

## Korelasi Empirik antara Kecepatan Gelombang Permukaan terhadap Kepadatan dan Kekakuan pada Campuran Laston – WC

(Empirical Correlation of Surface Wave Velocity to Density and Stiffness of AC-WC mixture)

SRI ATMAJA P. ROSYIDI, INDRA ARIANI, SITI ISNAINI K. DJAHA

### ABSTRACT

Density and stiffness of asphaltic mixture are important parameter used for pavement design and construction. These parameter measure the required thickness of pavement. The aim of this study is to investigate the empirical relationship between pavement density and stiffness of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) and surface wave velocity. Surface wave velocity is obtained from the seismic test set up in laboratory. A high frequency of impact source is employed in order to produce the high frequency waves propagating in mixture samples. The wave displacement is measured by accelerometer receivers connected to the computer for signal processing and spectrum analysis. In this study, AC-WC mixture is prepared with 35×, 50×, 75× and 100× blows for providing sample with different density. From the results, it shows that the surface wave velocity is able to detect the various density of samples. Higher density of sample produces higher velocity and vice versa. Some empirical correlations between surface wave velocity with density and stiffness are also produced with significant statistical measures. This study shows the surface wave velocity is potential parameter employed for mixture assessment in pavement design and evaluation.

**Keywords:** *pavement, surface wave velocity, density, stiffness, AC-WC.*

### PENDAHULUAN

Kinerja campuran aspal untuk perkerasan lentur di Indonesia kebanyakan diukur menggunakan metode *Marshall* (RSNI M-01-2003), yang termasuk jenis pengujian destruktif (*Destructive Test*, DT), sehingga untuk mendapatkan hasil *trend data* yang optimal untuk tiap pengujian membutuhkan banyak benda uji. Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi baru yang mampu mengevaluasi kekuatan campuran aspal di laboratorium secara efektif, tidak mahal dan mudah.

Salah satu metode pengujian yang bersifat tidak merusak (*Non Destructive Test*, NDT) telah dikembangkan sejak tahun 1980 di *University of Texas at Austin* yaitu metode *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW). Teknik SASW memanfaatkan sifat alami rambatan gelombang seismik. Gelombang permukaan seismik memiliki sifat *dispersive* atau menyebar sehingga sifat penyebaran gelombang permukaan ini dapat dinyatakan dalam kurva dispersif kecepatan gelombang fase. Berbagai

penelitian membuktikan bahwa dengan metode SASW yaitu menggunakan rambatan gelombang seismik dapat mengukur kepadatan dan modulus elastisitas pada tanah dan perkerasan di lapangan.

Dong-Soo, dkk (2001) menggunakan teknik SASW untuk mengukur kepadatan lapisan tanah pada sampel yang dilakukan di laboratorium dan di lapangan. Pengujian karakteristik modulus dilakukan oleh Rosyidi, dkk (2006) yang melakukan pengujian di lapangan menggunakan teknik SASW dan membandingkan hasilnya dengan pengujian FWD (*Falling Weight Deflectometer*).

Dalam studi ini dilakukan analisis empirik antara kepadatan campuran Laston-WC dengan parameter cepat rambat gelombang permukaan seismik yang diukur dengan teknik SASW. Hubungan antara kecepatan gelombang permukaan dan kekakuan bahan campuran atau dinyatakan dalam nilai stabilitas *Marshall* juga turut dikaji untuk mengevaluasi kualitas bahan campuran tanpa merusak sampel. Kajian hubungan empirik dalam studi ini

merupakan kajian baru yang belum pernah dilakukan sebelumnya.

### Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*), termasuk dalam perkerasan untuk lapis permukaan yang berkualitas tinggi, terdiri dari aspal keras dan agregat bergradasi menerus, dicampur pada *asphalt plant*, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu.

Laston terdiri atas Laston Lapis Aus (AC-WC), Laston Lapis Permukaan Antara (AC-BC) dan Laston Lapis Fondasi (AC-Base). Kualitas dari campuran laston tergantung pada kualitas agregat dengan gradasi menerus, aspal pengikat, proses konstruksi dan perencanaan campuran.

### Kepadatan Campuran

Pemadatan campuran Laston (*Asphalt Concrete*) pada perkerasan lentur mempunyai peran yang sangat penting terutama dalam kinerja dari perkerasan ini. Nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan termasuk jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, kandungan aspal dan penggunaan bahan *additive* dalam campuran.

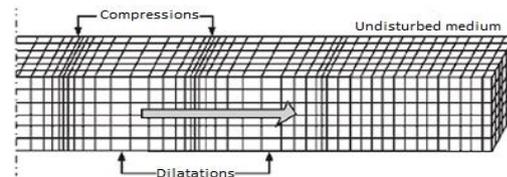
Campuran dengan nilai kepadatan yang tinggi akan mampu menahan beban lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki nilai kepadatan rendah. Selain itu kepadatan juga mempengaruhi nilai impermeabilitas campuran, yaitu semakin tinggi nilai kepadatan, maka nilai impermeabilitas juga akan semakin baik atau semakin kedap terhadap air dan udara.

### Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik adalah getaran yang merambat pada suatu medium dengan tidak disertai perubahan bagian-bagian medium itu sendiri, atau secara khusus dapat didefinisikan sebagai gelombang yang secara alamiah akan dihasilkan apabila suatu sumber mekanik dibangkitkan atau diberikan pada suatu media padat. Gelombang mekanik terdiri atas dua jenis gelombang yaitu gelombang tubuh (*primer* dan geser) dan gelombang permukaan berupa gelombang *Rayleigh* dan Love (Bolt, 1976).

#### 1. Gelombang P (Primer)

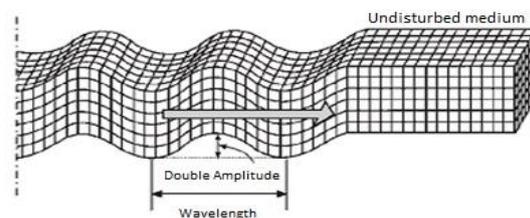
Gelombang P merupakan gelombang yang merambat secara longitudinal dari pusat gelombang yang gerakan partikelnya berjalan secara menerus sejajar dengan arah perjalanannya (Gambar 2.1). Gelombang P dapat merambat pada media yang padat maupun cair dengan kecepatan gelombang antara 1,4 sampai 6,4 km/detik (Tjokrodimulyo, 1995).



GAMBAR 1. Gelombang Primer (P) (Nazarian, 1984)

#### 2. Gelombang S (Sekunder)

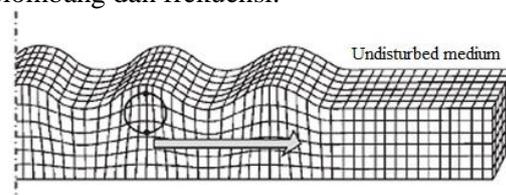
Gelombang S adalah gelombang sekunder atau bisa disebut juga dengan gelombang geser karena memiliki gaya geser dengan perambatan secara transversal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kecepatan gelombang S sekitar  $2/3$  kali kecepatan gelombang primer.



GAMBAR 2. Gelombang Geser (S) (Nazarian, 1984)

#### 3. Gelombang R (*Rayleigh*)

Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang yang partikel-partikelnya bergerak ke arah perambatan secara horisontal terhadap pergerakan gelombang dan terdapat gerakan berputar dalam permukaan vertikal yang tegak lurus terhadap arah perambatannya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pergerakan gelombang *Rayleigh* berlaku secara menyebar (*dispersion*) yang merupakan suatu fenomena alami sebagai fungsi frekuensinya, sehingga sifat perambatan dan penetrasi gelombangnya pada suatu media dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi.



GAMBAR 3. Gelombang *Rayleigh* (Nazarian, 1984)

### Kajian Kecepatan Gelombang Seismik pada Perkerasan Jalan

Penggunaan teknologi kecepatan gelombang seismik dikenal dengan nama *Spectral Analysis of Surface Wave (SASW)*. Untuk validasi pengukuran SASW di perkerasan jalan, Rosyidi dkk (2003, 2004) dan Rosyidi (2005, 2006), Rosyidi & Widodo (2209) telah menjalankan pengujian lapangan pada perkerasan lentur dimana menghasilkan persamaan empiris dari hubungan kapasitas kekuatan tanah terhadap nilai dinamis bahan yang diukur melalui gelombang. Hasil kajiannya menunjukkan bahwa terdapat nilai korelasi positif yang tinggi dari hubungan nilai CBR terhadap nilai kecepatan gelombang geser dan modulus elastik bahan yang dihasilkan dari pengukuran SASW. Hasil kajian tersebut menunjukkan potensi penggunaan SASW yang cukup luas untuk penilaian pemeliharaan suatu struktur khususnya perkerasan jalan.

#### Analisis Statistik

Analisis statistik meliputi dua tahap yaitu uji korelasi *Product Moment* dan uji *T-student*. Uji korelasi bertujuan untuk mengetahui arah dan kekuatan hubungan antara dua data numerik yang berkaitan, selanjutnya untuk mengetahui korelasi pada uji parametrik digunakan Koefisien Korelasi Pearson (**r**) dengan Persamaan (1).

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad \dots(1)$$

dengan:

- n = banyaknya sampel
- X = variabel independen (prediktor)
- Y = variabel dependen (hasil)

Nilai “**r**” berkisar antara 0,0 sampai 1,0. Semakin kecil nilai “**r**” semakin lemah korelasi, dan sebaliknya. Berikut pembagian kekuatan korelasi menurut Colton (Malonda, 2011):

1.  $r = 0,00 - 0,25$  (lemah)
2.  $r = 0,26 - 0,50$  (sedang)
3.  $r = 0,51 - 0,75$  (kuat)
4.  $r = 0,76 - 1,00$  (sangat kuat/ sempurna)

Setelah dilakukan uji korelasi, hasil perhitungan (**r**) dapat dilakukan uji hipotesis menggunakan uji *T-student* menggunakan Persamaan (2). Kriteria penerimaan hipotesis memiliki dua arah hubungan dalam korelasi, yaitu :

1. Jika kenaikan variabel diikuti penurunan oleh variabel lain, maka terdapat korelasi negatif ( $H_0$ ).
2. Jika kenaikan suatu variabel diikuti oleh kenaikan variabel lain, maka terdapat korelasi positif ( $H_a$ ).

$$t = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \quad \dots(2)$$

dengan :

- t = penguji koefisien korelasi ( $t_{hitung}$ )
- r = koefisien korelasi
- n = jumlah data

Hasil  $t_{hitung}$  kemudian dibandingkan dengan  $t_{tabel}$  dengan ketentuan bahwa:

1.  $H_0$  diterima jika,  $t_{hitung} \leq t_{tabel} (\alpha, n-2)$ ,
2.  $H_a$  diterima jika,  $t_{hitung} > t_{tabel} (\alpha, n-2)$ .

Nilai  $\alpha$  merupakan tingkat kepercayaan yang diasumsi, kemudian digunakan untuk menentukan  $t_{tabel}$  dengan menggunakan nilai  $\alpha$  dan nilai derajat kebebasan (dk) (Persamaan 3) sesuai Tabel *T-student*.

$$dk = n - 2 \quad \dots(3)$$

dengan: n = jumlah data.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini disusun dalam tiga tahap penelitian utama, yaitu pembuatan benda uji Laston (AC-WC). pengujian gelombang dengan teknik SASW, pengujian benda uji dengan menggunakan alat uji *Marshall*.

### Lokasi Penelitian

Penelitian pada tahap satu dan dua dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, sedangkan pengujian tahap ketiga dilakukan di Laboratorium Transportasi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

### Metode Pengambilan Data

Jenis data yang terdapat di dalam penelitian ini terdiri dari dua data, yaitu data primer dan data sekunder.

### Variabel Penelitian

Beberapa variabel penelitian yang diamati dalam penelitian ini antara lain:

1. Kecepatan gelombang primer ( $C_p$ ),
2. Variasi kepadatan sampel pada campuran laston,
3. Nilai stabilitas *Marshall*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan Campuran Laston

Hasil pemeriksaan aspal diberikan pada Tabel 1, sedangkan hasil pemeriksaan agregat kasar dan halus ditunjukkan pada Tabel 2. Pada pemeriksaan agregat kasar dan halus, diperoleh hasil memenuhi spesifikasi pengujian untuk campuran Laston, tetapi pada pengujian aspal terdapat satu jenis pengujian yang hasilnya tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, yaitu pengujian daktilitas diperoleh nilai 90, sedangkan spesifikasi yang disyaratkan SNI 06-2441-1991 adalah minimal 100 cm.

TABEL 1. Hasil pemeriksaan aspal keras Pen 60/70

Jenis Pengujian	Sat	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
			Min	Maks	
Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	71,54	60	79	SNI 06-2456-1991
Titik Lembek	°C	55	48	58	SNI 06-2434-1991
Titik Nyala	°C	254	200	-	SNI 06-2433-1991
Daktilitas	cm	90	100	-	SNI 06-2432-1991
Berat Jenis	gr/c m <sup>3</sup>	1,07	1	-	SNI 06-2441-1991
Kehilangan Berat	% berat	0,236	-	0,8	SNI 06-2440-1991

TABEL 2. Hasil pemeriksaan agregat kasar dan halus

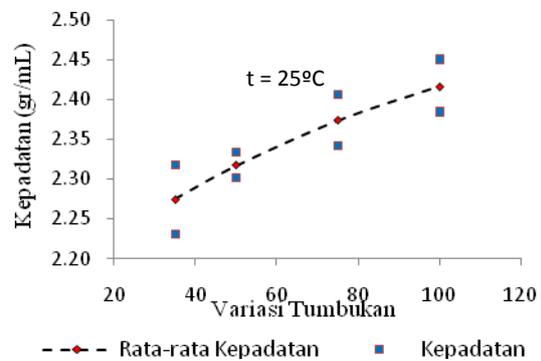
No	Jenis Pengujian	Sat	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Mak	
<b>I. Agregat Kasar</b>						
1	Berat Jenis Bulk	-	2,604	-	-	SNI 03-1969-1990
2	Berat jenis Apparent	-	2,667	2,5	-	SNI 03-1969-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,640	-	-	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan	%	0,95	-	3	SNI 03-1969-1990
5	Pengujian Abrasi	%	22,83	-	40	SNI 03-2417-1991
<b>II. Agregat Halus</b>						
1	Berat Jenis Bulk	-	2,582	-	-	SNI 03-1979-1990
2	Berat jenis Apparent	-	2,757	2,5	-	SNI 03-1979-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,640	-	-	SNI 03-1979-1990
4	Penyerapan	%	2,459	-	3	SNI 03-1979-1990

Faktor yang menyebabkan kegagalan pada pemeriksaan daktalitas ini adalah suhu pada saat pemeriksaan tidak sesuai dengan persyaratan yaitu 25° C dan kecepatan alat tidak sesuai dengan persyaratan yaitu 50 mm/menit. Pemeriksaan sudah mengikuti prosedur yang benar dan sudah dilakukan berulang-ulang.

### Hasil Pengujian Marshall

#### 1. Kepadatan

Dalam penelitian ini, dilakukan variasi tumbukan untuk mengetahui nilai kepadatan yang diperoleh dari campuran yang sama. Hasil dari pengujian Marshall ini diperoleh hubungan antara variasi tumbukan dengan kepadatan yang ditunjukkan dalam Gambar 4.



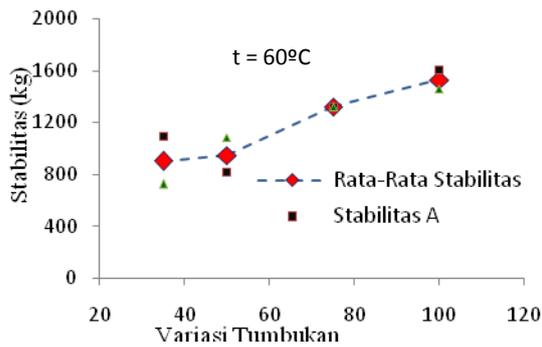
GAMBAR 4. Hubungan antara variasi tumbukan dengan kepadatan

Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah tumbukan yang semakin banyak menyebabkan ketebalan benda uji menjadi semakin kecil dan volume benda uji semakin kecil. Kepadatan berbanding terbalik dengan volume (R SNI M01-2003), sehingga nilai volume yang kecil menghasilkan nilai kepadatan yang tinggi.

Adapun rata-rata dari kepadatan yang diperoleh dari masing-masing variasi tumbukan menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pemadatan akan mempengaruhi nilai kerapatan dan volume rongga yang ada dalam campuran aspal. Semakin besar jumlah pemadatan maka akan diperoleh nilai kepadatan campuran aspal semakin tinggi.

#### 2. Stabilitas *Marshall*

Nilai stabilitas untuk masing-masing variasi tumbukan terdapat pada Gambar 5.



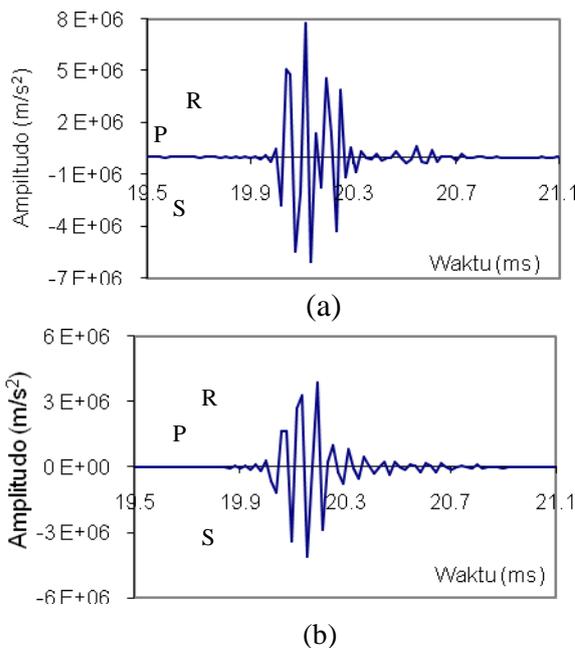
GAMBAR 5. Hubungan antara variasi tumbukan dengan stabilitas

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan yang diberikan, maka nilai VIM akan semakin kecil dan menyebabkan peningkatan nilai stabilitas. Berdasarkan RSNI 03-1737-1989, persyaratan untuk nilai stabilitas minimal adalah 800 kg, sehingga nilai stabilitas dari pengujian *Marshall* untuk penelitian ini memenuhi spesifikasi.

### Hasil Pengujian Kecepatan Gelombang Permukaan

#### 1. Hasil Pembacaan Data Seismik

Dalam penelitian ini untuk setiap jarak dari konfigurasi dilakukan perekaman gelombang sebanyak 10× untuk mendapatkan data yang terbaik.

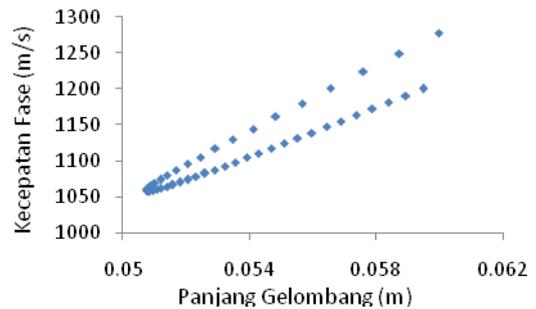


GAMBAR 6. Data digital gelombang yang diterima oleh sensor 1 (a) dan sensor 2 (b) dari penganalisis spektrum

Dari spektrum gelombang berdomain waktu, perambatan gelombang dapat ditampilkan dalam bentuk data digital, seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.

#### 2. Pembangunan Kurva Penyebaran

Dengan bantuan perangkat lunak WinSASW 2.4 perhitungan kecepatan fase secara otomatis dapat langsung ditampilkan sebagaimana diberikan dalam Gambar 7.



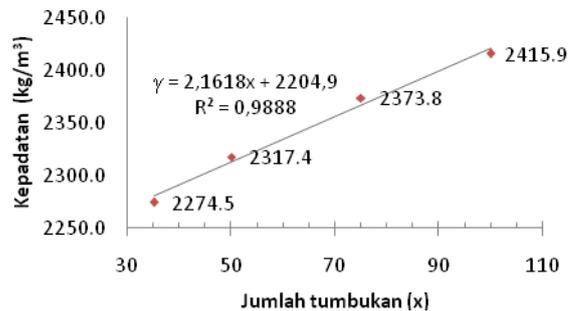
GAMBAR 7. Kurva penyebaran eksperimen pada konfigurasi dengan jarak 1,5 cm

#### 3. Proses Inversi dan Perhitungan Modulus Elastisitas

Data kecepatan gelombang dan hasil proses inversi diberikan pada Tabel 3.

### Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kepadatan dan Stabilitas Marshall

Dari pengujian *Marshall*, diperoleh hubungan jumlah tumbukan dengan kepadatan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8.

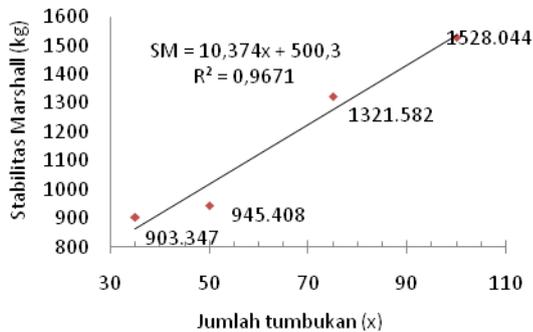


GAMBAR 8. Hubungan jumlah tumbukan dengan kepadatan

Dari Gambar 8, dapat diketahui bahwa jumlah tumbukan berpengaruh meningkatkan kepadatan dalam campuran beraspal. Campuran aspal kemudian diuji dengan pengujian *Marshall* untuk mengetahui nilai stabilitas *Marshall*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

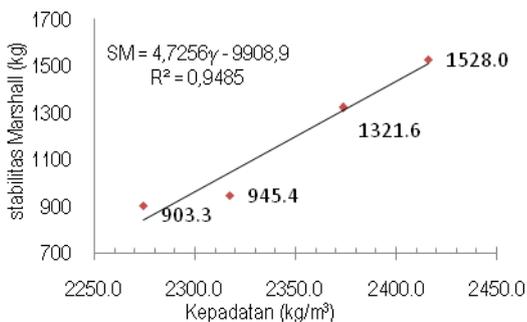
TABEL 3. Hasil Proses Inversi.

Jumlah tumbukan	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Vr (m/s)	Vs (m/s)	G (Mpa)	$\mu$	E (Mpa)
35×	2274,52	1296,82	1426,50	4718,06	0,14	10757,18
50×	2317,42	1448,86	1593,75	6000,33	0,15	13800,75
75×	2373,81	1546,21	1700,84	7000,06	0,19	16660,14
100×	2415,86	1650,00	1815,00	8112,53	0,22	19794,58



GAMBAR 9. Hubungan jumlah tumbukan dengan stabilitas Marshall

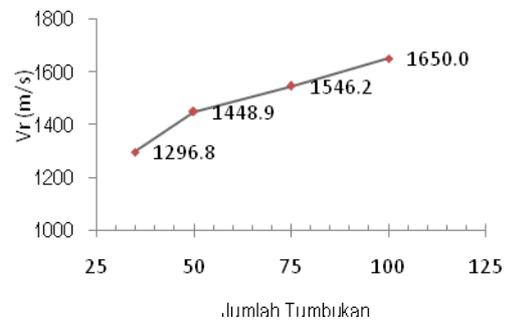
Dari Gambar 9, dapat diketahui bahwa semakin tinggi jumlah tumbukan maka nilai stabilitas Marshall juga semakin tinggi. Selain itu, terdapat juga hubungan stabilitas Marshall dengan kepadatan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 10. Dari Gambar 10 tersebut, terbukti bahwa kepadatan memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap stabilitas Marshall.



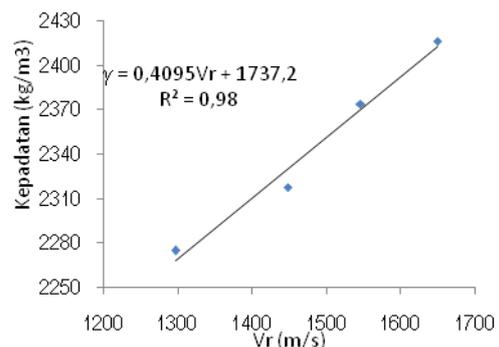
GAMBAR 10. Hubungan kepadatan dengan stabilitas Marshall

#### Hubungan Kepadatan dengan Kecepatan Gelombang Rayleigh

Nilai kecepatan gelombang rata-rata menunjukkan *trend* yang semakin tinggi pada benda uji dengan tumbukan yang lebih banyak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Selanjutnya, hubungan jumlah tumbukan terhadap kepadatan campuran dapat dideteksi dengan kecepatan gelombang Rayleigh, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



GAMBAR 11. Hubungan Jumlah tumbukan dengan kecepatan gelombang Rayleigh (Vr)

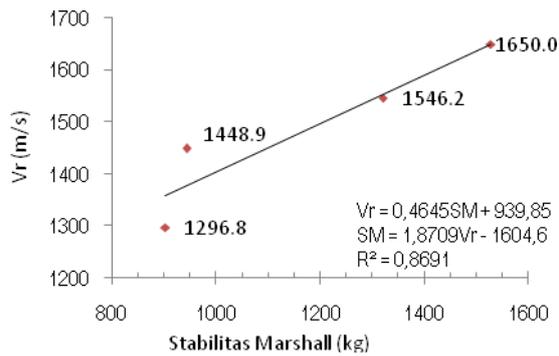


GAMBAR 12. Hubungan kepadatan dengan Kecepatan gelombang Rayleigh (Vr)

Dilihat dari koefisien determinasinya, terlihat bahwa hubungan antara kepadatan dengan kecepatan gelombang Rayleigh memiliki korelasi yang sangat kuat.

#### Hubungan Stabilitas Marshall dengan Kecepatan Gelombang Rayleigh

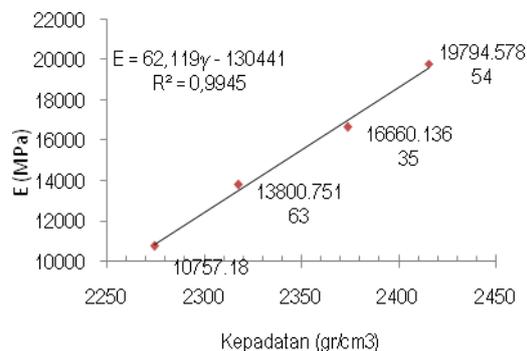
Dari hasil pengujian yang didapatkan, nilai stabilitas Marshall menunjukkan nilai yang semakin besar pada kecepatan gelombang yang lebih tinggi, seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Dilihat dari angka koefisien determinasinya, yaitu sebesar 0,869, dapat disimpulkan bahwa stabilitas Marshall dan kecepatan gelombang Rayleigh berkorelasi kuat.



GAMBAR 13. Hubungan stabilitas *Marshall* dengan kecepatan gelombang *Rayleigh* ( $V_r$ )

### Hubungan Kepadatan dengan Modulus Elastisitas

Hubungan antara kepadatan dengan Modulus Elastisitas ditunjukkan Gambar 14. Angka koefisien determinasinya menunjukkan bahwa modulus elastisitas hasil pengujian SASW berkorelasi linier dan positif dengan kepadatan campuran.



GAMBAR 4.11. Hubungan Kepadatan dengan modulus elastisitas hasil pengujian SASW

### Analisis Statistik untuk Hipotesis

Analisis statistik ini digunakan untuk menguji hipotesis terhadap hubungan (korelasi) antara kepadatan dengan kecepatan gelombang *Rayleigh*. Data yang digunakan adalah data kepadatan rata-rata dan kecepatan gelombang rata-rata. Sari hasil perhitungan, diperoleh nilai  $t$  ( $\alpha, dk$ ) menunjukkan angka 2,920 untuk  $\alpha = 0,05$  dan  $dk = 2$  sehingga kesimpulan yang dapat diambil yaitu  $t$ -hitung  $>$   $t$ -tabel maka  $H_0$  ditolak. Maka dapat dikatakan bahwa kecepatan gelombang *Rayleigh* mempunyai hubungan (korelasi) yang positif terhadap kepadatan campuran.

### KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Variasi jumlah tumbukan pada benda uji memberikan tingkat kepadatan yang berbeda dan kepadatan berkorelasi kuat dengan jumlah tumbukan yang diberikan.
2. Hipotesis dapat diterima atau dapat dinyatakan bahwa kecepatan gelombang *Rayleigh* berkorelasi positif dengan kepadatan, dengan persamaan  $\gamma = 0,4095V_r + 1737,2$ .
3. Terdapat hubungan korelasi linier antara kecepatan gelombang *Rayleigh* dan stabilitas *Marshall*, yaitu kecepatan gelombang *Rayleigh* berbanding lurus dengan nilai stabilitas *Marshall*, dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,86 dan persamaan empiriknya yaitu  $SM = 1,8709V_r - 1604,6$ .

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan kepada Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah menyediakan bantuan dana penelitian dan Universitas Kebangsaan Malaysia atas kerjasamanya dalam menyediakan beberapa peralatan pengujian dalam studi ini. Tak lupa penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Anita Rachmawati yang telah membantu penulis dalam menjalankan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bolt, B. A.1976. Nuclear Explosion and Earthquakes, W.H. Freeman and Co. San Fransisco,309 pp.
- Dong-Soo,K., Shin, M.-K. & Park H.C. 2001. Evaluation of density in layer compaction using SASW method. *Soil Dynamic & Earthquake Engineering* 21: 39-46
- Heisey, J.S., Stokoe II,K.H., Meyer, A.H. 1982. Moduli of Pavement Systems from Spectral Analysis of Surface

- Wave. *Transportation Research Record* 852, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp 22-31
- Nazarian, S.1984. In Situ Determination Of Elastic Moduli Of Soil Deposits And Pavement System By Spectral Analysis Of Surface Wave Method. Disertasi. University Of Texas. Austin.
- Rosyidi, S.A.P., 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, hlm 1-12.
- Rosyidi, S.A.P., & Taha, M.R. 2003. Use the shear wave velocity for predicting the stiffness of asphalt layer of pavement profile. Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7, Jakarta.
- Rosyidi, S.A.P., & Taha, M.R. 2004. Measurement of Pavement Moduli using Simple Surface Wave Propagation Technique. Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi VII, hlm 1-10.
- Rosyidi, S. A. 2005. Analisis Parameter Kecepatan Teoritik dan Nilai Beda Fase Gelombang Rayleigh Lapisan Aspal Perkerasan Jalan Berdasarkan Teori Perambatan Gelombang pada Media Yang Homogen dan Isotropik. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 8, No.1 hal. 90-104.
- Rosyidi, S. A. 2006. Kajian Metode Analisis Gelombang Seismik Permukaan (SASW) Untuk Pengembangan Teknik Evaluasi Perkerasan Lentur dan Kaku di Indonesia. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol 14, No. 3, Edisi XXXVI.
- Rosyidi, S. A, Sigfried,S., Hantoro, G., Taha, M. R. 2008. Perbandingan Hasil Pengukuran Modulus elastisitas antara Teknik SASW dan FWD pada Perkerasan Jalan. *Prosiding Simposium FSTPT XI*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Rosyidi, S.A.P., & Widodo, W. 2009. Investigasi Eksperimen Parameter Seismik dan Daya Dukung Tanah Dasa Perkerasan Menggunakan Metode Gelombang Permukaan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol 12, No.1 Hal 67-77.
- RSNI M-01-2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-1737-1989. Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) untuk Jalan Raya. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 06-2456-1991. Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen. Badan Standarisasi Nasional
- SNI 06-2434-1991. Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 06-2432-1991. Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Alat Cleveland Open Cup. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 06-2441-1991. Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 06-2440-1991. Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dengan Cara A. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2417-1991. Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional.
- Tjokrodimulyo, K.1996. Teknik Gempa. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta

---

PENULIS:

Sri Atmaja P. Rosyidi✉

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan  
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul  
55183.

✉Email:

[atmaja\\_sri@umy.ac.id](mailto:atmaja_sri@umy.ac.id),  
[atmaja\\_sri@hotmail.com](mailto:atmaja_sri@hotmail.com).