

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Bahan Campuran Laston

1. Hasil Pengujian Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Hasil dari pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Minimal	Maksimal	
I. Agregat Kasar						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,697	-	-	SNI 03-1969-1990
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,762	2,5	-	SNI 03-1969-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,730	-	-	SNI 03-1969-1990
4	Penyerapan	%	0,88	-	3	SNI 03-1969-1990
5	Pengujian Abrasi	%	22,83	-	40	SNI 03-2417-1991
II. Agregat Halus						
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	2,612	-	-	SNI 03-1970-1990
2	Berat jenis <i>Apparent</i>	-	2,698	2,5	-	SNI 03-1970-1990
3	Berat jenis efektif	-	2,6548	-	-	SNI 03-1970-1990
4	Penyerapan	%	1,205	-	3	SNI 03-1970-1990

Berdasarkan hasil dari pengujian pada Tabel 4.1 maka agregat kasar dan agregat halus memenuhi persyaratan sebagai bahan yang akan digunakan pada penelitian untuk campuran aspal, sesuai dengan SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-1970-1990.

2. Hasil pengujian aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal keras dengan

Tabel 4.2. Hasil pengujian aspal pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi Pengujian		Standar
				Min	Maks	
1	Penetrasi (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	73,6	60	79	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	°C	55,05	48	58	SNI 06-2434-1991
3	Titik Nyala	°C	254	200	-	SNI 06-2433-1991
4	Daktilitas	cm	90	100	-	SNI 06-2432-1991
5	Berat Jenis	gr/cm ³	1,07	1	-	SNI 06-2441-1991
6	Kehilangan Berat	% berat	0,236	-	0,8	SNI 06-2440-1991

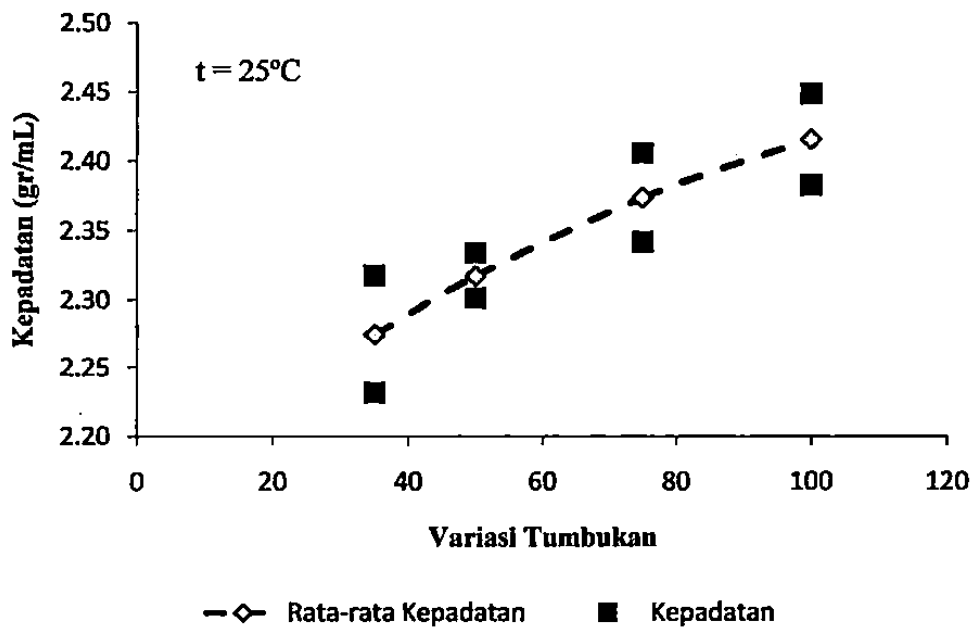
Berdasarkan hasil pengujian di atas, pada pengujian daktilitas diperoleh nilai yang tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan SNI 06-2441-1991 yaitu minimal 100 cm tetapi hasil dari pemeriksaan didapatkan sebesar 90 cm. Salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan pada pemeriksaan daktilitas ini yaitu kecepatan penarikan alat pengujian yang sudah tidak sesuai standar. Pemeriksaan sudah mengikuti prosedur yang benar dengan penambahan gliserin dalam campuran air agar berat jenis aspal terhadap air lebih besar dan pemeriksaan percobaan sudah dilakukan berulang-ulang.

B. Hasil Pengujian *Marshall*

1. Kepadatan

Nilai kepadatan pada suatu campuran untuk perkerasan jalan memiliki peranan penting terutama dalam kemampuan bekerja dari perkerasan itu. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai kepadatan antara lain gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan termasuk jumlah pemadatan dan temperatur pemadatan, kandungan aspal dan penggunaan bahan *additive* dalam campuran.

Dalam penelitian ini, dilakukan variasi tumbukan untuk mengetahui nilai kepadatan yang diperoleh dari campuran yang sama. Hasil selengkapnya dapat



Gambar 4.1. Hubungan antara variasi tumbukan dengan kepadatan

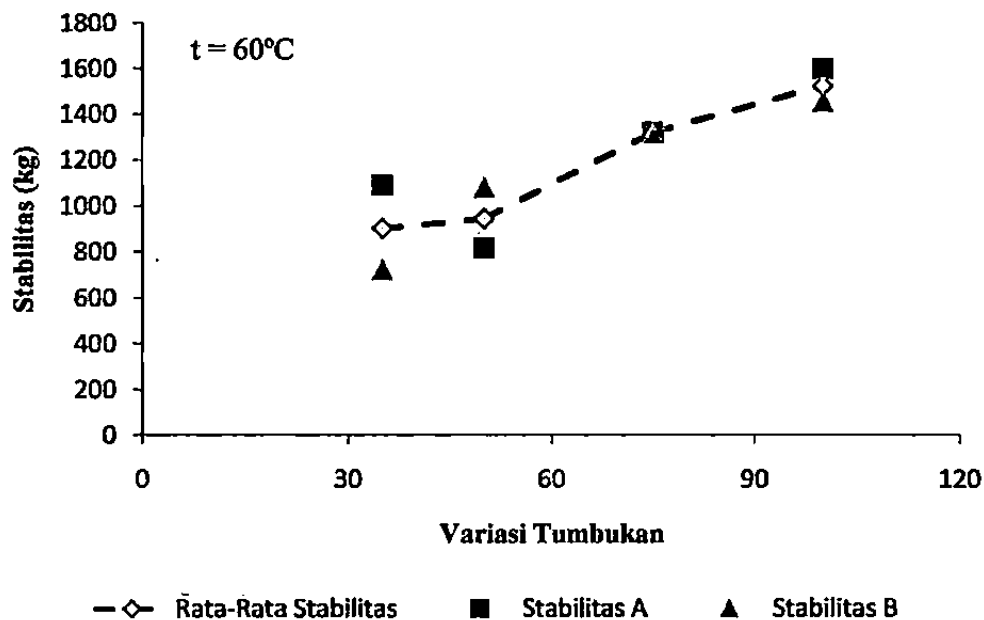
Grafik di atas menunjukkan benda uji dengan jumlah tumbukan yang sama memiliki nilai kepadatan yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kepadatan, antara lain berat kering dan volume benda uji. Pada penelitian ini, benda uji memiliki berat kering yang relatif seragam, sementara volume masing-masing benda uji menunjukkan perbedaan yang signifikan (Lampiran).

Seperti yang diketahui, volume berpengaruh terhadap diameter dan tinggi benda uji. Jumlah tumbukan yang semakin banyak menyebabkan ketebalan benda uji menjadi semakin kecil dan volume benda uji semakin kecil (Lampiran). 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 (Gambar 4.1).

2. Stabilitas *Marshall*

Nilai stabilitas digunakan sebagai parameter untuk menggambarkan ketahanan terhadap kelelahan plastis dari suatu campuran aspal atau kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap. Nilai stabilitas untuk masing-masing variasi tumbukan terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Hubungan antara variasi tumbukan dengan stabilitas

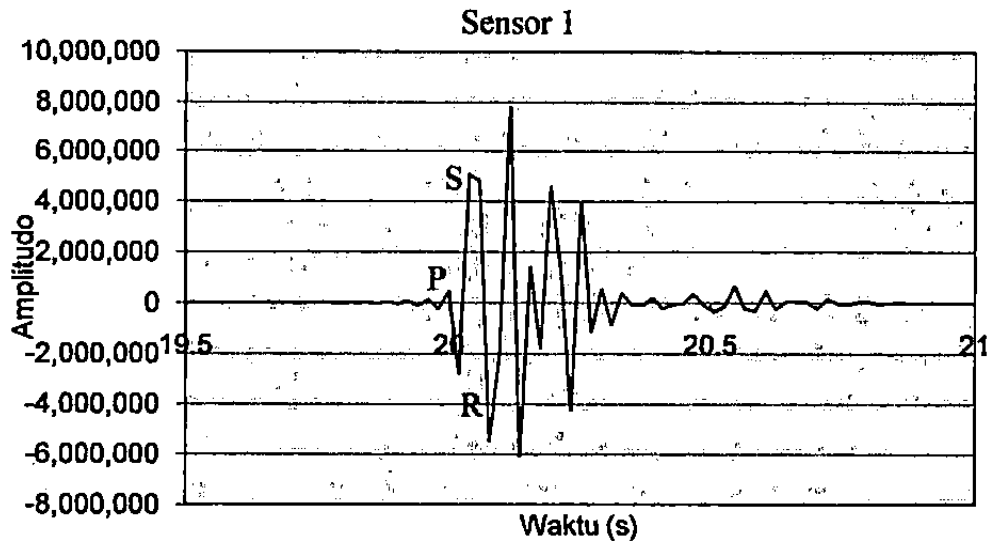
Grafik di atas menunjukkan nilai stabilitas yang diperoleh pada masing-masing benda uji dengan variasi tumbukan yang berbeda-beda beserta rata-rata dari tiap variasi tumbukan yang diberikan. Pembahasan sebelumnya dijelaskan bahwa penambahan jumlah tumbukan dapat meningkatkan nilai kepadatan. Hal ini juga berpengaruh terhadap nilai stabilitas, karena semakin banyak jumlah tumbukan yang diberikan, maka nilai VIM akan semakin kecil dan menyebabkan peningkatan nilai stabilitas, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2.

Berdasarkan R SNI 03-1737-1989, persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg sehingga nilai stabilitas dari pengujian *Marshall* untuk penelitian

C. Hasil Pengujian Gelombang Seismik

1. Data seismik

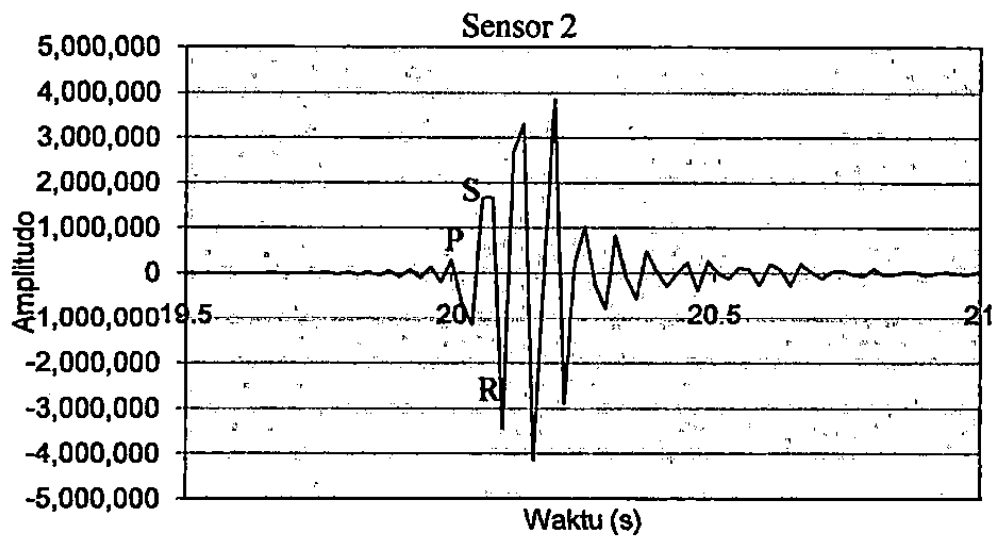
Perambatan gelombang dari sumber mekanik yang dihasilkan dalam SASW didefinisikan sebagai gelombang badan (gelombang P dan gelombang S) dan gelombang permukaan (gelombang R dan gelombang L). Perambatan gelombang berbentuk gelombang sementara, dimana bentuk gelombangnya adalah tidak teratur dan semakin lama sesuai fungsi waktu, amplitudo gelombang akan berkurang secara cepat (Gambar 4.3). Perambatan gelombang R direkam oleh akselerometer yang secara otomatis merubah data analog menjadi data digital. Data tersebut selanjutnya dialirkan secara elektrik pada unit akuisisi. Oleh unit akuisisi 01dB, data seismik yang dihasilkan oleh gelombang R ditampilkan dalam garis spektrum.



(a)

Gambar 4.3 (a) Data analog yang diterima oleh sensor 1 pada jarak 2 cm, (b)

Data analog yang diterima oleh sensor 2 pada jarak 2 cm



(b)

Gambar 4.3. Lanjutan

Data analog di atas merupakan hasil pembacaan dari unit akuisisi 01 dB yang kemudian dibaca untuk analisis frekuensi sesuai dengan metode IE, dengan perangkat lunak *autosignal* menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT).

2. Analisis spektrum gelombang

Analisis frekuensi dari hasil metode *Impact Echo* (IE) bertujuan untuk menentukan nilai frekuensi yang dominan dari gelombang yang terekam. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah hasil rekaman gelombang berdomain waktu ke dalam domain frekuensi. Hasil dari analisis FFT tersebut diplot dalam grafik spektrum amplitudo, dengan menunjukkan nilai amplitudo berbagai frekuensi yang terdapat pada rekaman gelombang (Gambar 4.4 hingga 4.7). Nilai frekuensi yang digunakan adalah nilai yang terletak pada *peak point* atau nilai maksimum frekuensi dalam grafik spektrum.

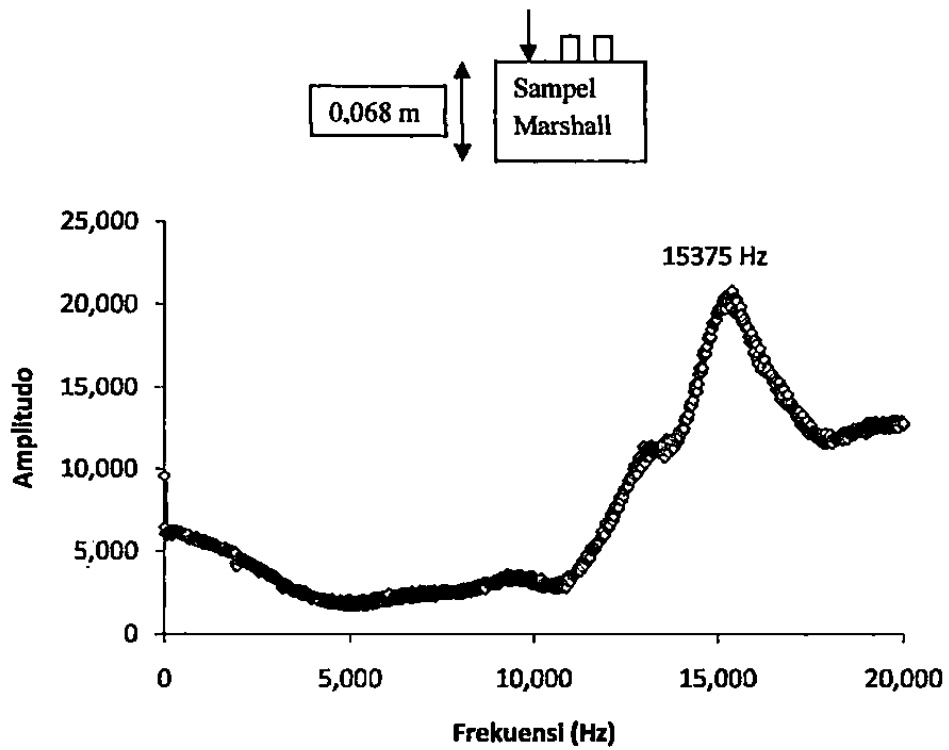
Dalam penelitian ini digunakan dua program aplikasi yang dapat menganalisis spektrum menggunakan FFT antara lain *Hammer* dBA 22 dari 01dB dan

a. Analisis spektrum dengan *Harmonie* dBFA 32

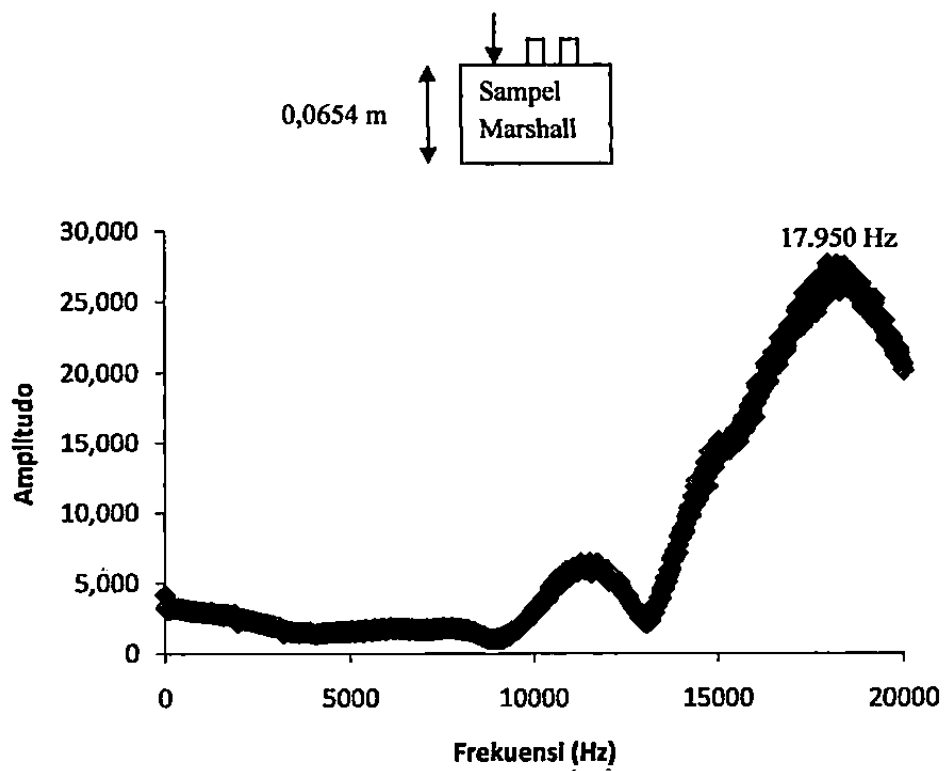
Melalui analisis FFT dengan menggunakan aplikasi *Harmonie* dBFA 32, spektrum gelombang dalam domain waktu ditampilkan dalam beberapa bentuk spektrum yaitu spektrum gelombang *auto*, *cross power*, *transfer function* dan *coherence*. Adapun bentuk spektrum yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrum gelombang *auto* (Gambar 4.4 dan Gambar 4.5). Penggunaan spektrum gelombang *auto* dimaksudkan untuk memperoleh nilai frekuensi tertinggi pada sensor yang paling dekat dengan sumber gelombang. Hal tersebut sesuai dengan langkah-langkah untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang primer menggunakan metode IE.

b. Analisis spektrum dengan *Autosignal*

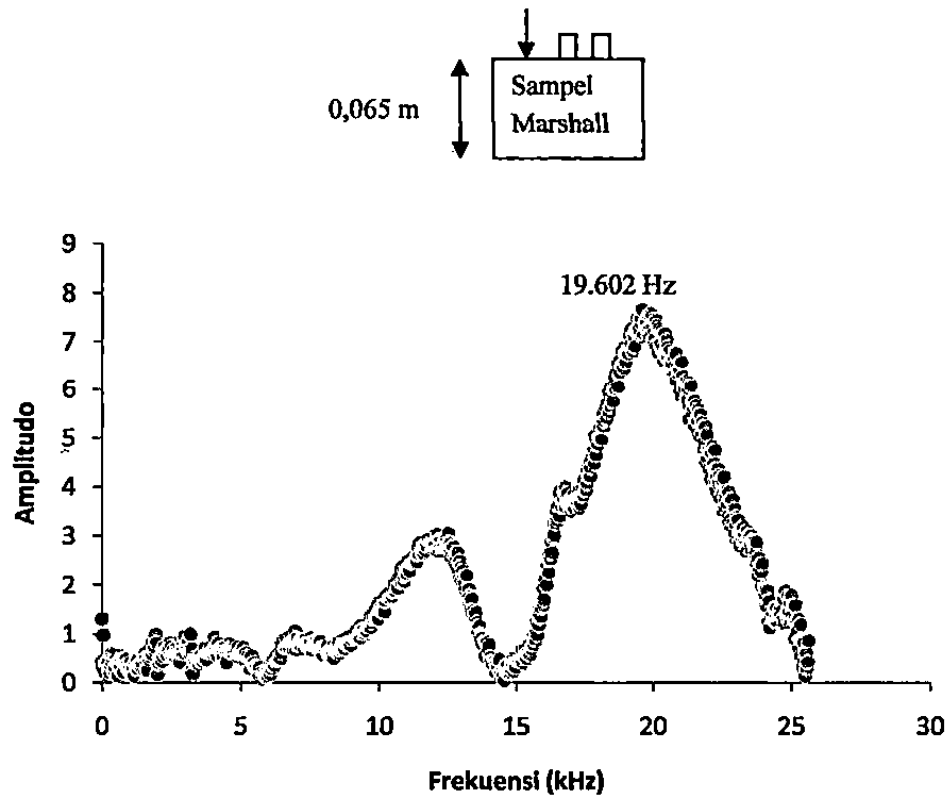
Analisis spektrum dengan *Harmonie* menggunakan data spektrum tenaga auto untuk satu *measurement* yang terdiri dari 10 pengujian, sedangkan analisis spektrum dengan *Autosignal* dilakukan dengan analisis FFT untuk setiap pengujian dalam satu pengukuran, sehingga nilai frekuensi dari 10 pengujian tersebut secara acak diambil data yang sesuai dengan jumlah tumbukan. Salah satu hasil analisis FFT dari *Autosignal* ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



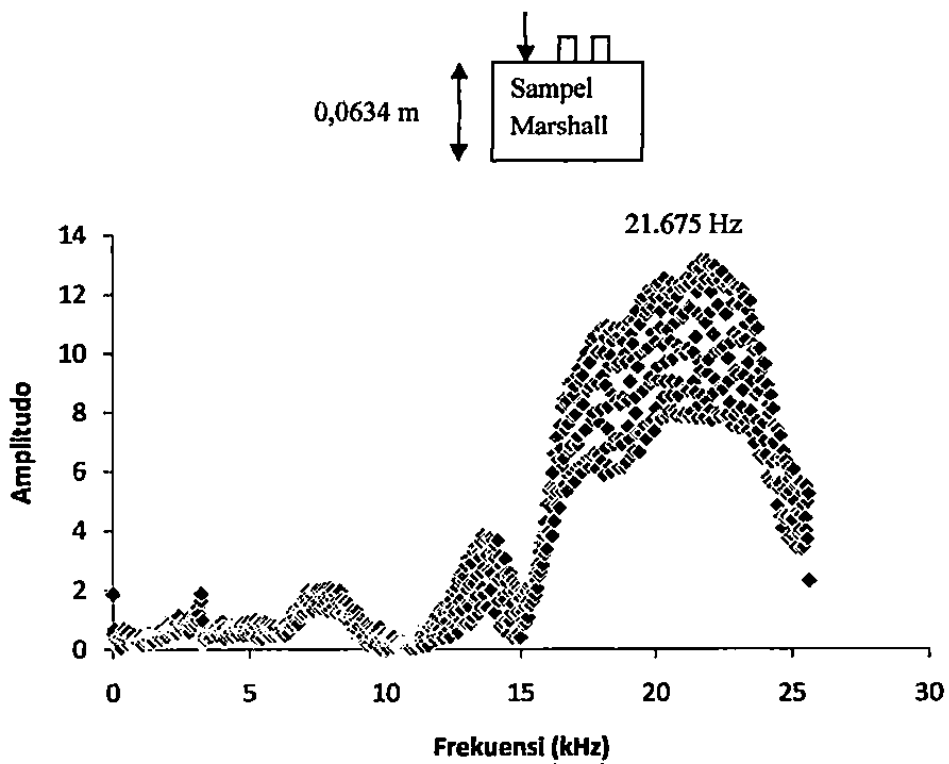
Gambar 4.4. Hasil analisis FFT tumbukan 35x



Gambar 4.5. Hasil analisis FFT tumbukan 50x



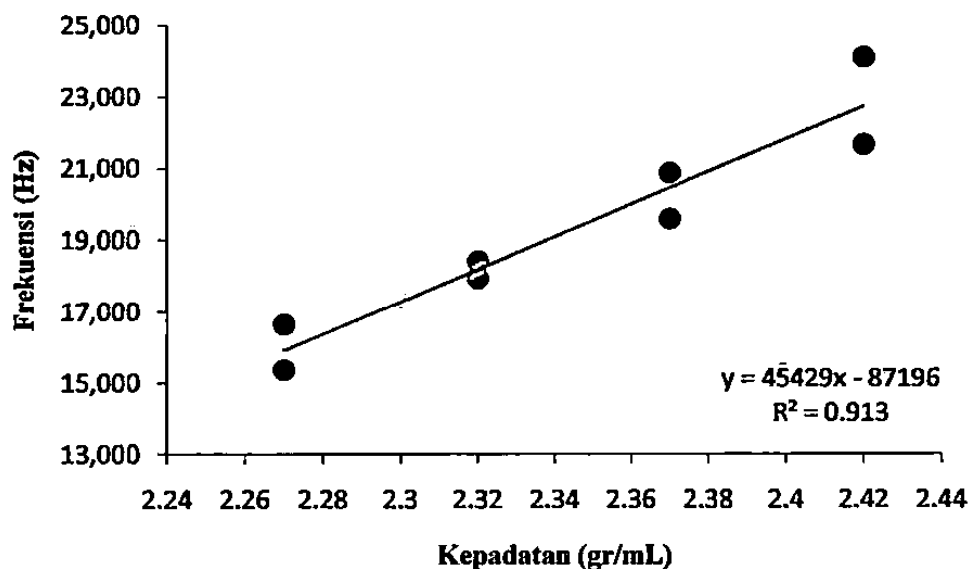
Gambar 4.6. Hasil analisis FFT tumbukan 75x



Gambar 4.7. Hasil analisis FFT tumbukan 100x

Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.7 menunjukkan spektrum amplitudo berturut-turut dari masing-masing pengujian dengan jumlah tumbukan dari 35×, 50×, 75× dan 100×. Hasil frekuensi maksimum selengkapnya terdapat pada Lampiran. Setiap variasi tumbukan menghasilkan nilai maksimum frekuensi yang menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan yang diberikan menyebabkan ketebalan benda uji menjadi semakin kecil. Hal ini berpengaruh terhadap nilai frekuensi yang dihasilkan. Seperti yang dijelaskan oleh Aktas (2007) bahwa nilai maksimum frekuensi meningkat seiring ketebalan benda uji yang semakin kecil dan kepadatan bahan.

Meningkatnya nilai frekuensi seiring dengan semakin kecil ketebalan yang diperoleh karena jumlah tumbukan yang semakin banyak, maka hubungan antara kepadatan dengan frekuensi dapat diketahui. Gambar 4.8 menunjukkan hubungan kepadatan dan frekuensi yang diperoleh dari analisis FFT.



Gambar 4.8. Hubungan antara kepadatan dan frekuensi

Nilai maksimum frekuensi yang diperoleh dari kedua analisis tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang primer (C_p). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode IE, dengan ketebalan benda uji (T) dan C_{pp} yang merupakan parameter untuk mengetahui nilai C_p selain nilai C_{pp} (C_{pp} merupakan ditunjukkan pada Diagram (2.7) dan (2.8). Berikut ini

merupakan contoh perhitungan kecepatan gelombang primer (C_p) dan Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan nilai C_p untuk semua variasi tumbukan.

Jika diketahui:

$$\text{Frekuensi (f)} = 15375 \text{ Hz}$$

$$\text{Ketebalan (T)} = 0,068 \text{ m}$$

maka:

$$\begin{aligned} C_{pp} &= 2 \times T \times f \\ &= 2 \times 0,068 \times 15375 \\ &= 2091 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{C_{pp}}{0,96} \\ &= \frac{2091}{0,96} \\ &= 2178,13 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Adapun hasil perhitungan C_p selengkapnya terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil kecepatan gelombang primer (C_p)

Variasi Tumbukan	Konfigurasi Jarak (cm)	Frekuensi (Hz)	Ketebalan (m)	Kepadatan (gr/mL)	C_{pp} (m/s)	C_p (m/s)
35	1,5	15.375	0,068	2,27	2.091,00	2.178,13
	2	16.652			2.264,67	2.359,03
50	1,5	17.950	0,0654	2,32	2.347,86	2.445,69
	2	18.425			2.409,99	2.510,41
75	1,5	19.602	0,065	2,37	2.548,26	2.654,44
	2	20.877			2.714,01	2.827,09
100	1,5	21.675	0,0634	2,42	2.748,39	2.862,91
	2	24.127			3.186,77	3.186,77

Berdasarkan kecepatan gelombang primer (C_p) pada Tabel 4.3, kepadatan benda uji terbukti dapat mempengaruhi nilai frekuensi. Nilai ketebalan yang diperoleh merupakan nilai yang sesungguhnya digunakan dalam perhitungan

D. Analisis Rasio Poisson

Parameter kekuatan berupa kuat tekan dan kuat tarik yang ditentukan diketahui dapat dikaitkan dengan modulus elastisitas. Poisson yang berkorelasi dengan modulus elastisitas dapat digunakan untuk memperkirakan parameter kekuatan, sehingga sebelum dilakukan perhitungan modulus elastisitas, angka poisson harus ditentukan terlebih dahulu.

Secara konvensional ada dua metode yang digunakan untuk menentukan angka poisson. Metode pertama menggunakan tes *uniaxial loading* untuk menghitung regangan radial dan regangan aksial (ϵ_r/ϵ_z), yang berarti sebagai poisson rasio statik dari batuan (ν_s). Metode kedua adalah mengukur kecepatan gelombang primer dan kecepatan gelombang geser dari data seismik atau *sonic well logs*, yang kemudian dihitung poisson rasio dinamik.

Penelitian ini menghasilkan nilai kecepatan gelombang primer (C_p) dari metode IE dan kecepatan gelombang geser (C_s) dari metode SASW, sehingga angka poisson ditentukan dengan metode dinamik menggunakan Persamaan (2.10). Berikut ini merupakan contoh perhitungan angka poisson dinamik.

Jika diketahui:

$$C_p = 2359,03 \text{ m/s}$$

$$C_s = 1426,5 \text{ m/s}$$

maka :

$$\nu = \frac{C_p^2 - 2C_s^2}{2(C_p^2 - C_s^2)}$$

$$\nu = \frac{2359,03^2 - 2(1426,5^2)}{2(2359,03^2 - 1426,5^2)}$$

$$\nu = 0,19$$

Adapun hasil perhitungan angka Poisson selanjutnya diberikan pada Tabel 4.4

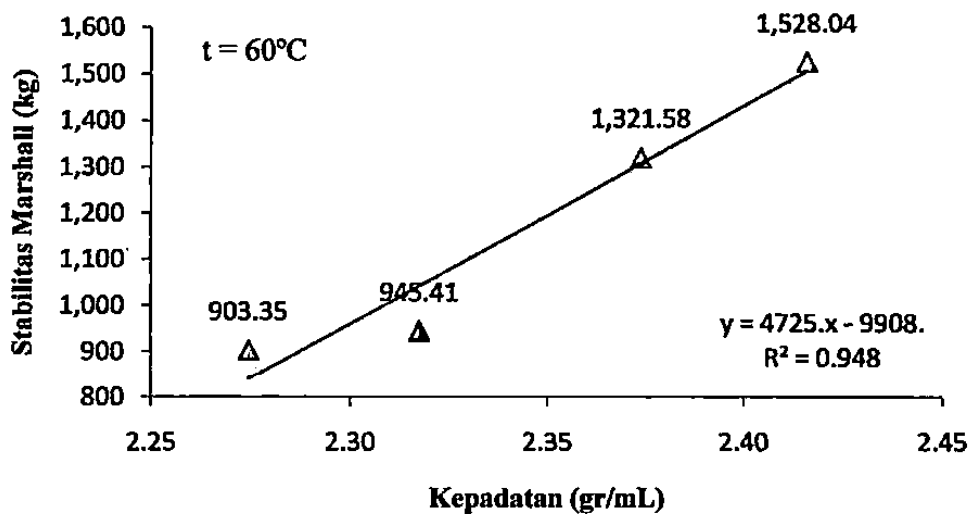
Tabel 4.4. Hasil rasio Poisson

Variasi Tumbukan	Konfigurasi Jarak (cm)	Cp (m/s)	Cs (m/s)	ν
35	1,5	2.178,13	1.462,5	0,09
	2	2.359,03		0,19
50	1,5	2.445,69	1.593,75	0,13
	2	2.510,41		0,24
75	1,5	2.654,44	1.700,84	0,15
	2	2.827,09		0,32
100	1,5	2.862,91	1.815	0,16
	2	3.186,77		0,37

Menurut Yoder dan Witczak (1975) rasio Poisson untuk laston bernilai sekitar 0,25 hingga 0,50 dari grafik hubungan antara pengaruh temperatur laston terhadap rasio Poisson. Berkaitan dengan itu, rasio Poisson yang diperoleh dalam penelitian ini bervariasi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor antara lain nilai Poisson merupakan nilai dinamik dan temperatur yang tidak ditinjau dalam menentukan rasio Poisson ini.

E. Hubungan Kepadatan dan Stabilitas *Marshall*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa penambahan jumlah tumbukan pada campuran dapat meningkatkan nilai kepadatan dan mengecilnya nilai VIM akan menaikkan nilai stabilitas (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2). Selanjutnya hubungan kepadatan dan stabilitas *Marshall* dapat ditentuka dari penelitian ini



Gambar 4.9. Hubungan antara kepadatan dan stabilitas *Marshall*

Berdasarkan analisis regresi dari Gambar 4.10, nilai R^2 diperoleh sebesar 0,948 atau nilai R sama dengan 0,9737. Nilai R tersebut menunjukkan bahwa kepadatan berpengaruh kuat terhadap peningkatan nilai stabilitas *Marshall*.

F. Hubungan Kepadatan, Frekuensi dan Kecepatan Gelombang Primer (C_p)

Peningkatan jumlah tumbukan pada campuran aspal akan mempengaruhi nilai kepadatan dan volume rongga yang ada dalam campuran tersebut. Semakin besar jumlah tumbukan maka akan diperoleh nilai kepadatan campuran aspal semakin tinggi. Hal ini dikarenakan oleh bertambahnya jumlah tumbukan mengakibatkan butir-butir agregat akan bergeser menyesuaikan kedudukannya yang kemudian saling mengisi rongga di antara butir agregat yang ada. Karena pengaruh pergeseran agregat yang saling mengisi rongga-rongga pada campuran aspal sehingga rongga di antara butir agregat yang terisi aspal (VFA) semakin besar dan memperkecil nilai volume rongga di antara agregat (VMA). Dengan mengecilnya nilai VMA maka mengakibatkan VIM yang tersisa semakin mengecil.

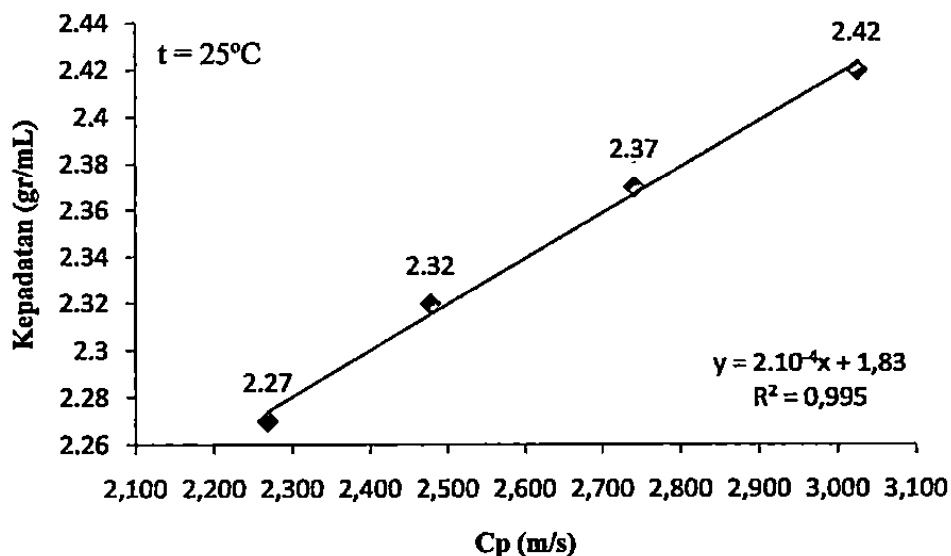
Nilai VIM yang semakin mengecil menyebabkan nilai ketebalan yang diperoleh masing-masing jumlah tumbukan juga mengecil. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Aktas (2007) dijelaskan, nilai maksimum frekuensi yang diperoleh dari analisis FFT dipengaruhi oleh ketebalan benda uji. Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan yang

diberikan, ketebalan menjadi semakin kecil. Hal ini berpengaruh terhadap nilai maksimum frekuensi yang diperoleh.

Berdasarkan contoh perhitungan menggunakan Persamaan (2.7) dan (2.8), nilai frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan gelombang primer (C_p), sehingga semakin besar nilai frekuensi maka semakin besar nilai C_p yang diperoleh. Pada Tabel 4.5 berikut diberikan rata-rata dari hasil kepadatan dan C_p untuk tiap variasi tumbukan. Dari hubungan kepadatan dan C_p dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 4.10.

Tabel 4.5. Rata-rata C_p

Kepadatan (gr/mL)	Rata-rata C_p (m/s)
2,27	2.268,58
2,32	2.478,05
2,37	2.740,77
2,42	3.024,84



Gambar 4.10. Hubungan antara kepadatan dan kecepatan gelombang primer (C_p)

Nilai rata-rata C_p di atas menunjukkan bahwa kepadatan, frekuensi, dan C_p saling berhubungan. Gambar 4.10 menunjukkan bahwa kecepatan gelombang primer semakin meningkat dengan meningkatnya kepadatan pada campuran sampel lactan. Hal

tersebut ditunjukkan dari nilai C_p yang berkorelasi positif terhadap kepadatan. Selain itu diperoleh persamaan empiris dari hubungan C_p dan kepadatan yang ditunjukkan dalam Persamaan (4.1) berikut.

$$\gamma = 2.10^{-4} C_p + 1,83 \quad (t = 25^\circ\text{C}) \quad (4.1)$$

dengan,

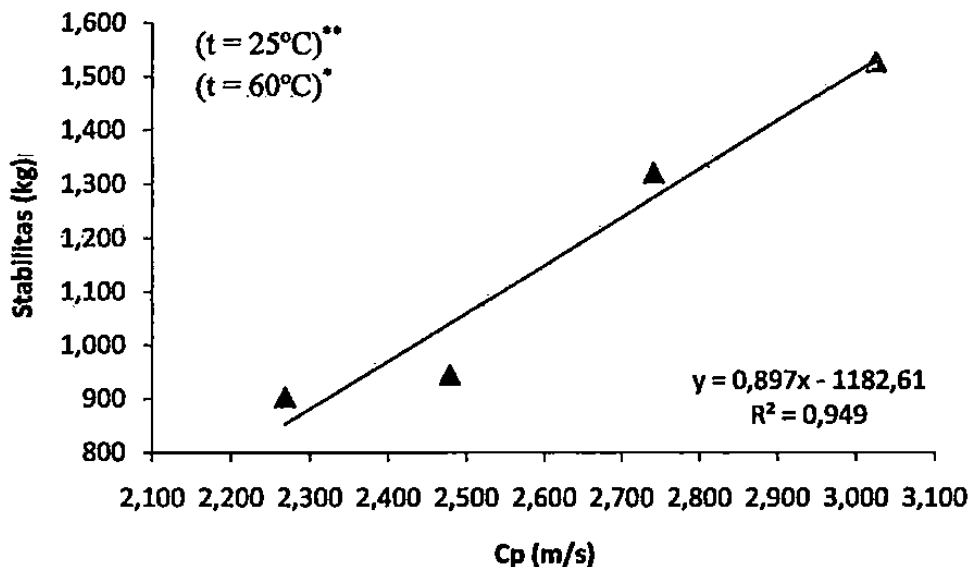
γ = kepadatan (gr/mL)

C_p = kecepatan gelombang primer (m/s)

G. Hubungan Stabilitas *Marshall* dan Kecepatan Gelombang Primer (C_p)

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan teknik sebaran gelombang yang menghasilkan nilai kecepatan gelombang primer (C_p) dan pengujian *Marshall* yang memperoleh nilai stabilitas, maka dapat diketahui hubungan diantara kedua hasil pengujian tersebut.

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa stabilitas *Marshall* memiliki hubungan yang kuat dengan kepadatan. Hal ini sama dengan hubungan yang dimiliki antara C_p dan kepadatan. Oleh karena itu, hubungan antara stabilitas dan C_p dapat diketahui untuk menghasilkan persamaan empirik dari hasil penelitian ini (Gambar 4.11).



Gambar 4.11. Hubungan stabilitas dan kecepatan gelombang primer (C_p)

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa stabilitas dan C_p memiliki hubungan yang kuat dari nilai regresi (r) sebesar 0,846 dan diperoleh juga persamaan empirik dari kedua parameter tersebut yaitu:

$$M^* = 0,897 C_p^{**} - 1182,61 \quad (4.2)$$

dengan,

- M = stabilitas *Marshall* (kg)
- C_p = kecepatan gelombang primer (m/s)
- * = t (60°C)
- ** = t (25°C)

H. Hubungan Kepadatan, Kecepatan Gelombang Primer (C_p), dan Rasio Poisson

Dalam penelitian ini, pengujian dan analisis gelombang seismik yang dilakukan menghasilkan kecepatan gelombang primer (C_p) yang merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan rasio Poisson. Pembahasan sebelumnya menjelaskan bahwa rasio Poisson diperoleh secara dinamik dengan menggunakan Persamaan (2.10) dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Nilai rasio Poisson

Variasi tumbukan	Kepadatan (gr/mL)	C_p (m/s)	C_s (m/s)	ν
35	2,27	2.268,58	1.426,50	0,14
50	2,32	2.578,05	1.593,75	0,15
75	2,37	2.740,77	1.700,84	0,19
100	2,42	3.024,84	1.815	0,22

Jumlah tumbukan yang diberikan berpengaruh terhadap kepadatan dan ketebalan masing-masing benda uji yang dihasilkan. Penambahan jumlah tumbukan dapat meningkatkan nilai kepadatan dan menurunkan ketebalan benda uji. Hal ini terdeteksi berpengaruh terhadap nilai maksimum frekuensi yang diperoleh berdasarkan pengujian gelombang. Benda uji yang semakin padat

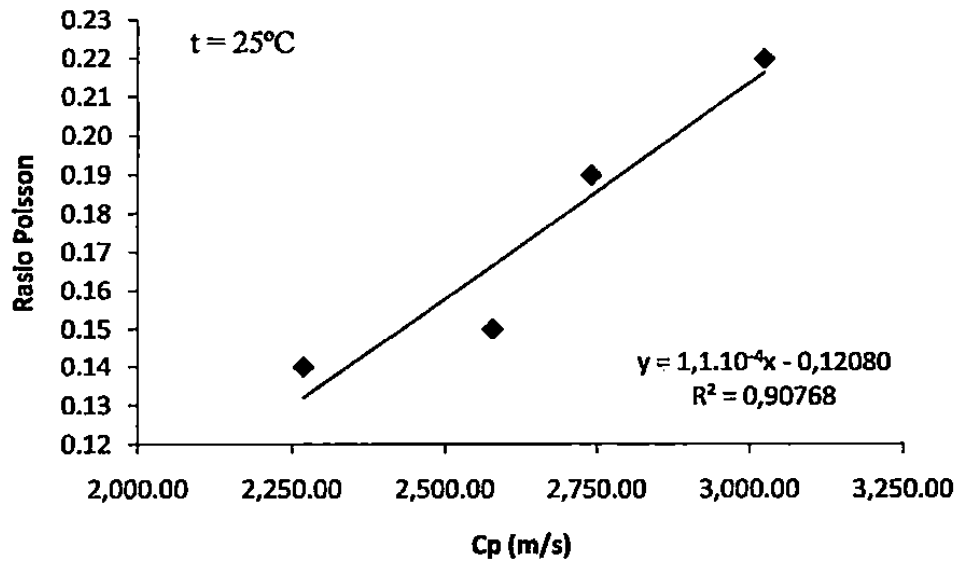
dengan ketebalan yang kecil memiliki nilai maksimum frekuensi tertinggi (Gambar 4.4 sampai dengan 4.7).

Hasil kecepatan gelombang primer (C_p) yang dihitung sesuai Persamaan (2.7) dan (2.8) secara signifikan menunjukkan bahwa nilai C_p berkorelasi positif terhadap nilai kepadatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Selain itu, Isnaini (2013) juga menjelaskan bahwa kepadatan dan tebal benda uji berpengaruh terhadap kurva dispersi yang dihasilkan dari analisis SASW. Hasil analisis dari kurva dispersi menghasilkan kecepatan gelombang geser (C_s) (Tabel 4.8) yang juga berkorelasi positif terhadap kepadatan.

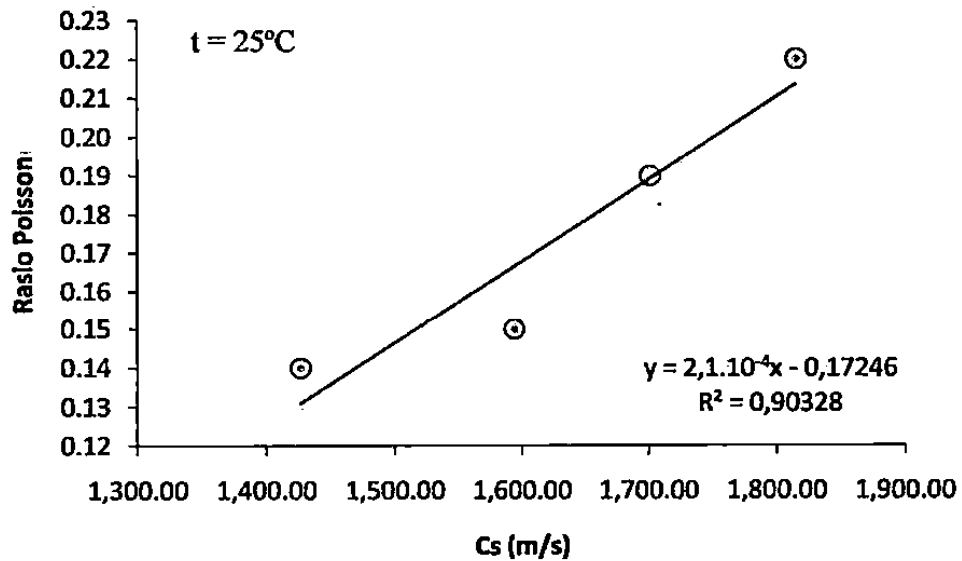
Perhitungan rasio Poisson dengan menggunakan metode dinamik merupakan fungsi dari C_p dan C_s (Persamaan 2.10). Untuk nilai C_p yang konstan, Poisson selalu menurun secara non linier bersamaan dengan meningkatnya nilai C_s . Adapun untuk nilai C_s yang konstan, Poisson selalu meningkat secara non linier seiring dengan meningkatnya nilai C_p .

Namun, C_p dan C_s selalu saling berkorelasi dan keduanya cenderung bervariasi dalam arah yang sama, baik itu meningkat atau menurun. Dalam penelitian ini, kedua nilai tersebut sama-sama mengalami peningkatan, sehingga variasi rasio Poisson yang diperoleh mengalami peningkatan yang tidak signifikan (Gambar 4.12 dan Gambar 4.13). Hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Wang, dkk (2009).

Hasil perhitungan rasio Poisson (Tabel 4.6) menunjukkan bahwa perubahan nilai C_p dan C_s tidak secara signifikan mempengaruhi nilai Poisson dinamik. Yoder dan Witczak (1975) juga menjelaskan bahwa pengaruh rasio Poisson terhadap material perkerasan sangat kecil dan dimungkinkan untuk digunakan sebagai nilai yang disesuaikan berdasarkan tipe material yang dianalisis dibanding dengan melakukan pengujian langsung. Dengan demikian perubahan nilai Poisson dapat diabaikan karena pengaruhnya sangat kecil terhadap kecepatan gelombang



Gambar 4.12. Hubungan antara C_p dan rasio Poisson



Gambar 4.13. Hubungan antara C_s dan rasio Poisson

I. Hasil Uji Analisis Statistik

1. Uji Korelasi

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan, ada dua parameter hasil uji yang akan diuji korelasi, yaitu data hubungan kepadatan

1. Hubungan antara C_p dan data hubungan kepadatan dengan Kecepatan

a. Hubungan kepadatan dan stabilitas *Marshall*

Sesuai data yang terdapat pada Gambar 4.9, koefisien korelasi (r) dapat ditentukan menggunakan analisis data untuk yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7. Analisis data untuk perhitungan nilai r

No	x	y	x^2	y^2	xy
1	2,27	903,35	5,17	816035,85	2054,677
2	2,32	945,41	5,37	893797,70	2190,912
3	2,37	1321,58	5,63	1746578,84	3137,185
4	2,42	1528,04	5,84	2334919,61	3691,545
Σ	9,38	4698,38	22,02	5791332,01	11074,32

Berdasarkan Tabel 4.9, nilai r kemudian dihitung menggunakan Persamaan (2.11). Nilai r diperoleh sebesar 0,9739 yang berarti mendekati 1. Jadi dapat disimpulkan bahwa kepadatan dan stabilitas *Marshall* memiliki nilai korelasi yang sangat kuat atau sempurna.

b. Hubungan kepadatan dan kecepatan gelombang primer (C_p)

Adapun data yang digunakan untuk mengetahui nilai koefisien korelasi antara kepadatan dan C_p sesuai Tabel 4.5 dengan analisis data untuk perhitungan nilai r seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Analisis data untuk perhitungan nilai r

x	y	xy	x^2	y^2
2268,58	2,27	5149,6766	5146455,22	5,15
2578,05	2,32	5981,076	6646341,80	5,38
2740,77	2,37	6495,6249	7511820,19	5,62
3024,84	2,42	7320,1128	9149657,03	5,86
10612,24	9,38	24946,4903	28454274,24	22,01

Nilai r yang diperoleh dari perhitungan dengan data dari Tabel 4.8 menggunakan Persamaan (2.11) yaitu 0,99371. Nilai r tersebut berarti menunjukkan bahwa kepadatan dan C_p memiliki korelasi yang sangat kuat

2. Uji T-*student*

Berkaitan dengan uji korelasi yang dilakukan sebelumnya, uji T-*student* dilakukan untuk menguji hipotesis hubungan antara kepadatan dan kecepatan gelombang primer (C_p). Hipotesis ditetapkan sebagai berikut:

1. H_0 : kecepatan gelombang primer tidak berpengaruh terhadap tingkat kepadatan campuran laston.
2. H_1 : kecepatan gelombang primer berpengaruh terhadap tingkat kepadatan campuran laston.

Uji hipotesis dilakukan dengan menggunakan nilai r pada uji korelasi kepadatan dan C_p yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut perhitungan untuk uji T-*student* dengan menggunakan Persamaan (2.12).

$$r_{xy} = 0,99371$$

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

$$t = \frac{0,99371\sqrt{(4-2)}}{\sqrt{(1-0,99371^2)}}$$

$$t = 12,549$$

Selanjutnya untuk menentukan nilai t_{tabel} , dengan nilai $\alpha = 0,05$ dan $dk = 2$, sesuai Tabel T-*student*, nilai t_{tabel} sebesar 2,920. Nilai $t_{\text{hitung}} > t_{\text{tabel}}$ menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Berdasarkan analisis ini disimpulkan hipotesis dapat diterima. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kecepatan gelombang primer (C_p) berkorelasi positif terhadap kepadatan campuran laston.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada campuran Laston untuk mengetahui hubungan kepadatan terhadap kecepatan gelombang primer, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Kecepatan gelombang primer (C_p) yang diperoleh pada campuran laston dengan variasi tumbukan 35×, 50×, 75× dan 100× berturut-turut adalah 2268,58 m/s; 2578,05 m/s; 2740,77 m/s dan 3024,84 m/s.
2. Dibandingkan dengan nilai kepadatan yang meningkat seiring penambahan jumlah tumbukan, nilai C_p juga semakin meningkat, sehingga nilai C_p berkorelasi positif terhadap kepadatan. Kemudian hubungan empirik antara kepadatan dan kecepatan gelombang primer ditunjukkan dalam persamaan:

$$\gamma = 2,0 \cdot 10^{-4} C_p + 1,83 \quad (t = 25^\circ\text{C})$$

dengan,

γ = kepadatan (gr/mL)

C_p = kecepatan gelombang primer (m/s)

3. Dari dua jenis pengujian yang dilakukan yaitu uji *Marshall* dan teknik sebaran gelombang, hubungan empirik antara parameter nilai stabilitas dan kecepatan gelombang ditunjukkan dalam persamaan :

$$M^* = 0,897 C_p^{**} - 1182,61$$

dengan,

M = stabilitas *Marshall* (kg)

C_p = kecepatan gelombang primer (m/s)

* = t (60°C)

** = t (25°C)

B. Saran

1. Selanjutnya bisa dilakukan penelitian gelombang seismik berkaitan dengan pengukuran angka poisson, dengan parameter tinjauan temperatur, tegangan, dan regangan.
2. Dilakukan penelitian mengenai gelombang seismik dengan jenis perkerasan lainnya berdasarkan zona lebih kompleks dan faktor suhu yang ditentukan di