaysia	600
2	2008	Pembangunan Sistem Dan Instrumen Portable Multi-Channel Tomography Of Surface Waves (Pmtsw) Untuk Pengukuran Kekuatan Dan Anomali Struktur Perkerasan Jalan	DIKTI	48
3	2012	Ergonomic Improvement on Baby Support Pillow for Breastfeeding During Travelling	Ministry of Science, Technology and Innovation, Malaysia	300

**Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema penelitian DIKTI maupun dari sumber lainnya*

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Pengabdian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2012	Pengembangan Industri Olahan Ketela	UMY	7
2	2012	Pelatihan Aplikasi Komputer Perkantoran untuk Perangkat Desa Polengan, Srumbung, Magelang	Prodi TI UMY	2
3	2013	Talk: Monetize Twitter	Prodi TI UMY	2

**Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema pengabdian kepada masyarakat, DIKTI, maupun dari sumber lainnya*

E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Alam Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volum/ Nomor/ Tahun
1	Cardio-Spatial Profile Extraction using Optical Flow of Echocardiographic Images.	Lecture Note on Engineering and Computer Science	848 – 851 2009
2	Implementation of Differential Optical Flow in Natural Rigid Video Movement.	Lecture Note on Engineering and Computer Science	795 – 798 2009
3	Quasi-Gaussian DCT Filter for Speckle Reduction of Ultrasound Images.	Lecture Note on Computer Science	5857 136 – 147 2009
4	Construction and Analytical Application of a Microcontroller-based Portable Concrete Thickness Tester.	European Journal of Scientific and Research.	2009
5	Segmental Boundary Profile of Myocardial Motion to Localize Cardiac Abnormalities.	Lecture Notes in Engineering and Computer Science	2183 692 – 697 2010
6	Myocardial Motion Analysis of Echocardiography Images using Optical Flow Radial Direction Distribution	Journal of Computer Science	7(7) 1046 – 1051 2011
7	Myocardial Motion Estimation: An Evaluation of Optical Flow Computation Techniques on Echocardiographic Images	International Journal of Advance Science, Engineering and Information Technology	1(4) 395 – 398 2011
8	Divergence-based Segmental Profile of Myocardial Motion for the Detection of Cardiac Abnormality	Journal of Computational Information Systems	7(14) 5167 – 5176 2011
9.	Enhanced Optical Flow Field of Left Ventricular Motion Using Quasi-Gaussian DCT Filter	Advances in Experimental Medicine and Biology	696(6) 461 – 469 2011
10.	Enhanced Endocardial Boundary Detection in Echocardiography Images using B-Spline and Statistical Method	Advanced Science Letters	2014 (in publishing)

F. Pemakalah Seminar Ilmiah (*Oral Presentition*) dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan tempat
1	5 th International Symposium on Mechatronics and its Applications	Wavelet-based Feature Extraction Technique for Fruit Shape Classification	2008 Amman, Jordan
2	3rd International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation	Myocardial motion analysis using modified radial direction distribution based on magnitude criteria	2012 Sabah, Malaysia
3	Visual Informatics International Seminar	New Method Based On Image Analysis Technique For Breastfeeding Posture Data Collection	2012 Selangor, Malaysia
4	International Conference on Engineering Education	Computer assisted learning using Matlab GUI for morphology simulation in digital image processing: a preliminary study	2013 Medinah, KSA

G. Karya Buku Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	-			
2				

H. Perolehan HKI Dalam 5-10 Tahun Terakhir

No	Judul / Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1	Portable Instrument for Measuring Concrete Thickness based on Impact Echo Technique	2008	-	Pending
2	Ergonomic Nursing Support Pillow	2013	-	Pending

I. Pengalaman Merumuskan kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1	-			
2				

J. Penghargaan Dalam 10 Tahun terakhir (Dari Pemerintah, Asosiasi atau Institusi lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Bronze Medal (Pecipta 2013) – Image Analysis Technique for Collecting Breastfeeding Posture Data Collection.	Ministry of Education, Malaysia	2013
2	Silver Medal (Pecipta 2013) - Ergonomic Nursing Support Pillow	Ministry of Education, Malaysia	2013
2	Bronze Medal (ITEX 2014)- Computer Assisted Learning : Matlab Gui For Morphology Simulation	Malaysian Association of Research Scientists	2014

Semua data yang saya isikan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salahsatu persyaratan dalam pengajuan Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi.

Yogyakarta, 25 April 2014

Penyusun,



(Slamet Riyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.)

BIODATA

A. IDENTITAS DIRI

1.	Nama Lengkap (dengan gelar)	Ir. Anita Widianti, MT
2.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
3.	Pangkat / Golongan	Pembina / IV a
4.	NIP	19650720 199403 2 001
5.	NIDN	0020076502
6.	No Sertifikasi Dosen	08234610121
7.	Tempat dan Tanggal Lahir	Salatiga, 20 Juli 1965
8.	Jenis Kelamin	Perempuan
9.	Alamat Rumah	Banyumeneng RT. 16 RW. 04 No. 469A, Banyuraden, Yogyakarta 55293
10.	Nomor Telepon	0274 - 616945
11.	Nomor HP	081 5689 3762
12.	Email	anita_widianti2@yahoo.co.id
13.	Fakultas / Jurusan	Teknik / Teknik Sipil
14.	Perguruan Tinggi	Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
15.	Alamat Kantor	Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DIY
16.	Nomor Telepon/Fax Kantor	0274 - 387656 / 387646
17.	Bidang Keahlian	Geoteknik
18.	Mata Kuliah yg diampu	1. Pengantar Geoteknik
		2. Perkuatan Tanah
		3. Perbaikan Tanah
		4. Metode Penelitian

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Program	S1	S2
2. Nama PT	Universitas Gadjah Mada	Universitas Gadjah Mada
3. Bidang Ilmu	Teknik Sipil - Transportasi	Teknik Sipil - Geoteknik
4. Tahun Masuk	1984	1998
5. Tahun Lulus	1989	2001
6. Judul Skripsi / Tesis	Kemiringan Melintang pada Perkerasan Jalan	Pengaruh Beban Dinamis terhadap Geotekstil Sebagai Filter pada Struktur Jalan
7. Nama Pembimbing	Ir. Suprpto Totomihardjo, M.Sc	Prof. Dr. Ir. Kabul Basah Suryolelono, Dip.H.E., DEA. Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc, Ph.D

C. PENGALAMAN PENELITIAN

No	Tahun	Judul Penelitian	Sumber Pendanaan
1	2	3	4
1	2012	Perilaku Mekanika Tanah yang Diperkuat dengan Serat dan Stabilisasi Bahan Semen (<i>Cemented Materials</i>)	Hibah Fundamental Dikti
2	2012	Pengaruh Jumlah Lapisan dan Spasi Perkuatan Geotekstil terhadap Kuat Dukung Ultimit dan Penurunan Tanah Lempung lunak	LP3M UMY
3	2011	Pengaruh Ukuran Benda Uji terhadap Kuat Tarik-Belah pada Tanah yang Distabilisasi dengan Kapur dan Diperkuat dengan Serat Plastik	LP3M UMY
4	2009	Perbaikan Sifat Mekanis Batu Bata Tanpa Dibakar dengan Campuran Limbah Karbit dan Abu Sekam Padi	LP3M UMY
5	2009-2010	Pengembangan Teknik Pengukuran Lapangan Terpadu Seismik dan Geo-Listrik untuk Pengukuran Potensi Likuifaksi pada Tanah Berpasir dan Lokasi Patahan	Hibah Bersaing XV Dikti
6	2006-2007	Penggunaan Sampah Plastik dan Campuran Kapur-Abu Sekam Padi Untuk Bahan Embankment Jalan Raya	Hibah Bersaing XIV Dikti
7	2000-2001	Pengaruh Beban Dinamis Terhadap Geotekstil Sebagai Filter pada Struktur Jalan	BPPS
8	1998-2000	Pengaruh Gradasi dan Persentase Campuran Pasir Sungai terhadap Perbaikan Sifat Tanah Lempung	FT UMY
9	1996-1997	Perbaikan Kualitas Agregat dengan Pelapisan Mortar Semen Portland.	FT UMY

1	2	3	4
10	1995-1996	Pengaruh Trap Void Uji Marshall Prosedur SNI 1990 pada Lapis Atas Aspal Beton dan Aspal Beton.	FT UMY

D. PENULISAN ARTIKEL ILMIAH

1. Widiанти, A. (2013). Studi Model Perkuatan Geotekstil Teranyam dengan Nilai Kuat Tarik Bervariasi di Atas Tanah Lempung Lunak, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil III 2013*, 21 Mei 2013, Surakarta.
2. Widiанти, A., Azmania dan Thirayo, B.K. (2013). Pengaruh Ukuran dan Kedalaman Geotekstil Anyaman Tipe HRX200 Terhadap Daya Dukung Ultimit dan Penurunan Tanah Lempung Lunak, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 16, No.1, Mei 2013, ISSN 1411-061X.
3. Muntohar, A.S., Widiанти, A., Hartono, E., dan Diana, W. (2012). Engineering Properties of a Waste Plastic Fibers Reinforced and Lime-Rice Husk Ash Stabilized Silty Soil, *Journal of Materials in Civil Engineering American Society of Civil Engineer (ASCE)*, August 2012.
4. Widiанти, A. (2012). Pengaruh Jumlah Lapisan dan Spasi Perkuatan Geosintetik terhadap Kuat Dukung dan Penurunan Tanah Lempung Lunak, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 15, No.1, Mei 2012, ISSN 1411-061X, halaman 90 – 97.
5. Supriyadi, J., Widiанти, A. (2011). Interpretasi Letak Bidang Longsor dan Faktor Aman Lereng dengan Bahasa Pemrograman MATLAB, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 14, No.2, November 2011, ISSN 1411-061X, halaman 186 – 197.
6. Widiанти, A. (2009). Peningkatan Nilai CBR Laboratorium Rendaman Tanah dengan Campuran Kapur, Abu Sekam Padi dan Serat Karung Plastik, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 12, No.1, Mei 2009, ISSN 1411-061X, halaman 21 – 27.
7. Widiанти, A., Hartono, E. dan Muntohar, A.S. (2009). Kuat Tekan dan Kuat Tarik Tanah dengan Campuran Kapur - Abu Sekam Padi – Serat Karung Plastik, *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 3*, Universitas Pelita Harapan Jakarta, 6 - 7 Mei 2009.
8. Widiанти, A., Hartono, E. dan Muntohar, A.S. (2009). Studi Model Embankment Tanah Lempung dengan Stabilisasi Kapur - Abu Sekam Padi dan Serat Karung Plastik yang Dicampur Dalam Berbagai Konfigurasi, *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 3*, Universitas Pelita Harapan Jakarta, 6 - 7 Mei 2009.
9. Muntohar, A.S., Widiанти, A., Hartono, E., Diana, W. dan Oktoviar, E. (2008). Aplikasi Teknik Kolom-Semen (Cement-Column) pada Tanah Berpasir, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II*, Universitas Lampung, 17-18 November 2008.
10. Widiанти, A., Hartono, E. dan Muntohar, A.S. (2008). Uji Triaksial Unconsolidated Undrained Campuran Tanah Lanau dan Kapur – Abu Sekam Padi dengan Inklusi Serat Karung Plastik, *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Semesta Teknik*, Vol. 11 No.2, November 2007.
11. Purnomo, A., Rosyidi, S.A.P.J.N.N, dan Widiанти, A. (2008). Investigasi Sub-Permukaan Tanah Untuk Perencanaan Jalan Menggunakan Survai Pembiasan Seismik, *Prosiding Simposium XI Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi, FSTPT*, Universitas Diponegoro Semarang, 29 – 30 Oktober 2008.

12. Widiанти, A., Hartono, E. dan Muntohar, A.S. (2008). Studi Model Embankment Tanah dengan Campuran Kapur - Abu Sekam Padi dan Serat Karung Plastik, *Jurnal Ilmiah Terakreditasi B "Dinamika Teknik Sipil UMS"* Vol 8, No. 2, Juli 2008.
13. Widiанти, A., Hartono, E. dan Muntohar, A.S. (2007). Kekuatan Geser Campuran Tanah – Kapur - Abu Sekam Padi dengan Inklusi Kadar Serat Karung Plastik yang Bervariasi, *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Semesta Teknik*, Vol. 10 No.1, Mei 2007.
14. Widiанти, A., Diana, W. dan Wahyudi, D. (2005). Perancangan Fondasi Pada Tanah Timbunan Sampah (Studi Kasus di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Piyungan, Yogyakarta), *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Semesta Teknik*, Vol. 8 No.1, Mei 2005.
15. Hardwiyono, S, dan Widiанти, A. (2004). Pemanfaatan batu gamping keprus sebagai campuran agregat pada lapisan fondasi agregat kelas B, *Prosiding Simposium VII FSTPT*, 11 September 2004, Bandung.
16. Setyawan, R.N., dan Widiанти, A. (2004). Pengaruh penambahan limbah karbit terhadap nilai parameter kuat geser tanah lempung, *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Semesta Teknik*, Vol. 7 No.1, Mei 2004.
17. Abidin, Z., dan Widiанти, A. (2002). Pengaruh waktu pemeraman terhadap sifat fisis tanah lempung Ngramang dengan bahan tambah limbah karbit, *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Semesta Teknik*, Vol. 5 No.3, Nopember 2002.
18. Widiанти, A. (2002). Pengaruh persentase dan gradasi pasir sungai terhadap perbaikan sifat tanah lempung (Studi kasus tanah lempung di Kasihan, Bantul), *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Semesta Teknik*, Vol. 5 No.2, Juli 2002.
19. Widiанти, A., Suryolelono, K.B., dan Suhendro, B. (2002). Pengaruh beban dinamis terhadap fungsi filter geotekstil yang diletakkan di atas subgrade struktur jalan, *Jurnal Ilmiah Terakreditasi Media Teknik UGM*, No. 2 Tahun XXIV, Mei 2002.
20. Hantoro, G., dan Widiанти, A. (1999), Karakteristik agregat kasar dengan dilapisi mortar, *Jurnal Wahana Teknik*, Vol. 1 No. 2, Agustus 1999.
21. Widiанти, A. (1999). Penggunaan geosintetik sebagai bahan drainase vertikal, *Jurnal Semesta Teknik*, Vol.1 No. 1, Maret 1999.

E. KEGIATAN MENGIKUTI FORUM ILMIAH

No	Jenis Kegiatan	Kedudukan /Tingkat	Penyelenggara	Tanggal
1	2	3	4	5
1	Mengikuti Kuliah Umum “ Metode Perbaikan tanah lunak”	Peserta	UMY	6 Desember 2013
2	Mengikuti Kuliah Umum “Kerentanan Bangunan terhadap Gempa”	Peserta	UMY	28 November 2013
3	Mengikuti Seminar Nasional III Teknik Sipil 2013	Pembicara	UMS	21 Mei 2013
4	Mengikuti Workshop : "CDIO Workshop Part I : Introduction to CDIO Teaching and Learning Framework “.	Peserta	UMY	2 Februari 2013
5	Mengikuti “ Sosialisasi Standar Nasional Indonesia (SNI) Bidang Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Untuk Kalangan Akademisi”	Peserta	Departemen Pekerjaan Umum	6 Desember 2012
6	Mengikuti “ Workshop Penyusunan Borang Akreditasi Program Studi Sarjana”	Peserta	UMY	19 Desember 2011
7	Mengikuti Workshop Nasional : “Strategi Promosi yang Kreatif”	Peserta	UMY	10 Oktober 2009
8	Mengikuti Lokakarya Nasional : “Pengelolaan Jurnal yang Memenuhi Standar & Tata Kelola Nasional”	Peserta	UMY	9 Oktober 2009
9	Mengikuti Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) 3	Pembicara	UPH Jakarta	6-7 Mei 2009
10	Mengikuti Kegiatan Refreshing Al-Islam & Kemuhammadiyahahan Bagi Pimpinan & Dosen UMY.	Peserta	UMY	18 - 20 Juni 2008
11	Mengikuti Pelatihan : “Pemanfaatan Hasil Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Kreativitas Mahasiswa Berpotensi Paten”.	Peserta	UMY	13 - 15 Maret 2008
12	Mengikuti Konferensi Nasional Transportasi dan Geoteknik dalam Rekayasa Teknik Sipil.	Peserta	UNS	24 Februari 2007
13	Pemateri Pelatihan : “Metodologi Penelitian Tingkat Lanjut untuk Dosen Perguruan Tinggi Muhammadiyah”.	Pembicara	UMY	29 - 31 Agustus 2006

1	2	3	4	5
14	Mengikuti Seminar Nasional Geoteknik.	Peserta	JTS FT UGM	11 Juli 2006
15	Mengikuti Kursus Singkat : Al-Islam 1.	Peserta	UMY	18 Februari - 29 April 2006
16	Mengikuti Workshop : Lecturer Soft Skill Development Program	Peserta	UMY	21-22 Januari 2006
17	Mengikuti Seminar Nasional : Research Collaboration on Geotechnical Engineering	Peserta	Fakultas Teknik UMY	17 Desember 2004
18	Mengikuti Seminar Nasional : Kondisi dan Prospek Pengembangan Transportasi Darat di Indonesia	Peserta	Fakultas Teknik UMY	24 April 2004
19	Mengikuti Seminar Nasional Bidang Infrastruktur 2002	Pembicara	FT UMY	12 September 2002
20	Mengikuti Seminar Nasional Bidang Keteknikan 2001	Peserta	FT UMY	21 Februari 2001
21	Mengikuti Kajian Islam Intensif Dosen Tetap UMY	Peserta	LPPI UMY	10-11 Februari 2001
22	Mengikuti Seminar Nasional Geoteknik '99	Peserta	JTS FT UGM	8 November 1999
23	Mengikuti Workshop Kerja Praktek dan Tugas Akhir	Peserta	FT UMY	8 Mei 1999
24	Mengikuti Seminar Regional Antar PTS Kopertis Wilayah V DIY Bidang Teknik Sipil dan Arsitektur	Peserta	FT UMY	2 Mei 1998
25	Mengikuti Seminar Regional Antar PTS Kopertis Wilayah V DIY Bidang Teknik Sipil dan Arsitektur	Peserta	Universitas Kristen Immanuel	4 Oktober 1997
26	Mengikuti Seminar Regional Antar PTS Kopertis Wilayah V DIY Bidang Teknik Sipil dan Arsitektur	Peserta	Akademik Teknik YKPN	24 Agustus 1996
27	Mengikuti Seminar Regional Antar PTS Kopertis Wilayah V DIY Bidang Teknik Sipil dan Arsitektur	Peserta	FT UMY	27 April 1996
28	Mengikuti Diskusi Panel Alternatif jalan layang di Yogyakarta Dalam Tinjauan Ekonomi, Transportasi dan Sosial-Budaya	Peserta	UII	13 April 1996

1	2	3	4	5
29	Mengikuti Seminar Bulanan dosen Fakultas Teknik UMY	Pembicara	JTS FT UMY	Januari 1996
30	Mengikuti Seminar Regional Antar PTS Kopertis wilayah V DIY Bidang Teknik Sipil dan Arsitektur	Peserta	FTSP UII	23 Desember 1995
31	Mengikuti Seminar Keterkaitan Pola Pendidikan teknik Mesin Terhadap Kualifikasi Kebutuhan Sumber Daya Manusia dalam Era Industrialisasi	Peserta	UMY	29 Juli 1995
32	Mengikuti Lokakarya Program Pengembangan Ketrampilan Dasar Teknik Instruksional	Peserta	UMY	17-27 Juli 1995
33	Mengikuti Seminar Nasional : Manajemen Lalulintas yang Berwawasan Lingkungan	Peserta	UMY	5 Juni 1995
34	Mengikuti Seminar Hasil Penelitian	Peserta	Kopertis Wilayah V	31 Maret 1995
35	Mengikuti Seminar Hasil Penelitian	Peserta	Kopertis Wilayah V	25 Maret 1995
36	Mengikuti Pelatihan AutoCad	Peserta	UMY	2 - 8 Januari 1995
37	Mengikuti Penataran Metodologi Penelitian bagi Dosen PTS di Lingkungan Kopertis Wilayah V	Peserta	Kopertis wilayah V	1 - 4 Agustus 1994
38	Mengikuti Seminar Nasional dan Kursus singkat “ Bencana Alam dan Upaya Penanggulangannya	Peserta	PAU Ilmu Teknik UGM	18 - 22 oktober 1993
39	Mengikuti Seminar Nasional : Pembangunan yang Berwawasan Lingkungan dalam Proses Industrialisasi	Peserta	UMY	11 Oktober 1993

F. KEGIATAN PROFESIONAL / PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

No	Jenis Kegiatan	Tanggal
1	2	3
1	Perancangan Renovasi Sayap Selatan Masjid Al Asel di Perum Kanoman, Banyuraden, Gamping, Sleman.	2 September s/d 30 Desember 2013
2	Pengawasan Pembangunan Masjid Al-Furqon, Dusun Kadirojo, Desa Jamus Kauman, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang.	1 Oktober 2012 s/d 5 Januari 2013
3	Perencanaan Masjid Al-Furqon, Dusun Kadirojo, Desa Jamus Kauman, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang.	1 Oktober 2012 s/d 5 Januari 2013
4	Perencanaan Pembangunan Ruang Ketrampilan di Sekolah Luar Biasa Ganda Daya Ananda, Kadirojo, Purwomartani, Kalasan, Sleman.	Mei 2011 s/d Agustus 2011
5	Pelaksanaan Pembangunan Ruang Ketrampilan di Sekolah Luar Biasa Ganda Daya Ananda, Kadirojo, Purwomartani, Kalasan, Sleman.	Oktober 2011 s/d Desember 2011
6	Pembangunan Balai Dusun Pedukuhan I, Banyuraden, Gamping, Sleman.	3 Januari 2009 s/d 8 April 2009
7	Pelaksanaan Konstruksi Perkerasan Jalan di Pleret, Bantul.	15 Juli 2007 s/d 5 Agustus 2007
8	Pembangunan Jembatan Penghubung Desa Ngestiharjo, Kasihan, Bantul & Banyuraden, Gamping, Sleman.	17 Februari 2007 s/d 28 Mei 2007
9	Pelaksanaan Pembangunan Perluasan Masjid Tahap II Banyuraden, Gamping, Sleman.	31 Maret 2005 s/d 30 Juni 2005
10	Perancangan Teknik dan Pelaksanaan Pembangunan Perluasan Masjid Banyuraden, Gamping, Sleman.	28 Juni 2004 s/d 11 September 2004
11	Program Pengerasan Jalan dengan Conblock di Dusun Banyuraden, Gamping, Sleman	28 April 2004 s/d 13 Juni 2004
12	Perencanaan Pembangunan Gedung SD Muhammadiyah Ambarketawang, Gamping, Sleman.	30 September 2003 s/d 28 Desember 2003
13	Pembangunan Tempat Wudlu dan Kamar Mandi Masjid, Tamantirto, Kasihan, Bantul	30 September 2003 s/d 27 Desember 2003
14	Program Pengerasan Jalan dengan Conblock di Dusun Panggungan, Trihanggo, Gamping, Sleman	Juni s/d Agustus 2002
15	Perencanaan Teknik Perbaikan Jalan di dusun Dukuh, Donomulyo, Nanggulan, Kulon Progo	Juni 2000
16	Penyelidikan Tanah dan Perancangan Fondasi pada Pembangunan Sekolah Dasar Islam Terpadu Luqman al-Hakim Yogyakarta	29 November 1998 s/d 4 Januari 1999.

1	2	3
17	Pelaksanaan Konstruksi Water Tower, Fasilitas Wudlu dan Sumur Resapan di Dusun Kanggotan, Pleret, Bantul	28 November 1998 s/d 15 Desember 1998
18	Pangadaan Lapangan Badminton di Pakuncen, Wirobrajan, Yogyakarta	18-27 Mei 1997
19	Perencanaan dan Pelaksanaan Pembuatan Saluran air Minum / Instalasi Air bersih di Tritis, Girikerto, Sleman	20 Agustus s/d 10 Desember 1994

G. JABATAN DALAM PENGELOLAAN INSTITUSI

Peran/Jabatan	Institusi	Tahun
Ketua Program Studi	Teknik Sipil FT UMY	2013 - 2017
Sekretaris Program Studi	Teknik Sipil FT UMY	2011 - 2013
Bendahara	Forum Grup Diskusi Teknologi Perguruan Tinggi Muhammadiyah	2013 - 2015
Anggota	Tim Penilai Angka Kredit UMY	2013
Komisi I	Senat UMY	2011 - 2017
Sekretaris	Senat Fakultas Teknik UMY	2009 - 2013
<i>Tim Editor</i>	Jurnal ilmiah SemestaTeknika FT UMY	2014 - 2017
<i>Managing Editor</i>	Jurnal ilmiah SemestaTeknika FT UMY	2009 - 2014
Kepala	Laboratorium Mekanika Tanah	2008 - 2009
Kepala	Laboratorium Mekanika Tanah	1997 - 1998
Sekretaris	Lembaga Konsultasi dan Pelayanan Teknik (LKPT) FT UMY	1994 - 1998

H. PENGHARGAAN

Bentuk Penghargaan	Pemberi	Tahun
Tanda Kehormatan Presiden RI Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden RI	2012
<i>Teaching Award</i> bagi Pegawai Edukatif UMY	Rektor UMY	2011
Tim Pemantau Independen Ujian Nasional 2010	BSNP-TPI DIY	2010

Yogyakarta, 22 April 2014



Ir. Anita Widiyanti, MT

KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

Nomor Permohonan, Waktu, Merek, Jumlah Uang, Petugas Loker*

Tanggal Penerimaan *

FORMULIR PERMOHONAN MEREK

Dengan ini kami/saya mengajukan permohonan merek Dagang Jasa dengan data sebagai berikut :

1. Data Pemohon <input type="checkbox"/> Perorangan <input type="checkbox"/> Badan Hukum <input type="checkbox"/> Kolektif			
Nama			
Warga Negara			
Alamat			
Kota		Propinsi	
Kode Pos		Negara	
Telepon		Email	
Alamat Korespondensi			
Kota		Propinsi	
Kode Pos		Negara	
Telepon		Email	
2. Melalui Konsultan <input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak			
Nomor dan Nama Konsultan HKI			
Nama Kantor Konsultan HKI			
Alamat Kantor Konsultan HKI			
Telepon/Fax		Email	
3. Data Prioritas <input type="checkbox"/> Dengan Hak Prioritas <input type="checkbox"/> Tidak Dengan Hak Prioritas			
Nomor Prioritas	Tanggal Prioritas	Negara	

4. Uraian Merek

Merek		Etiket
Uraian Warna Etiket		
Arti Bahasa/Huruf/ Angka Asing Dalam Etiket		
Kelas Barang/Jasa		
Jenis Barang/Jasa		

5. Biaya

Jumlah biaya yang dibayarkan	Dasar	Rp	
	Kelebihan jenis barang/jasa	Rp	

Lampiran

- Surat Pernyataan Kepemilikan
- 5 lembar etiket
- Salinan Akta Perusahaan
- Surat Kuasa Bermaterai
- Bukti Prioritas Asli
- Terjemahan Bukti Prioritas
- Salinan Peraturan Penggunaan Merek Kolektif
- Foto copy KTP
- Bukti Pembayaran

Tanggal

Pemohon/Konsultan

Nama Jelas

Cap dan tanda tangan Petugas

Lampiran Data Pemohon (Tambahan)

Nama			
Warga Negara			
Alamat			
Kota		Propinsi	
Kode Pos		Negara	
Telepon		Email	

Nama			
Warga Negara			
Alamat			
Kota		Propinsi	
Kode Pos		Negara	
Telepon		Email	

Nama			
Warga Negara			
Alamat			
Kota		Propinsi	
Kode Pos		Negara	
Telepon		Email	

Nama			
Warga Negara			
Alamat			
Kota		Propinsi	
Kode Pos		Negara	
Telepon		Email	

Lampiran Kelas dan Jenis Barang/Jasa (Tambahan)

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa

Kelas Barang/Jasa

Jenis Barang/Jasa



The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)

Simultaneous in-situ stiffness and anomalies measurement on pavement subgrade using tomography surface waves technique

Sri Atmaja P. Rosyidi^{a,*}

^a*Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta, Indonesia*

Abstract

Non-destructive testing (NDT) has been developed as an effective tool in road evaluation system in order to in-situ assess the stiffness parameter of pavement layer, particularly in conducting a quick assessment on soil subgrade layer. The NDT method based on the seismic surface wave measurement has been recently developed and applied for material evaluation of road-pavement, i.e. the shear wave velocity, Poisson's ratio and dynamic elastic modulus. In this paper, an improved technique of tomography surface waves measurement for simultaneously evaluation of stiffness and anomalies of pavement soil-subgrade is presented. The method performs the time-frequency spectrum analysis on recorded seismic wave data, which is non-destructively sampling the subgrade layers properties. An interactive wavelet analysis is used in the spectrum analysis to produce the real phase velocity and its corresponding shear wave velocity. Using principal of stress-strain material in elastic behavior, the elastic modulus parameter of soil-subgrade layers is then generated. This method is improved for producing the 2-D elastic modulus profile and at the same time, it shows the structure anomalies in the investigated subgrade layers. The higher elastic modulus values can be found in the subgrade layer with more homogeneous soil densities that may be produced from a good degree of compaction. While the lower elastic modulus can be identified in the subgrade layers which are having many structural anomalies. From this study, it can be shown that the tomography seismic surface wave technique is able to simultaneously determine the stiffness and structure anomalies within existing road pavement. Thus, this method can be potentially advanced and developed as an innovative material evaluation device for pavement structures.

© 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of organizing committee of The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)

Keywords: tomography surface wave; pavement evaluation; anomalies; stiffness

* Corresponding author. Tel.: +62 274 387656; fax: +62 274 387646.
E-mail address: atmaja_sri@umy.ac.id

1. Introduction

In the pavement management system (PMS), an important aspect of management process is to determine the current and to predict the future structural capacity of the pavement. In order to establish the structural capacity of the existing roads, accurate information of the layer elastic moduli and thicknesses are needed. Those parameters are used to calculate load capacity to predict the performance of roads in order to select and design appropriate rehabilitation. Nowadays, the need of accurate, cost-effective, fast and non-destructive testing (NDT) evaluation of pavement system is becoming ever important because the rehabilitation and management of roads is becoming increasingly difficult due to the increasing number of aging roads and limited budgets. Comparing to the NDT methods, conventional methods of pavement failure investigation include visual observation of base course condition, extraction and examination of core samples from rutted sections and analyzing lab test results from the cores. These methods are expensive and required a lot of work and time to be performed.

One of NDT methods is the spectral analysis of surface wave (SASW) which is a geophysical testing method based on the dispersion of Rayleigh waves (R waves) to determine the shear wave velocity corresponding to dynamic elastic modulus and depth of each layer of the pavement profile. The SASW method has been used for pavement layer thickness evaluation, concrete bridge condition assessment, elastic and shear modulus measurement of pavement materials, soil density assessment [1]. The results of these studies show that the SASW method can be a useful tool for pavement evaluation and inspection works.

Herein, the study introduces the tomography surface wave technique which is an innovation seismic method combined between the SASW method and tomography technique to evaluate the soil subgrade pavement condition and its possible anomalies or deterioration. Study was carried out in 83 observed sites of existing highway pavement in Raya Cipatik Road, Soreang and Jalan Cagak Road, Subang, West Java. The FWD method was also employed to validate the elastic modulus of pavement soil subgrade produced from the analysis. Results of this study used in developing nondestructive and cost-effective measures for pavement rehabilitation.

2. Research Method

The tomography surface waves technique is an improved system on the spectral analysis of surface waves (SASW) method. The technique is originally based on the measurement of R wave particles in heterogeneous media. The R wave energy from the point source propagates mechanically along the surface of media and their amplitude decrease rapidly with depth. R wave velocity has uniqueness characteristic which it varies with frequency in different stiffness layers of solid medium. This phenomenon is termed dispersion where the frequency is dependent on R wave velocity. The shorter wavelength of high frequency penetrates the shallower zone of the near surface and the longer wavelength of lower frequency penetrates deeper into the medium. The dispersion of R wave velocity versus wavelength can be identified through phase information of the transfer function spectrum generated from the field measurement.

2.1. Field measurement

The general measurement system of tomography surface waves technique is illustrated in Figure 1. Several impact sources on a pavement surface are used to generate R waves. These waves are detected using two until four accelerometers where the signals are recorded using an analog digital recorder. In this study, the short receiver spacings with combination of 5, 10 and 20 cm with a high frequency source (ball bearing) were used to sample the pavement surface layers while the long receiver spacings of 20, 40 cm and 80, 160 cm with a set of low frequencies sources (a set of hammers) were used to sample the base and subgrade layers, respectively. Several configurations of the receiver and the source spacings are required in order to sample different depths and configuration of mid-point receiver is recommended for tomography surface wave technique.

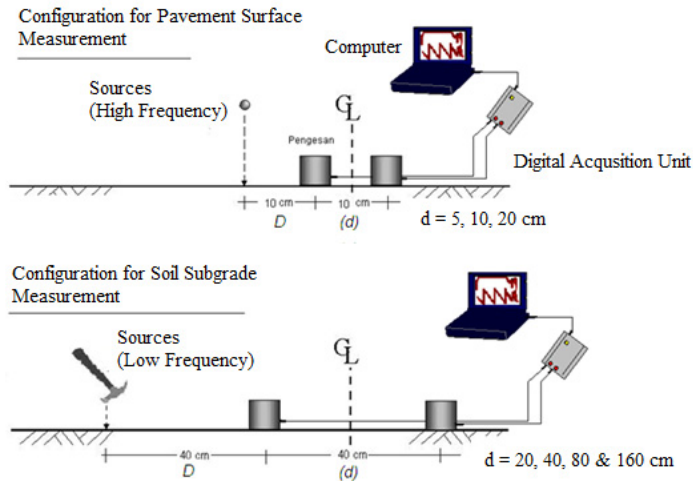


Fig. 1. Field measurement of tomography surface wave technique for pavement and soil subgrade measurement

2.2. Data analysis

All the data collected from the recorder are transformed using the *Fast Fourier Transform* (FFT) and *Continuous Wavelet Transform* (CWT) algorithm to frequency domain. Two important spectrums used in this measurement, i.e., the coherence function and the phase information of the transfer function were configured in the data analysis. The coherence function is an easy way to visually examine the quality of signals being recorded in the field measurement and the transfer function spectrum is used to obtain the relative phase shift between the two signals in the range of the frequencies being generated.

The CWT filtration was performed by using on the wavelet spectrogram for obtaining the time and frequency localization thresholds. The CWT is defined as the inner product of the family wavelets $\Psi_{\sigma,\tau}(t)$ with the signal of $f(t)$ which is given as [2]:

$$F_W(\sigma, \tau) = \langle f(t), \psi_{\sigma,\tau}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \bar{\psi}\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) dt \tag{1}$$

where $\bar{\psi}$ is the complex conjugate of ψ , $F_W(\sigma,\tau)$ is the time-scale map. The convolution integral from Eq. (1) can be computed in the Fourier domain.

In this study, the CWT filtration is developed base on the simple truncation filter concept which only considers the passband and stopband. Threshold values in time and frequency domain are as filter values between passband and stopband. It allows a straight filtering in each of the dimensions of times, frequencies and spectral energy. The noisy or unnecessary signal can be eliminated by zeroing the spectrum energy and they are fully removed when reconstructing the time domain signal. Thus, the interested spectrum of signals can be passed when the spectrum energy is not set as 0 or it is maintained in original value. Proposed design of the CWT filtration can be written as:

$$f(s) = \begin{cases} 0, & 1 \leq s \leq F_l \\ 1, & F_l \leq s \leq F_h \\ 0, & F_h \leq s \leq N \end{cases} \quad f(u) = \begin{cases} 0, & 1 \leq u \leq T_l \\ 1, & T_l \leq u \leq T_h \\ 0, & T_h \leq u \leq N \end{cases} \tag{2}$$

The value of 1 means the spectrum energy is passed and the value of 0 represents as the filtration criteria when the spectrum energy is set as 0. The phase difference from reconstructed signals at each frequency is then calculated in order to develop the phase spectrum for the experimental dispersion curve. The phase difference data can be obtained from:

$$\phi_n(f) = \arctan \left(\frac{\Im \{s^{-1} W_n^{XY}(s)\}}{\Re \{s^{-1} W_n^{XY}(s)\}} \right) \quad (3)$$

where $W_n^{XY}(s) = W_n^X(s) W_n^{Y*}(s)$ = wavelet cross spectrum

The time of travel between the receivers for each frequency from wavelet cross spectrum can be calculated by:

$$t(f) = \frac{\phi(f)}{360 f} \quad (4)$$

where f is the frequency, $t(f)$ and $\phi(f)$ are respectively the travel time and the phase difference in degrees at a given frequency. The distance of the receiver (d) is a known parameter. Therefore, R wave velocity, V_R or the phase velocity at a given frequency is simply obtained by:

$$V_R = \frac{d}{t(f)} \quad (5)$$

and the corresponding wavelength of the R wave, L_R may be written as:

$$L_R(f) = \frac{V_R(f)}{f} \quad (6)$$

By unwrapping the data of the phase angle from the transfer function, a composite experimental dispersion curve of all the receiver spacings are generated. By repeating the procedure outlined above and using equation (4) through (6) for each frequency value, the R wave velocity corresponding to each wavelength is evaluated and the experimental dispersion curve is subsequently generated.

The actual shear wave velocity of the pavement profile is produced from the inversion of the composite experimental dispersion curve. An inversion procedure uses stress-wave propagation theory. The propagation theory models a theoretical dispersion curve, which is compared with experimental dispersion curve. In this study, an automated forward modeling analysis of the 3 dimensional (3-D) dynamic stiffness matrix method [3] was used for generating the theoretical dispersion curve. Consequently, the theoretical dispersion curve is compared with the experimental dispersion curve. If the two dispersion curves do not match, the pavement profile is adjusted and another theoretical dispersion curve is calculated. An interactive iteration procedure, i.e., maximum likelihood method [4] is then conducted until the two curves match, and then the associated profile is considered the representative pavement profile.

2.3. Stiffness prediction

The material stiffness of pavement, i.e., dynamic elastic moduli can be obtained from the following relationship between the shear wave velocity (V_s), the gravitational acceleration (g), the total unit weight (γ) and the Poisson ratio (μ):

$$E = 2 \frac{\gamma}{g} V_s^2 (1 + \mu) \quad (7)$$

where E is the dynamic elastic modulus. [5] explained that the modulus parameter of material is maximum at a strain below about 0.001 %. In this strain range, modulus of the materials is also taken as constant.

3. Results and Discussion

3.1. Elastic modulus of soil subgrade

From the recorded seismic signals, it can be recognized that higher amplitude is measured for first mode of R-wave amplitude. It is also noted that the decreasing signal magnitude is identified as the R-wave attenuation in the soil layer which is an important characteristic for energy decrement. The waveform of seismic signal recorded in measurement is transient and non-stationary event. Weak recorded signal of seismic wave can be also identified as an effect of environmental noise which maybe produced from ground or traffic noise and man-made vibration. This means that either the input signals or behaviours of system at different moments in time were not identical. When the signals were transformed into frequency domain, time-dependent behaviour of the seismic waves and noise events vanished. In the energy content which these events present at different times and frequency, would not be picked up by a conventional Fourier analysis. In other word, the conventional spectral analysis of non-stationary signal of seismic waves cannot describe the local transient event due to averaging duration of signals. It also cannot instantly separate the event of true seismic waves from noise signals. Consequently, it is difficult to capture the correct phase information in transfer function of both signals. The time-frequency (TF) analysis of CWT was then employed to overcome the identification problem of spectral characteristic of non-stationary seismic wave signals. From CWT on analysis both signals, its phase spectrum can be clearly displayed as Figure 3. Based on phase difference from multiplication on both spectrum functions at each frequency, the experimental dispersion curve of SASW measurement from several sites can be generated. Figure 2 shows an example of phase difference versus frequency plot produced from the CWT analysis from this study. It was measured for 80 cm receiver spacing which is employed for detecting the pavement soil subgrade.

An example of the shear wave profile from the result of the inversion process in the SASW method on the existing pavement is shown in Figure 3. Using the dynamic material equation (Equation 7), its equivalent dynamic elastic modulus profile is given in Figure 3. Each layer of the pavement profile was clearly detected by the 3-D inversion analyses compared to the core profile. Particularly for pavement surface layer, between the overlay and original layer was distinguished well.

The FWD method was also employed to validate the subgrade elastic modulus produced from the SASW test. The elastic modulus of subgrade layer obtained from FWD and SASW measurements are shown in Figure 4. The elastic modulus of the subgrade layer obtained from the SASW is larger comparison with value determined by the FWD. As mentioned earlier, the modulus measured at very low strain levels associated with surface wave method is in maximum value and it is independent from strain amplitude. Second, the high frequency used in the SASW result in higher values of stiffness for subgrade material. In the case of FWD, the modulus was measured at frequency of 30 Hz.

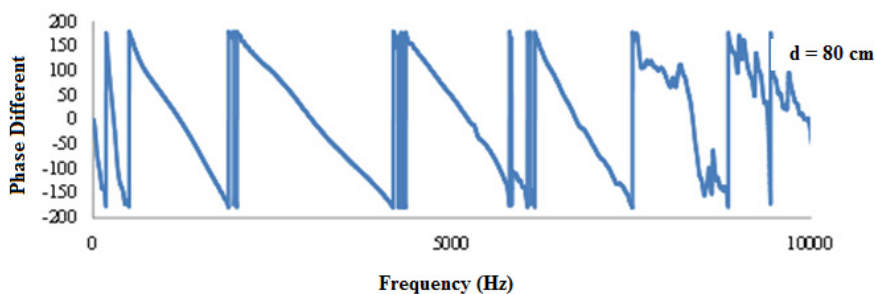


Fig. 2. An example of phase difference and frequency spectrum produced from teh CWT analysis for 80 cm receiver spacing of observed road site

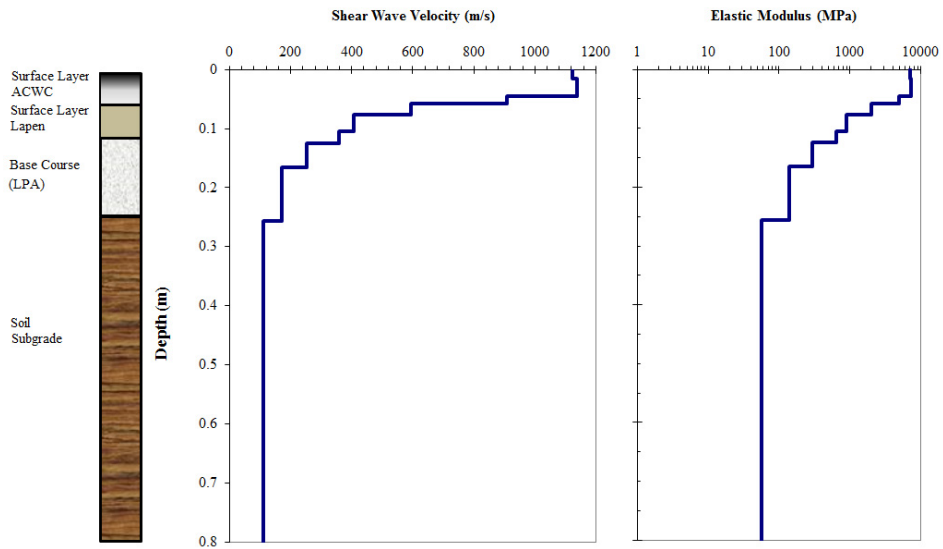


Fig. 3. An example of shear wave velocity profile and its equivalent elastic modulus on the existing pavement of observed road sites

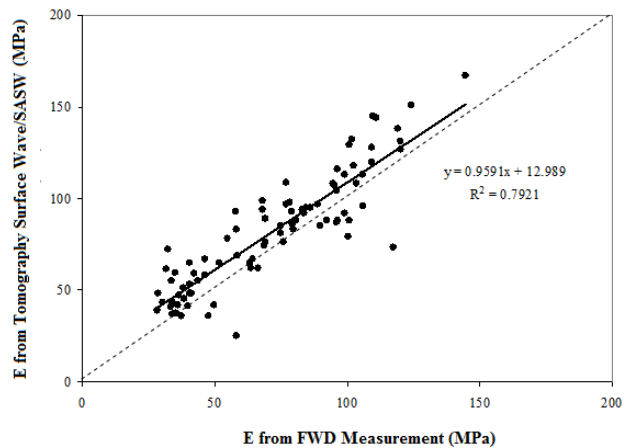


Fig. 4. Elastic modulus of subgrade layers from the Tomography Surface Wave/SASW test compared to the FWD test at observed road sites

3.2. 2-D tomography profile

The one dimensional shear wave velocities and its equivalent elastic modulus profile are obtained from the inversion analysis (Fig.3). The inversion of the dispersion of subsequent movement of the source to geophone array then produces the final two dimensional images as a 2-D tomography profile which is presented in Fig. 5. From 2-D tomography profile can be shown that the structure anomalies is investigated in soil subgrade layers. The higher elastic modulus values can be found in the subgrade layer with more homogeneous soil densities that may be produced from a good degree of compaction. While the lower elastic modulus can be identified in the subgrade layers which are having many structural anomalies. From this study, it can be shown that the tomography seismic surface wave technique is able to simultaneously determine the stiffness and structure anomalies within existing road pavement.

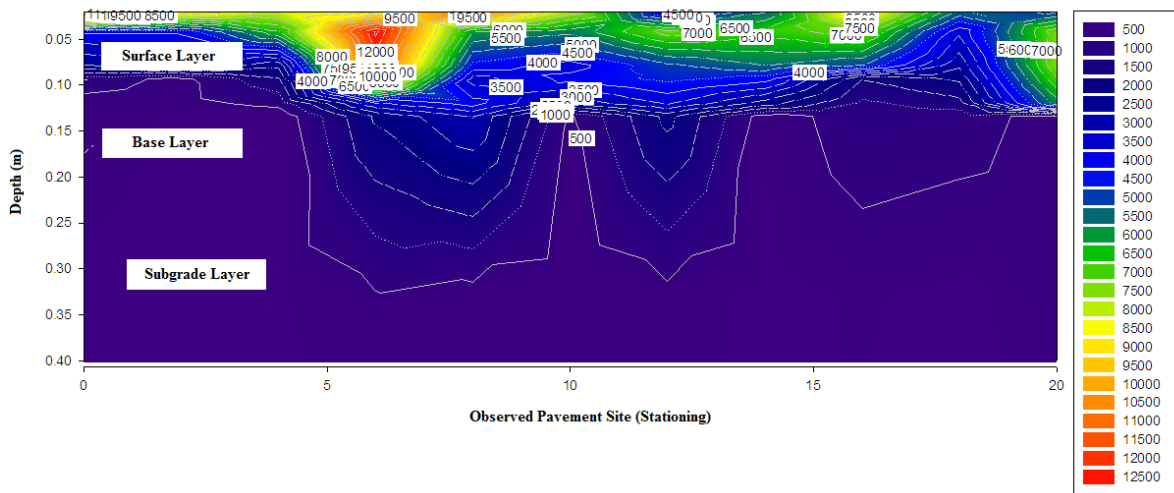


Fig. 5. Tomography profile of elastic modulus of subgrade layers from at observed road sites

4. Conclusion

The simultaneous measurement of stiffness and anomalies in the pavement soil subgrade layer using tomography surface wave method has been introduced in this study. The method is an innovative development from the spectral analysis of surface wave (SASW) method. The tomography surface wave method can be potentially advanced and developed as an innovative material evaluation device for pavement structures. However, due to the small strain levels and high frequency involved in the seismic measurement, the values of elastic modulus of the soil subgrade are in higher compared to modulus obtained from FWD measurement.

References

- [1] Rosyidi, S.A.P., Taha, M.R., Chik, Z., Ismail, A., Signal reconstruction of surface waves on SASW measurement using gaussian derivative wavelet transform, *Acta Geophysica* 57 , 3, (2009) 616-635.
- [2] Torrence, C., Compo, G.P., A practical guide to wavelet analysis, *Bull. of the Amer. Meteor. Soc.*, 79, 1 (1998) 61-78.
- [3] Kausel, E., Rössset, J.M., Stiffness matrices for layered soils, *Bulletin of the Seismological Society of America* 71, 6 (1981) 1743-1761.
- [4] Rosyidi, S.A.P., Metode analisis gelombang permukaan untuk penyelidikan sub-permukaan (surface wave analysis method for sub-surface investigation), LP3M UMY, 2013.
- [5] Nazarian, S., K.H. II Stokoe, In situ determination of elastic moduli of pavement systems by Spectral-Analysis-of-Surface-Wave method (theoretical aspects), Research Report 437-2, Center of Transportation Research. Bureau of Engineering Research, the University of Texas at Austin, 1986.