

Studi Deformasi Campuran Aspal Lapis Aus (AC-WC) Akibat Beban Statis Uji *Indirect Tensile Strength* dan Beban Berulang Uji *Wheel Tracking Machine*

**Andi Alifuddin*, St Fauziah Badaron, Muh Husni Maricar,
Jihan Nurfadhilah, Andi Rizki Mulyana**

Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

*andi.alifuddin@umi.ac.id

Diajukan: 28 Agustus 2024, Revisi: 07 September 2024, Diterima: 20 September 2024

Abstract

The soil shear strength parameter consists of the cohesion (c) and the angle of internal friction (ϕ), can be generated through direct shear and free slide testing. The value of c and ϕ It is necessary to know to determine the carrying capacity of the soil if there is a load working on it, including to determine the carrying capacity of the permit (Q_{ult}). The purpose of this study is to find out how the effect of moisture content and density on the value of c and ϕ and a comparison of c and ϕ on direct slide and free slide testing. Soil samples in the form of disturbed soil from a location in Moncongloe sub-district are included in the classification of fine-grained soil. In this study, an experimental method was used which began with the compaction process (Compaction Test). Furthermore, tests were carried out using direct shear (Direct Shear Test) and free shear (Triaxial Test) methods at 5 different density types. Water content is very influential on the level of density and value of c and ϕ according to the pore condition of the soil and the nature of its consistency. The results showed an increase in cohesion value along with the increase in soil density both produced through direct shear and free shear testing with an average ratio of 0.3953. The value of angle of internal friction is inversely proportional to the density level with the average ratio between the results of direct shear testing to free shear which is 1.4175.

Keywords: density, cohesion, angle of internal friction, direct shear, free shear

Abstrak

Suatu perkerasan jalan dinilai gagal berdasarkan 2 kriteria yaitu regangan tarik dan deformasi plastis atau deformasi permanen. Deformasi perkerasan jalan dapat diestimasi berdasarkan pengujian laboratorium baik dengan pembebanan statis maupun pembebanan berulang. Deformasi yang didapatkan kemudian di korelasikan agar diketahui parameter mekanistik campuran aspal AC-WC. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan untuk mengetahui deformasi yang terjadi berdasarkan uji ITS dan WTM dengan variasi suhu pengujian 25°C dan 60°C. Pengujian dilakukan dengan menggunakan KAR (5,8%) dengan temperatur pengujian 25°C dan 60°C. Nilai koefisien korelasi pada suhu pengujian 25°C dan 60°C menunjukkan hubungan yang kuat (koefisien korelasi 0,8). Deformasi yang terjadi akibat beban statis akan meningkat secara linear berbarengan dengan peningkatan ITS sampai dengan batas elastisnya, begitu juga dengan deformasi yang terjadi akibat beban berulang, dimana deformasi semakin bertambah dengan meningkatnya siklus pembebanan pada pengujian WTM. Adapun korelasi yang terjadi cukup kuat, dimana pada suhu pengujian 25°C berkorelasi negatif sedangkan pada suhu pengujian 60°C berkorelasi positif.

Kata Kunci: Variasi suhu pengujian, kuat tarik tidak langsung, deformasi permanen

1. PENDAHULUAN

Kegagalan pada suatu jalan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, dimana perkerasan jalan dinilai gagal berdasarkan 2 kriteria, yaitu regangan tarik dan deformasi plastis atau deformasi permanen. Pada perkerasan aspal, kinerja akibat regangan tarik diukur pada bagian bawah lapisan aspal dan deformasi plastis terakumulasi pada permukaan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Regangan tarik terjadi ketika kendaraan melintas di atas permukaan jalan dan menghasilkan tegangan pada lapisan aspal (Alifuddin et al., 2023). Regangan tarik dapat menyebabkan retak pada lapisan aspal jika melebihi batas yang dapat dipikul oleh material atau campuran perkerasan. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi regangan tarik pada suatu campuran aspal yaitu dari rencana campuran yang tidak sesuai, maka regangan tarik yang terjadi dapat melampaui kemampuan campuran (Muchtar et al., 2023). Selain itu, tebal perkerasan suatu lapisan aspal juga sangat mempengaruhi regangan tarik, dimana jika semakin tebal suatu perkerasan, maka akan semakin besar juga tegangan yang harus ditahan oleh perkerasan tersebut.

Deformasi plastis adalah ketika perkerasan lentur mengalami perubahan bentuk secara permanen yang diakibatkan oleh tekanan dan beban lalu lintas (Almayana Alwi et al., 2022). Hal ini disebabkan karena beberapa faktor seperti pemilihan gradasi agregat yang kurang tepat dan penggunaan aspal yang tidak sesuai. Deformasi perkerasan jalan dapat diestimasi berdasarkan pengujian laboratorium maupun dengan analisa mekanistik, baik dengan pembebanan statis maupun pembebanan berulang (*repetition*). Dalam uji laboratorium, deformasi bisa di uji menggunakan alat *Indirect Tensile Strength* (ITS) untuk uji beban statis dan alat *Wheel Tracking Machine* untuk uji beban berulang.

Beban statis mengacu pada beban tetap yang diterapkan pada permukaan aspal. Sedangkan beban berulang adalah beban yang berulang kali diterapkan pada permukaan aspal, dimana beban berulang pada perkerasan merujuk pada pembebanan yang terjadi ketika roda kendaraan secara berulang melintasi jalan selama masa pakainya (Alamsyah et al., 2020). Beban ini dapat mempengaruhi umur perkerasan jalan dan kerusakannya.

Tujuan penelitian menganalisis deformasi yang terjadi akibat beban statis pada pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) dan deformasi yang terjadi akibat beban berulang pada pengujian *Wheel Tracking Machine*, serta untuk menganalisis korelasi dan pengaruh parameter mekanistik campuran AC-WC terhadap kinerja deformasi permanen.

2. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

a. Persiapan dan Pemeriksaan Bahan

Untuk persiapan dan pemeriksaan aspal dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo km.05 makassar. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain aspal minyak penetrasi 60/70 produksi pertamina, agregat kasar, agregat halus, *filler* (abu batu). Selanjutnya dilakukan pengujian untuk memastikan bahan yang digunakan memenuhi syarat yang ditetapkan.

b. Perencanaan Campuran

Tujuan utama dari perencanaan ini adalah untuk menghasilkan campuran yang memenuhi kriteria performa dan kualitas tertentu sesuai dengan standar yang berlaku. Tahapan

perencanaan campuran diawali dengan penentuan komposisi campuran menggunakan metode *Trial and Error* guna memperoleh gradasi gabungan yang memenuhi spesifikasi dan dilanjutkan dengan penentuan fraksi campuran. Dari hasil tersebut dapat diketahui komposisi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Penentuan kadar aspal optimum (KAO) akan dilakukan dengan melakukan pembuatan dan pengujian benda uji (*briket*).

c. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan setelah bahan penyusun aspal beton telah melalui pemeriksaan dan memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan.

Tabel 1 Jumlah Sampel Penelitian

No.	Perlakuan (skenario)	Keterangan	Jumlah Benda Uji
1.	KAR	Perencanaan campuran Berdasarkan T&E variasi 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%	15
2.	ITS	Pengujian dilakukan pada suhu 20 ° dan 60°	6
3.	WTM	Pengujian dilakukan pada suhu 20 ° dan 60°	2
Jumlah Benda Uji			23

d. Marshall Test

Pengujian *Marshall* dimaksudkan untuk mendapatkan hasil dari kinerja campuran, yaitu Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), *Voids Filled With Asphalt* (VFA), *Void in Mix* (VIM) dan *Density* (Wibowo et al., 2022). Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentan kadar aspal yang memenuhi karakteristik *Marshall test* (Saputra Hermansa et al., 2019).

e. Pengujian Indirect Tensile Strength

Gaya tarik tidak langsung menggunakan benda uji yang berbentuk silindris yang mengalami pembebanan tekan dengan dua plat penekan pada satu titik yang menciptakan tegangan tarik yang tegak lurus sepanjang diameter benda uji sehingga menyebabkan pecahnya benda uji (Bintang Ramadhan & Budi Suparma, 2018).

f. Pengujian Wheel Tracking Machine



Gambar 1 Wheel Tracking Machine (Sumber: Laboratorium BPJ, UMI)

Wheel Tracking Machine merupakan alat uji deformasi atau perubahan bentuk yang di akibatkan oleh pengulangan beban lalulintas dengan kapasitas tertentu yang dilengkapi dengan pembebanan berupa roda pelindas yang di berikan pembebanan di atasnya.

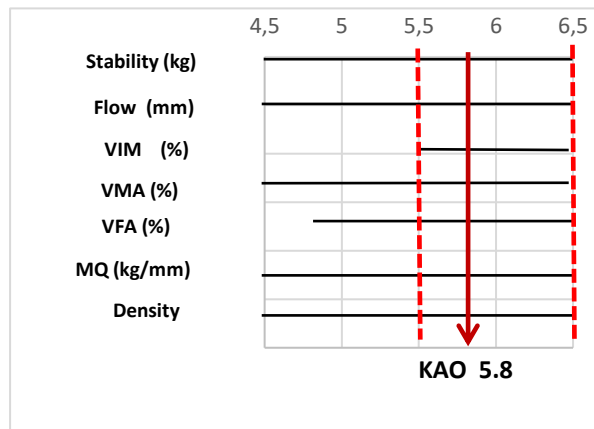
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Campuran AC-WC Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Tabel 2 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk menentukan KAO

Sifat-Sifat Campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi	Satuan
Kadar Aspal (%)	4,5	5	5,5	6	5		
Stabilitas	1198,46	1260,91	1293,42	1268,79	1196,88	800-1800	Kg
Flow	3,17	2,80	2,70	2,80	3,20	2-4	mm
VIM	6,30	5,42	5,00	4,32	4,12	3-5	%
VMA	16,10	16,29	16,47	16,42	16,78	≥ 15	%
VFA	60,85	67,03	69,79	73,74	75,68	≥ 63	%
Density	2,25	2,26	2,26	2,27	2,25	≥ 2.2	Kg/Mm ₃
MQ	381,25	454,96	483,28	460,74	395,18	Min. 250	Kg/Mm

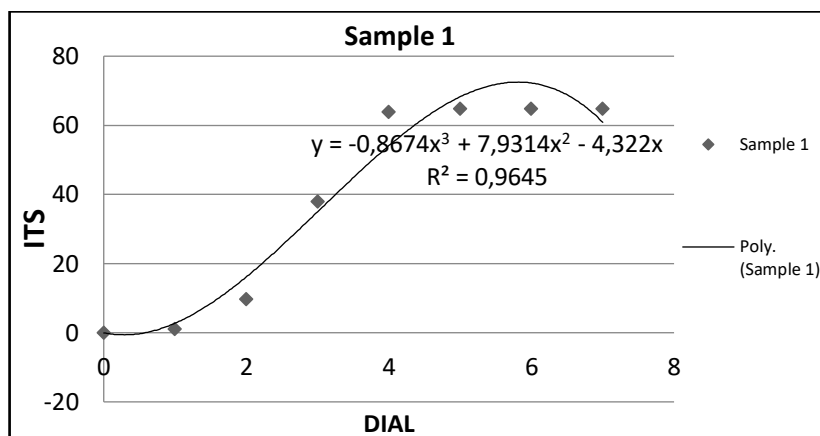
Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)



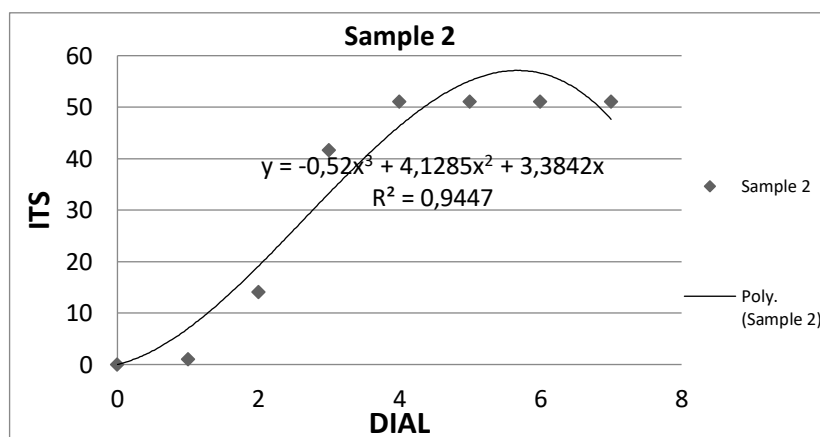
Gambar 2 Penentuan KAO

Pada **Gambar 2** di atas menunjukkan bahwa dengan komposisi campuran AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) dengan aspal minyak pen 60/70 didapat nilai KAO sebesar 5,8%.

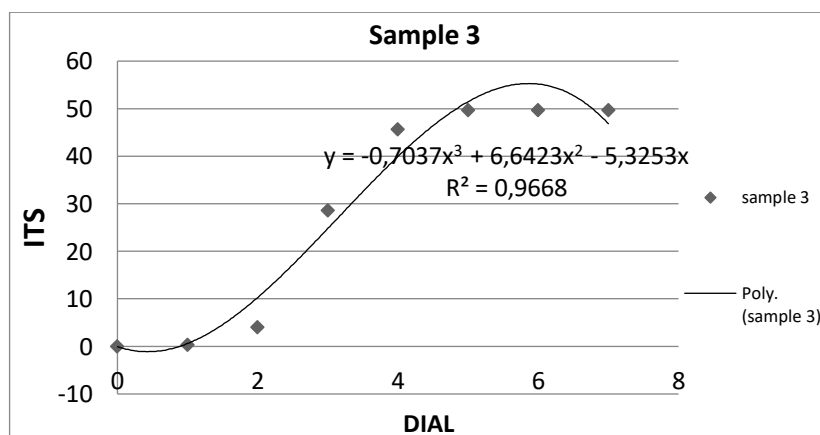
B. Deformasi Vertikal akibat Beban Statis berdasarkan Uji *Indirect Tensile Strength* (ITS)



Gambar 3 Hubungan Nilai ITS Terhadap Pembacaan Dial Temperatur 25°C



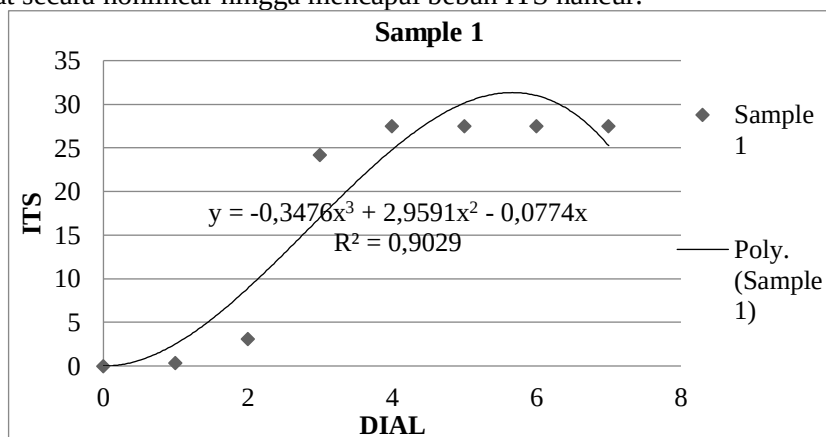
Gambar 4 Hubungan Nilai ITS Terhadap Pembacaan Dial Temperatur 25°C



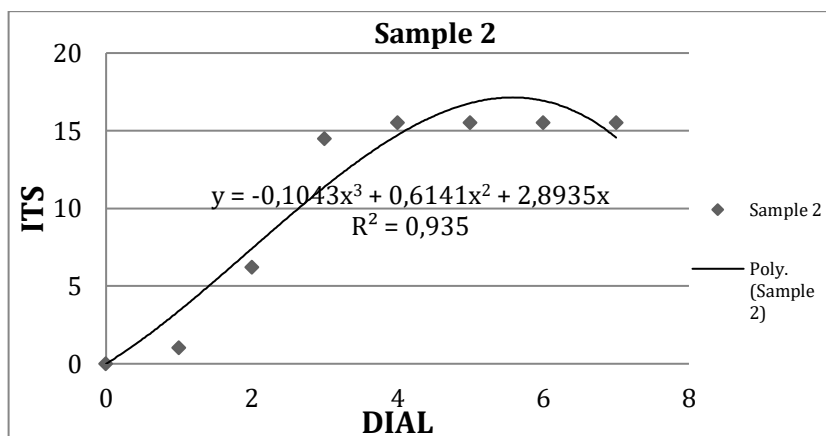
Gambar 5 Hubungan Nilai ITS Terhadap Pembacaan Dial Temperatur 25°C

Pengujian ITS campuran AC-WC dilakukan dengan menggunakan campuran kadar aspal rencana (5,8%) dengan temperatur pengujian 25°C dan 60°C. Berdasarkan **Gambar 3** sampai dengan **Gambar 5**, hubungan nilai ITS dengan deformasi vertikal dari pembacaan

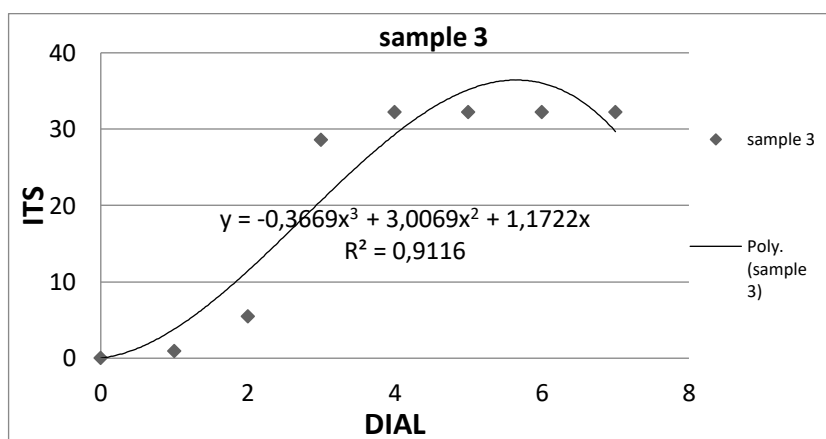
dial untuk keenam sampel pengujian membentuk format yang relatif identik, yaitu deformasi vertikal akan bertambah secara linear sesuai dengan peningkatan nilai ITS sampai mencapai suatu nilai tertentu sebagai beban elastis. Kemudian, deformasi akan tetap meningkat secara nonlinear hingga mencapai beban ITS hancur.



Gambar 6 Hubungan Nilai ITS Terhadap Pembacaan Dial Temperatur 60°C



Gambar 7 Hubungan Nilai ITS Terhadap Pembacaan Dial Temperatur 60°C



Gambar 8 Hubungan Nilai ITS Terhadap Pembacaan Dial Temperatur 60°C

Pada **Gambar 6** sampai dengan **Gambar 8** di atas, untuk sampel pengujian suhu 60°C, dapat dilihat bahwa nilai ITS yang terjadi lebih rendah dibanding suhu 25°C, artinya nilai

ITS yang didapatkan pada suhu pengujian 60°C lebih rendah dibanding pada suhu pengujian 25°C karena pengaruh campuran aspal yang bersifat viskoelastis.

C. Rutting Akibat Beban Berulang berdasarkan Uji *Wheel Tracking Machine*

Tabel 3 Hasil Pengujian Alat *Wheel Tracking Machine* Pada Temperatur 25°C

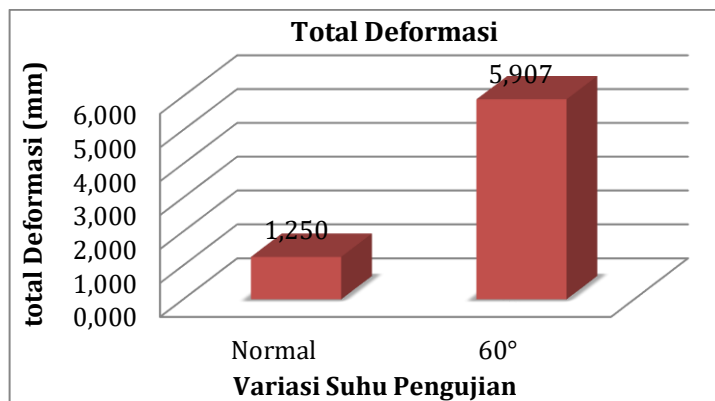
Waktu/Menit	Jumlah Siklus	25°C	Satuan
		AC - WC Ideal	
0	0	0,00	mm
1	42	0,66	mm
5	210	0,80	mm
10	420	0,93	mm
15	630	1,25	mm
30	1260	1,45	mm
45	1890	1,68	mm
60	2520	2,00	mm
Total Deformasi (D0)	:	1,250	mm
Stabilitas Dinamis (DS)	:	1938,5	
Laju Deformasi (RD)	:	0,022	

Pada **Tabel 3**, dapat dilihat pada jumlah lintasan ke 42 terjadi deformasi sebesar 0,66 mm dan pada jumlah lintasan maksimum deformasi yang terjadi sebesar 2,00 mm, sehingga total deformasi yang terjadi pada suhu pengujian 25°C adalah 1,250. Ini menandakan bahwa campuran aspal yang diuji pada suhu 25°C dapat dikatakan cukup kuat untuk menahan beban.

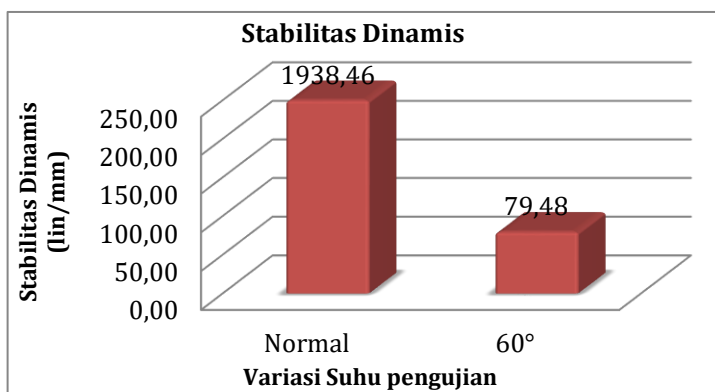
Tabel 4 Hasil Pengujian Alat *Wheel Tracking Machine* Pada Temperatur 60°C

Waktu/Menit	Jumlah Siklus	60°C	Satuan
		AC - WC Ideal	
0	0	0,00	mm
1	42	0,73	mm
5	210	1,84	mm
10	420	3,20	mm
15	630	4,40	mm
30	1260	6,41	mm
45	1890	8,43	mm
60	2520	16,35	mm
Total Deformasi (D0)	:	5,907	mm
Stabilitas Dinamis (DS)	:	79,475	
Laju Deformasi (RD)	:	0,528	

Berdasarkan **Tabel 4**, dapat dilihat bahwa pada jumlah siklus ke 42 terjadi penurunan sebesar 0,73 mm dan pada jumlah lintasan maksimum deformasi yang terjadi sebesar 16,35, sehingga total deformasi yang terjadi sebesar 16,35 mm. Dapat disimpulkan bahwa pada suhu pengujian 60°C deformasi yang terjadi cukup besar dibanding pada suhu pengujian 25°C.



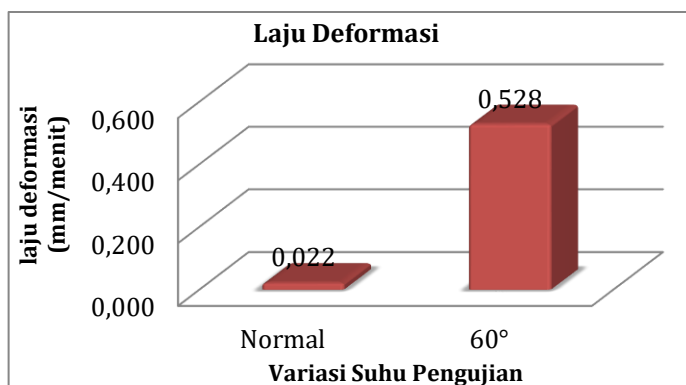
Gambar 9 Total Deformasi dengan Variasi Suhu Pengujian 25°C dan 60°C



Gambar 10 Stabilitas Dinamis dengan Variasi Suhu Pengujian 25°C dan 60°C

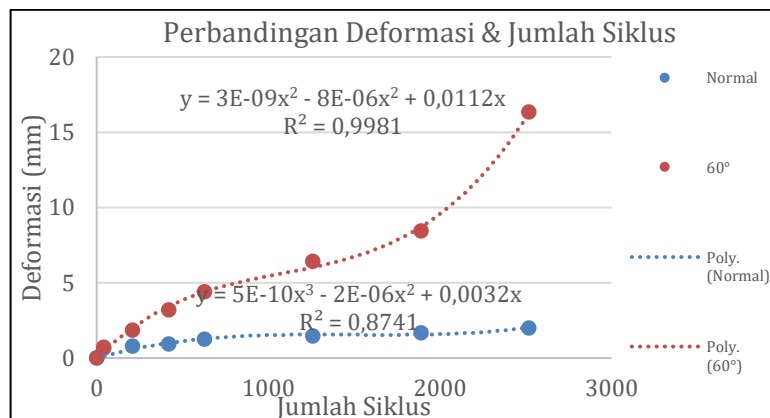
Berdasarkan **Gambar 9** dapat dijelaskan bahwa deformasi yang terjadi pada suhu pengujian 60°C lebih besar dibanding suhu pengujian 25°C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu pengujian mempengaruhi ketahanan campuran aspal terhadap deformasi, dimana semakin tinggi suhunya maka semakin cepat aspal mengalami deformasi permanen.

Dari **Gambar 10** dapat dilihat bahwa stabilitas dinamis pada suhu pengujian normal lebih tinggi dibanding pada suhu pengujian 60°C, berbanding dengan nilai total deformasi, karena campuran aspal pada suhu normal lebih kuat menahan deformasi akibat beban roda kendaraan.



Gambar 11 Hasil Laju Deformasi dengan Variasi Suhu Pengujian 25°C dan 60°C

Berdasarkan gambar grafik di atas, dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi suhu pengujian, maka semakin tinggi juga terjadinya laju deformasi pada suatu campuran aspal.



Gambar 12 Perbandingan Deformasi dan Jumlah Siklus dengan Variasi Suhu Pengujian 25°C dan 60°C

Pada **Gambar 12** di atas, dapat dilihat perbandingan deformasi dan jumlah siklus berdasarkan suhu pengujian 25°C dan 60°C. Pada suhu 60°C, deformasi yang terjadi relatif tinggi dibanding pada suhu 25°C karena pada suhu pengujian 60°C campuran aspal lebih mudah terjadi deformasi.

D. Korelasi Antara *Rutting*, Deformasi Vertikal dan Stabilitas *Marshall*

Secara intuisi, diperkirakan ada hubungan kausal antara parameter mekanistik campuran aspal, yaitu deformasi permanen (*rutting*), deformasi elastis (Δv), stabilitas *marshall*, dan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS). Hubungan ini dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi sebagaimana disajikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** untuk masing-masing temperatur pengujian 25°C dan 60°C.

Tabel 5 Tabel Matriks Nilai Koefisien Korelasi antara *Rutting*, Deformasi Vertikal, dan Stabilitas *Marshall* dengan Suhu Pengujian 25°

PARAMETER	R (mm)	ΔV (mm)	MS (kg)	ITS (kPa)
R (mm)	-	0,9830	-0,9655	0,8860
ΔV (mm)	0,9830	-	-0,9806	0,9259
MS (KG)	-0,9655	-0,9806	-	-0,9059
ITS (kPa)	0,8860	0,9259	-0,9059	-

Tabel 6 Tabel Matriks Nilai Koefisien Korelasi antara *Rutting*, Deformasi Vertikal, dan Stabilitas *Marshall* dengan Suhu Pengujian 60°

PARAMETER	R (mm)	ΔV (mm)	MS (kg)	ITS (kPa)
R (mm)	-	0,9177	-0,8879	0,7008
ΔV (mm)	0,9177	-	-0,9747	0,8869
MS (KG)	-0,8879	-0,9747	-	-0,8375
ITS (kPa)	0,7008	0,8869	-0,8375	-

Dari **Tabel 5** dan **Tabel 6** dapat dilihat bahwa koefisien korelasi yang didapatkan pada suhu pengujian 25°C dan 60°C menunjukkan hubungan yang kuat (koefisien korelasi > 0,8). Dimana, pada korelasi antara *rutting* dengan deformasi vertikal di suhu pengujian 25°C dan 60°C sama-sama menunjukkan hubungan yang kuat dan berbanding lurus

(korelasi positif). Sedangkan *rutting* dengan stabilitas *marshall* menunjukkan hubungan yang cukup kuat namun berkebalikan (korelasi negatif).

E. Analisa Regresi Linear Berganda

Dari **Persamaan (1)** yang digunakan untuk temperatur pengujian 25°C dapat dijelaskan bahwa:

- 1) Terjadi peningkatan potensi *rutting* sebesar 0,2866 mm akibat kenaikan deformasi elastis sebesar 1 mm bilamana parameter lainnya (stabilitas *marshall* dan ITS) tidak berubah.
- 2) Terjadi penurunan nilai potensi *rutting* sebesar 0,0006 mm akibat kenaikan nilai stabilitas *marshall* sebesar 1 kg bilamana parameter deformasi elastis dan ITS tidak berubah.
- 3) Terjadi penurunan nilai potensi *rutting* sebesar 0,0042 mm akibat kenaikan nilai ITS sebesar 1 kPa bilamana parameter deformasi elastis dan stabilitas *marshall* tidak berubah.
- 4) Melihat nilai R² regresi sebesar 0,95 artinya 95% terjadinya *rutting* dapat dijelaskan atas ketiga parameter tersebut, sedangkan 5% sisanya dipengaruhi hal-hal lain.

$$R = 1,0106 + 0,2866X_1 - 0,0006X_2 - 0,0042X_3 \quad (1)$$

$$R = -122,9598 + 4,0745X_1 + 0,0930X_2 - 0,2641X_3 \quad (2)$$

Dimana : X_1 = Variabel Deformasi Elastis Vertikal
 X_2 = Variabel Stabilitas *Marshall*
 X_3 = Variabel ITS

Dari **Persamaan (2)** yang digunakan untuk temperatur pengujian 60°C dapat dijelaskan bahwa:

- 1) Terjadi peningkatan potensi *rutting* sebesar 4,0745 mm akibat kenaikan deformasi elastis sebesar 1 mm bilamana parameter lainnya (stabilitas *marshall* dan ITS) tidak berubah.
- 2) Terjadi peningkatan potensi *rutting* sebesar 0,0930 mm akibat kenaikan nilai stabilitas *marshall* sebesar 1 kg bilamana parameter deformasi elastis dan ITS tidak berubah.
- 3) Terjadi penurunan nilai potensi *rutting* sebesar 0,2641 mm akibat kenaikan nilai ITS sebesar 1 kPa bilamana parameter deformasi elastis dan stabilitas *marshall* tidak berubah.

Melihat nilai R² regresi sebesar 0,85 artinya 85% terjadinya *rutting* dapat dijelaskan atas ketiga parameter tersebut, sedangkan 15% sisanya dipengaruhi hal-hal lain

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan terhadap studi deformasi campuran aspal lapis aus (AC-WC) akibat beban statis uji *Indirect Tensile Strength* (ITS) dan beban berulang uji *Wheel Tracking Machine*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Hasil pengujian didapatkan bahwa deformasi yang terjadi akibat beban statis akan meningkat secara linear berbarengan dengan peningkatan ITS sampai dengan batas elastisnya, seperti pada suhu pengujian 25°C deformasi tertinggi terjadi pada sampel satu dengan nilai ITS 65 kPa, dan pada suhu pengujian 60°C deformasi yang tertinggi pada sampel satu dengan nilai ITS 27 kPa. Setelah itu deformasi akan berperilaku

sebagai plastis hingga mencapai nilai ITS batas/hancur. Demikian juga halnya dengan deformasi yang terjadi akibat beban berulang, dimana deformasi semakin bertambah dengan meningkatnya siklus pembebanan pada pengujian *Wheel Tracking Machine*, hasil deformasi pada suhu pengujian 60°C sebesar 16,55 mm dengan jumlah siklus 2520 dan pada suhu pengujian 25°C deformasi yang terjadi hanya mencapai 2,00 mm dengan jumlah siklus 2520.

- 2) Korelasi antara deformasi permanen (*rutting*) dengan parameter mekanistik stabilitas *marshall*, deformasi elastis vertikal dan nilai ITS cukup erat/kuat dengan nilai koefisien korelasi $> 0,8$. Untuk deformasi permanen (*rutting*) dengan stabilitas *marshall* terjadi korelasi negatif untuk temperatur pengujian 25°C karena terjadi penurunan potensi *rutting* sebesar 0,0006 mm akibat kenaikan nilai stabilitas *marshall*, sedangkan untuk temperatur pengujian 60°C berkorelasi positif karena terjadi peningkatan potensi *rutting* sebesar 0,0930 mm akibat kenaikan nilai stabilitas. Pengaruh ketiga parameter mekanistik di atas terhadap kinerja *rutting* dapat dilihat pada persamaan regresi. Adapun persamaan regresi untuk temperatur 25°C yaitu $R = 1,0106 + 0,2866X_1 - 0,0006X_2 - 0,0042X_3$ dan untuk temperatur 60°C yaitu $R = -122,9598 + 4,0745X_1 + 0,0930X_2 - 0,2641X_3$.

B. Saran

Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium, untuk digunakan dilapangan maka masih perlu di validasi lagi.

Disarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan penelitian dengan menggunakan jenis temperatur pengujian yang lebih bervariasi untuk mengetahui korelasi antara deformasi elastis, stabilitas *marshall* dan ITS pada campuran aspal AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Said, L. B., & Alifuddin, A. (2020). Konsep Design Mix Formula (DMF) Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) Mengacu Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Terhadap Sifat – Sifat (ITS) dan Deformasi. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(2), 158–169. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v5i2.87>
- Alifuddin, A., Kasim, M. R., & Said, L. B. (2023). Perilaku Rutting dan Modulus Kekakuan dengan Penguatan Serat Ijuk pada Campuran Beton Aspal. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(2), 223–232. <https://doi.org/10.14710/mkts.v29i2.53190>
- Alirusi, R., Maryam H, S., & Massara, A. (2023). Studi Experimental Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Dengan Penambahan Zat Aditif Polyurethane Terhadap Ketahanan Deformasi Dan Modulus Elastis. *Innovative*, 3(Journal Of Social Science Research), 5001–5053. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/innovative.v3i3.2688>
- Almayana Alwi, Lambang Basri Said, & Andi Alifuddin. (2022). Analisis Uji Ketahanan Deformasi pada Campuran Aspal Beton dengan Bahan Tambah Anti Stripping Astone-05 terhadap Variasi Temperatur. *Jurnal Flyover (JFO)*, 02(02), 111–122. <https://doi.org/https://doi.org/10.52103/jfo.v2i2.1348>
- Bea, L., Basri, L., Alifuddin, A., & Bea Lian, L. (2023). A Study Of Characteristics And Deformation Of Ac-Wc Mixtures Utilizing Marble Wastensubstitution As Coarse Aggregate Fraction. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 606–617. <https://doi.org/https://doi.org/10.56670/jsrd.v5i2.221>
- Bintang Ramadhan, G., & Budi Suparma, L. (2018). Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa

- pada Laston AC-WC sebagai Pengganti Agregat Halus. *Jurnal Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia*, 4(2), 91–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.26593/jh.v4i2.3021.%25p>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan. In *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018* (Issue Revisi 2). https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/425/preview_425-1-5.pdf
- Divandari, H. (2019). Predict of Asphalt Rutting Potential Based on IDT and Validation with ANN. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(2), 131–138. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0018>
- Falderika. (2017). *Evaluasi Modulus Resilien dan Deformasi Permanan Campuran Aspal Porus Pen 60/70 dengan Bahan Tambah Buton Natural Asphalt (BNA)*. 7(Dibya), 21–26. <https://repository.unikom.ac.id/54576/>
- Ibrahim, Z., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2021). Analisis Poisson Ratio dan Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Substitusi Pasir Silika. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(1), 36–47. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v6i1.277>
- Marizka, E., Fauziah, M., & Subarkah. (2022). Pengaruh Penambahan Rediset LQ-1106 Terhadap Kinerja Struktur Campuran Aspal Porus. *Teknisia*, 27(1), 12–23. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol27.iss1.art2>
- Massara, A., Afif, A., & S, I. F. A. (2024). *Pengaruh Temperatur Pemadatan Terhadap Karakteristik Mekanis Aspal AC-BC dengan Menguntukkan Serbuk Arang Tempurung Kelapa sebagai Substitusi Filler*. 9(2), 119–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.33096/jtsm.v9i2.803>
- Muchtar, S. M., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2023). *Kajian Sifat Penuaan Campuran Aspal AC-WC dengan Penggunaan Getah Pinus sebagai Bahan Tambah terhadap Modulus Elastisitas dan Angka Poisson*. 3(<https://j-innovative.org/index.php/Innovative/issue/view/8>), 5032–5049. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/innovative.v3i3.2690>
- Saputra Hermansa, A., Asrianto, A. S., Arifin, W., Fauziah Badaron, S., & Salim. (2019). *Analisis Penggunaan Derbo Sebagai Bahan Aditif Untuk Meningkatkan Kualitas Aspal Panas*. 1(April), 169–179. <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/download/446/307>
- Wibowo, A., Widhiastuti, Y., & Andi Tjandra, A. (2022). Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 15–33. <https://doi.org/10.56071/deteksi.v7i1.398>