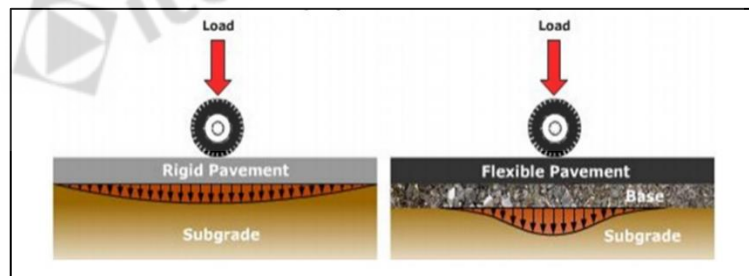


BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkembangan era globalisasi di berbagai sektor , misalnya sektor ekonomi, pendidikan, pariwisata dan teknologi yang begitu pesat hingga sekarang dan akan terus berkembang, hal ini mesti didukung oleh transportasi yang cepat dan aman bagi masyarakat. Jalan merupakan aspek penting dalam akses transportasi masyarakat. Setiap masyarakat dalam kehidupan sehari-harinya menggunakan alat transportasi untuk menempuh suatu tempat tertentu. Perjalanan dari satu tempat ketempat lainnya tentu membutuhkan alat transportasi yang cepat. Semuanya itu tidak terlepas dari faktor infrastruktur jalan. Salah satu jenis perkerasan jalan yaitu perkerasan Lentur (Flexible Pavement) yang terdiri dari campuran agregat dan juga aspal.

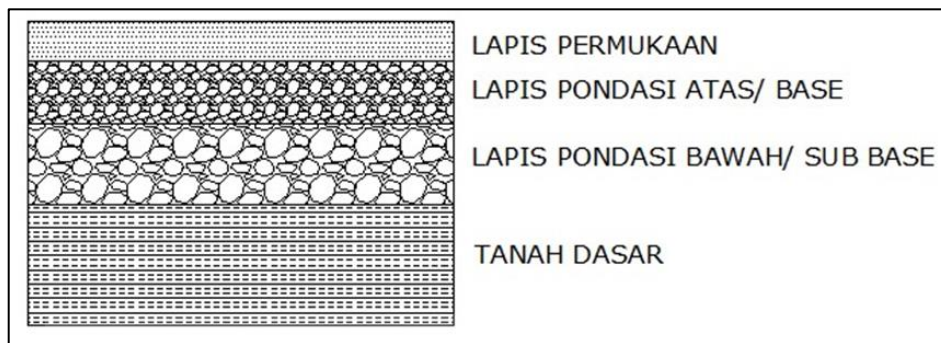


Sumber : Slideshare.net

Gambar 2.1 Distribusi Beban pada Perkerasan Kaku dan Lentur

1. *Flexible pavement* (Perkerasan Lentur)

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan bahan ikat aspal, yang sifatnya lentur terutama pada saat panas. Aspal dan agregat ditebar di jalan pada suhu tinggi (sekitar 100°C).



Sumber : Metode PtT 01-2002-B (Bina Marga 2002)

Gambar 2.2 Lapisan Perkerasan Lentur

Pada umumnya, perkerasan jalan lentur terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas, sebagai berikut :

- A. Lapisan tanah dasar (*Sub Grade*)
- B. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)
- C. Lapisan pondasi atas (*Base Course*)
- D. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

2.2 Agregat

Berdasarkan Buku “Beton Aspal Campuran Panas” oleh Silvia Sukirman Agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai secara bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolik atau adukan

Fungsi agregat adalah sebagai material pengisi dan biasanya menempati sekitar 75 % dari isi total beton, karena itu pengaruhnya besar terhadap sifat dan daya tahan beton. Misalnya ketahanan beton terhadap pengaruh pembekuan-pencairan, keadaan basah-kering, pemanasan-pendinginan dan abarasi-kerusakan

akibat reaksi kimia. Mengingat bahwa agregat menempati jumlah yang cukup besar dari volume beton dan sangat mempengaruhi sifat beton, maka perlu kiranya material ini diberi perhatian yang lebih detail. Disamping itu dapat mengurangi penyusutan akibat pengerasan beton dan juga mempengaruhi koefisien pemuaian akibat panas. Pemilihan jenis agregat yang akan digunakan tergantung pada mutu agregat, ketersediannya di lokasi, harga serta jenis konstruksi yang akan menggunakannya.

Pada pelaksanaannya agregat yang dipergunakan sebagai material campuran perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan yang ditentukan, persyaratan tersebut meliputi sifat dan gradasi agregat. Persyaratan tersebut telah dimuat pada **Tabel 2.1** berdasarkan spesifikasi Jalan dan Jembatan tahun 2018.

Tabel 2.1 Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat	% Berat yang tertahan terhadap Total Agregat
ASTM	(mm)	Laston AC-WC	
1 1/2"	37,5		
1"	25		
3/4"	19	100	
1/2"	12,5	95	5
3/8"	9,5	80	15
No.4	2,75	61	19
No.8	2,36	43	18
No.16	1,18	31	12
No.30	0,600	22	9
No.50	0,300	16	6
No.100	0,150	11	5
No.200	0,075	7	4
Filler	< 0,075	0	7

Sumber : Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan

2.3 Aspal

Bitumen atau aspal adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi (Sukirman, 2016) . Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal bersifat termosplastis yaitu mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisara antara 4% – 10% berdasarkan berat campuran, atau 10% - 15% berdasarkan volume campuran.

2.3.1 Analisis Viskositas Aspal

Berdasarkan Buku “Beton Aspal Campuran Panas” Oleh Silvia Sukriman, Sifat kekentalan material aspal merupakan salah satu faktor penting dalam pelaksanaan perencanaan campuran maupun dalam pelaksanaan di lapangan. Disini hubungan antara kekentalan dan temperatur memegang peranan penting. Sebelum dilakukan perencanaan campuran, biasanya kekentalan material aspal harus ditentukan dulu karena bila tidak akan mempengaruhi sifat campuran aspal itu selanjutnya. Misalnya pada temperatur campuran tertentu, apabila viskositasnya terlalu tinggi, maka akan menyulitkan dalam pelaksanaan campuran. Sebaliknya pada temperatur tersebut, apabila viskositasnya terlalu rendah, maka aspal tersebut menjadi kurang berperan sebagai bahan perekat pada campuran dan ini akan mengurangi stabilitas campuran.

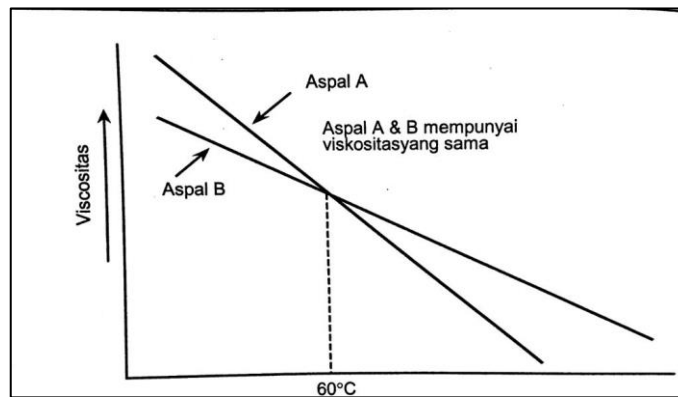
Tingkatan material aspal yang digunakan tergantung pada kekentalannya. Kekentalan aspal sangat bervariasi terhadap temperatur, dari tingkatan padat, encer sampai tingkat cair. Hubungan antara kekentalan dan temperatur adalah sangat penting dalam perencanaan penggunaan material aspal. Kekentalan akan berkurang (dalam hal ini aspal menjadi lebih encer) ketika temperatur meningkat. Kekentalan absolut atau kekentalan dinamik dinyatakan dalam satuan Pa detik atau poises (1 poises = 0,1 Pa detik). Viskositas kinematik dinyatakan dalam satuan cm^2/detik dan stokes atau centistokes (1stokes = 100 centistokes = 1

cm²/detik). Karena kekentalan kinematik sama dengan kekentalan absolut dibagi dengan berat jenis (kira-kira 1cm²/detik untuk aspal), kekentalan absolut dan kekentalan kinematik mempunyai harga yang relatif sama apabila kedua-duanya dinyatakan masing-masing dalam poises dan stokes.

2.3.2 Kepekaan aspal terhadap temperatur

Berdasarkan buku “Beton Aspal Campuran Panas” oleh Silvia Sukirman, Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi padat atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur. Kepekaan terhadap temperatur dari setiap jenis aspal berbeda-beda, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Gambar berikut memberikan ilustrasi tentang dua jenis aspal yang mempunyai nilai viskositas yang sama pada temperatur 60°C, tetapi berbeda pada temperatur lainnya.

Aspal A lebih peka terhadap perubahan temperatur, jika dibandingkan dengan aspal B. Kepekaan terhadap lama waktu pelaksanaan perkerasan jalan, perubahan temperatur sepanjang masa pelayanan jalan jika menggunakan aspal A lebih tinggi daripada jika menggunakan aspal B.



Sumber : Buku Beton Aspal Campuran Panas oleh Silvia Sukirman

Gambar 2.3 Kepekaan aspal terhadap temperatur

Aspal yang mengandung lilin (*wax*) lebih peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai viskositas yang sama pada temperatur tinggi, tetapi sangat berbeda viskositas pada temperatur yang rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal yang menjadi retak/mengeras.

Selain persyaratan yang harus diperhatikan pada penggunaan agregat, penggunaan aspal sebagai salah satu material perkerasan jalan juga harus diperhatikan, adapun persyaratan aspal berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 untuk Aspal Pen 60-70 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Ketentuan untuk Aspal keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa,(°C)	SNI 06-6442-2000	
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5876-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2
Pengujian Residu TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 6835-2002)			
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
Residu Aspal Segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 Mpa			
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan

2.3.3 Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal secara *homogeny*, dengan atau tanpa bahan tambahan.

Beton aspal memiliki tujuh karakteristik campuran antara lain :

- Stabilitas
- Keawetan atau durabilitas
- Kelenturan atau fleksibilitas
- Tahan terhadap geser
- Tahan terhadap kelelahan
- Kedap air
- Dapat dilaksanakan

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani.

Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

Persyaratan mengenai sifat campuran beton aspal jenis Laston sesuai Spesifikasi Umum 2018 untuk perkerasan jalan dan jembatan dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 2.3 Ketentuan sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio Partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam Campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan Membal (refusal)	Min	2		

Sumber : Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan.

2.4 Pengujian Marshall

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

- Penentuan berat volume benda uji.
- Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampa terjadi kelelahan plastis
- Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
- Perhitungan Marshall Qoutient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan flow.
- Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFA)
- Perhitungan tebal selimut atau film aspal

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (=5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (=10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (=6,35 cm). prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90 atau ASTM D 1559-76.

Dari keenam butir pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja beton aspal, terlihat bahwa hanya nilai stabilitas dan flow yang ditentukan dengan mempergunakan alat Marshall, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji dan perhitungan. Walaupun demikian, secara umum telah dikenali bahwa pengujian Marshall meliputi pengujian keenam butir diatas.

Secara garis besar pengujian Marshall meliputi:

1. Persiapan benda uji
2. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji
3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan flow
4. Perhitungan sifat volumetric benda uji

Nilai Stabilitas dan Kelelahan (*Flow*)

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *flowmeter* mengukur besarnya kelelahan yang terjadi akibat beban. Untuk mendapatkan suhu benda uji sesuai dengan suhu terpanas di lapangan, maka sebelum dilakukan pengujian, benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 atau 40 menit dengan temperatur 60°C di dalam *water bath*.

Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inci/menit atau 51 mm/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving ring*, kelelahan yang terjadi pada saat itu merupakan nilai kelelahan (*flow*) yang dapat dibaca pada flowmeternya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan kalibrasi *proving ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.

2.5 Pengaruh Stabilitas Campuran Aspal

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran beraspal panas yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Spesifikasi menetapkan untuk lapis Laston AC-WC yang dilalui oleh $< 1.000.000$ ESA, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg.

Nilai stabilitas dan flow, diperoleh dari hasil pengujian dengan metode Marshall, kedua nilai ini menggambarkan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk, seperti gelombang, alur dan bleeding. Semakin tinggi volume lalu lintas dan dominan dilalui kendaraan berat, maka dibutuhkan stabilitas yang tinggi. Sebaliknya, jika jalan hanya untuk lalu lintas ringan, tidak diperlukan stabilitas yang sangat tinggi. Sedangkan nilai Flow menggambarkan besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi saat mulai awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai flow dipengaruhi banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan. Nilai flow yang terlalu tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan flow yang terlalu rendah menunjukkan campuran tersebut memiliki rongga yang tidak terisi aspal lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal terlalu rendah sehingga berpotensi terjadi keretakan.

2.6 Modulus Resilient Campuran

Resilien modulus atau modulus kekakuan dari suatu campuran beraspal didefinisikan sebagai rasio dari tegangan terhadap regangan dengan waktu pembebanan dan temperatur yang diberikan. Sama halnya dengan modulus kekakuan campuran, modulus kekakuan aspal (S_{bit}) juga dipengaruhi oleh waktu pembebanan dan temperatur.

Modulus kekakuan adalah salah satu parameter yang digunakan untuk perencanaan dan mengevaluasi kinerja campuran beraspal. Karena campuran beraspal merupakan material yang tidak bersifat elastis sempurna maka

terminologi modulus elastis (E) tidak cocok digunakan dan sebagai gantinya digunakan istilah Modulus Resilien (MR), yaitu modulus elastisitas berdasarkan deformasi balik (*recoverable strain*).

Nilai modulus kekakuan aspal ini merupakan data masukan utama dalam perhitungan Modulus Resilien campuran beraspal. Dalam menentukan nilai ini dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium dengan alat UMATTA, serta dapat diprediksi dengan perhitungan teoritis menggunakan persamaan Shell (Heukelomp dan Klomp, 1964) dan metoda Nottingham (Brown, 1980).

Berdasarkan Jurnal “Pengukuran Modulus Kekakuan HRA menggunakan Alat UMATTA” oleh Wahyudi MandalaPutra, Pengujian *Indirect Tensile Strain* ini merujuk pada The American Society for Testing and Material (ASTM) D 41-882 (1987). Dalam pengujian ini suatu pembebanan yang disebut *pulsed diametral loading force* dilakukan pada suatu benda uji dan responnya yang disebut *total recoverable diametral strain* kemudian diukur dari sumbu aksis 90° terhadap pusat pembebanan. Regangan pada sumbu yang sama diukur, dengan demikiran rasio poisson harus dimasukkan secara terpisah untuk menggantikan angka default 0,4 dari sistem UMATTA.

Bentuk dari gelombang pembebanan pada alat UMATTA adalah triangular dan tidak bisa diubah. Urutan tes terdiri dari sejumlah pulsa pengkondisian yang diikuti dengan lima pembebanan pulsa, dimana data tambahan akan terjadi. Pulsa pengkondisian tersebut menjamin bahwa pembebanan silinder yang terletak diatas benda uji akan menjamin perolehan hasil yang konsisten, hasil berikut ini diperoleh dari data dari masing-masing lima pulsa :

- *Specimen stiffness atau modulus*
- *Force pulse time*
- *Force pulse fall time*
- *Tensile stress*
- *Peak loading force, and*
- *Total recoverable strain*

Dengan menggunakan data dari seluruh beban lima pulsa tersebut, dihitung nilai rata-rata, standar deviasi dan koefisien variance. Pengujian dilakukan pada temperatur yang konstan. Untuk pengujian *Indirect Tensile Modulus*, semua benda uji disiapkan pada kadar aspal optimum.

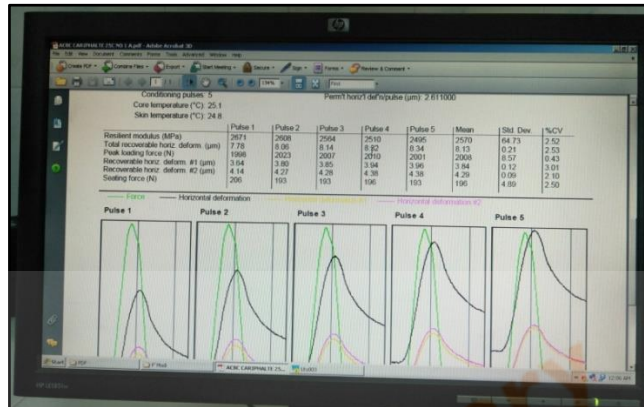
2.7 *Universal Material Testing Apparatus (UMATTA)*

Berdasarkan Jurnal “Pengukuran Modulus Kekakuan HRA menggunakan Alat UMATTA” oleh Wahyudi MandalaPutra, alat UMATTA terdiri atas CDAS, sebuah computer pribadi (PC) yang kompatibel dengan IBM dan panel perangkat lunak terpadu. CDAS merangkap dan me-digitasi sinyal analog dari sejumlah “*transducers*” kemudian meneruskan ke PC untuk pengolahan lebih lanjut melalui suatu hubungan komunikasi standard BS-232C. Manfaat umum penggunaan mesin pembebanan pneumatic yang dikendalikan komputer adalah biaya yang rendah. Sistem ini memiliki prasarana untuk mencatat dan menampilkan tegangan, regangan dan data kekakuan dari benda uji yang sedang diuji dan untuk periode berikutnya atau jumlah siklus pembebanan. Hingga sekarang, perangkat lunak telah dikembangkan agar memungkinkan empat jenis uji dikerjakan pada benda uji campuran aspal dan dua jenis pada butiran tanpa ikatan atau bahan tanah dasar. Lebih jauh, uji kekakuan Tarik tak langsung dapat juga dipergunakan untuk menentukan modulus benda uji. Uji-uji tersebut didefinisikan sebagai berikut :

- a. Uji kekakuan Tarik tak langsung pembebanan diameter 5 pulsa
- b. Uji kekakuan Tarik tak langsung pembebanan diameter berulang.
- c. Uji rangka pembebanan *uniaksial static*
- d. Uji rangkakan dan regangan triaksial beban berulang dengan tekanan pulsa atau tekanan tertahan static
- e. Uji modulus regangan triaksial beban berulang dengan tekanan pulsa atau tekanan tertahan statik.

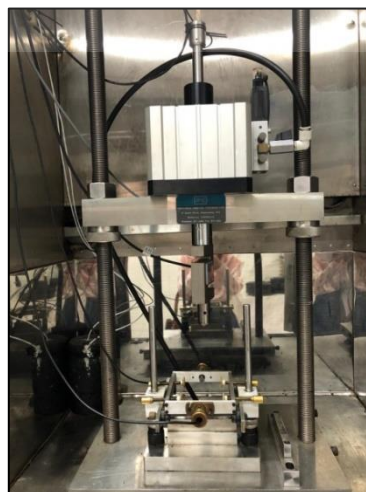
Peralatan ini dikembangkan dengan kerja sama dengan Badan Penelitian Jalan Australia (ARRB), “*Australia State Road Authorites*” dan Asosiasi Aspal Australia (AAA), Industri, Kelompok Penelitian dan Konsultan.

Perangkat lunak bersifat: “*user friendly*”, “*menu driver*” ditulis dalam Bahasa Pascal. Pada penorganisasiannya, sistem penghimpun dinamik dari transduser yang dipasang pada benda uji yang sedang diuji kemudian menampilkan plot regangan, modulus, atau bentuk gelombang (sesuai dengan tiap jenis uji dan “*function mode*”). Secara langsung pada PC.



Gambar 2.4 Contoh hasil dari pengujian alat UMATTA

Perangkat lunak secara otomatis menyimpan informasi uji pada “*Binary file*” yang kemudian menyediakan presentase tak langsung untuk mengkaji uji-uji yang sebelumnya dijalankan. Melalui layar gambar dari sistem atau menghasilkan file data untuk di import ke paket pengolahan angka.



Gambar 2.5 Universal Material Testing Apparatus (UMATTA)

2.8 Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Perhitungan Repetisi Beban izin rencana suatu jalan dapat berpedoman pada metode MDP 2017.

Untuk aspal konvensional pada perkerasan dengan beban sedang hingga berat, fungsi transfer yang menunjukkan hubungan antara regangan tarik maksimum akibat beban tertentu dan jumlah repetisi izin beban tersebut untuk kinerja retak lelah adalah:

$$N = RF \left(\frac{6918 \times (0,856V_b + 1,08)}{s_{mix}^{0,36} \mu\epsilon} \right)^5 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

N = jumlah repetisi izin beban

$\mu\epsilon$ = regangan tarik akibat beban (microstrain)

V_b = volume aspal dalam campuran (%)

S_{mix} = modulus campuran aspal (MPa)

RF = faktor reliabilitas = 80%

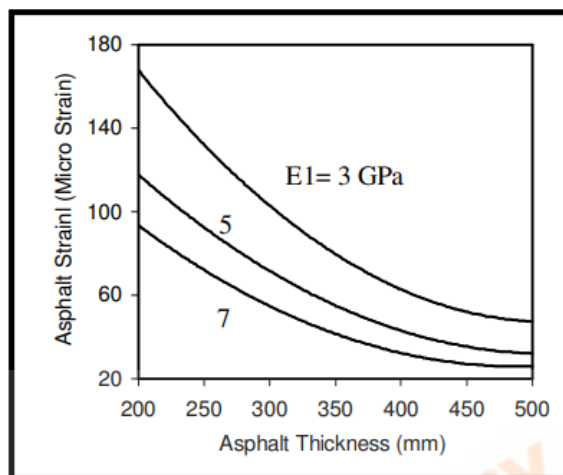
Tipikal volume bitumen dalam campuran beraspal dan parameter kelelahan yang digunakan dalam fungsi transfer untuk kriteria retak lelah lapis beraspal ditunjukkan pada **Tabel 2.4**. Data tersebut sebagai berikut :

Tabel 2.4 Parameter kelelahan (Fatigue) K

Bahan Lapisan Aspal	Volume Aspal (Vb) (%)	Parameter K untuk kondisi iklim Indonesia
HRS WC	16,4	0,0009427
HRS BC	14,8	0,008217
AC WC	12,2	0,006370
AC BC	11,5	0,005880
AC Base atau AC BC sebagai lapis fondasi	11,5	0,005355

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Untuk mengetahui regangan tarik vertikal ($\mu\epsilon$) suatu lapisan dapat menggunakan grafik pada **Gambar 2.6** berdasarkan nilai modulus resilien campuran dan juga tebal total perkerasan aspal yang direncanakan.



Gambar 2.6 Regangan Kritis (Asphalt Strain) sebagai Fungsi Kekakuan dan Ketebalan Aspal (Brown et al. 1982)

2.9 Studi Sebelumnya

Studi literatur dalam penelitian ini yaitu dengan pencarian beberapa sumber penelitian tertulis seperti jurnal dan tugas akhir terdahulu yang relevansi terhadap penelitian ini. Berikut uraian beberapa studi literatur mengenai Pengaruh temperatur pemadatan campuran terhadap modulus resilien campuran dan stabilitas.

1. Ponco Sugiarto (2016) telah melakukan penelitian tentang efek pengaruh temperatur pemadatan pada campuran untuk perkerasan lapis Aus. Pada literatur ini hasil yang didapat bahwa suhu pemadatan sangat mempengaruhi nilai parameter marshall. Nilai parameter marshall akan berpengaruh terhadap kualitas jalan, sehingga kualitas jalan dapat dikatakan aman dan nyaman atau tidak. Literatur ini dapat dijadikan referensi oleh penulis dalam menentukan variasi temperatur pemadatan yang akan digunakan.

2. Gunawan Tarigan (2018) telah melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur pemadatan terhadap marshall properties. Literatur ini membahas tentang pengaruh temperature pemadatan terhadap *marshall properties*. Variasi temperatur yang digunakan pada pengujian ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan tugas akhir ini, untuk itu literatur ini dapat menjadi referensi oleh penulis dalam menganalisis pengaruh temperatur pemadatan terhadap stabilitas campuran pada temperatur yang rendah.
3. Wahyudi Mandala Putra dan Bambang Sugeng S. (1996) telah melakukan penelitian tentang pengukuran kekakuan HRA menggunakan alat UMATTA. Literatur ini berisi tentang perbandingan hasil kekakuan campuran berdasarkan metode Shell dan Asphalt Institut dan menggunakan alat UMATTA. Literatur ini dapat dijadikan referensi oleh penulis dalam penulisan materi tentang alat UMATTA dan juga pengukuran Modulus Resilien.
4. Ranna Kurnia (2017) telah melakukan penelitian dengan judul Kinerja Lapis Pengikat Menggunakan Aspal Pen 40/50 Tanpa Polimer (Bagian Dari Studi Perpetual Pavement di Indonesia). Literatur ini meninjau kinerja salah satu lapis perkerasan yaitu Lapis Pengikat pada metode perencanaan *Perpetual Pavement*, dengan menggunakan beberapa jenis aspal, penelitian ini membandingkan jenis aspal apakah yang lebih baik digunakan pada metode *Perpetual Pavement*, dilihat dari nilai modulus resilien. Literatur ini dapat menjadi pembanding dengan penelitian penulis karena menggunakan bahan dan metode yang berbeda.
5. Tommy Diaz Iskandar, Zulkarnain A. Mius, Adina Sari Lubis (Kampus USU Medan) telah melakukan penelitian dengan judul Studi Penentuan Nilai Modulus Kekakuan Aspal Beton AC-WC. Literatur ini berisi tentang perbandingan cara penentuan nilai modulus resilien dengan pendekatan langsung (*direct methods*) dan pendekatan tak langsung (*indirect methods*). Literatur ini dapat dijadikan referensi oleh penulis

untuk mengetahui cara lain penentuan modulus resilien selain dengan alat UMATTA (*direct methods*).

6. Filino Kalani, Yossyafra, Elsa Eka Putri (2015) telah melakukan penelitian tentang Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Stabilitas Dinamis dan Umur Layanan Perkerasan AC-WC. Literatur ini berisi tentang pengaruh suhu pemadatan terhadap stabilitas dinamis dan umur layanan lapis perkerasan AC-WC grade halus. Penelitian ini membahas tentang pengaruh temperatur pemadatan terhadap stabilitas dinamis, sehingga literatur ini dapat menjadi referensi buat penulis dalam pengambilan kesimpulan atau proses analisa hasil stabilitas campuran yang diuji.

