

## 2. STUDI KEPUSTAKAAN

### 2.1 Beton Aspal (*Asphalt Concrete / AC*)

Beton aspal (AC) merupakan salah satu dari sekian banyak jenis lapis permukaan. Campuran beton aspal mengandung lebih banyak agregat halus dan *filler* serta sedikit agregat kasar.

Beton aspal ini awalnya dikembangkan di USA untuk memenuhi kebutuhan akan perkerasan yang kaku dan kuat yang mampu menahan beban berat dan tekanan tinggi yang diberikan oleh kendaraan.

Di Inggris, AC digunakan untuk lapangan terbang dan tidak umum dipakai untuk jalan raya karena AC memerlukan struktur di bawah permukaan yang kuat dan kaku. Jika struktur bawah jalan tidak cukup kaku maka besar kemungkinan terjadi retak pada permukaan yang disebabkan oleh kendaraan berat. Penyebab kedua adalah karena AC menghasilkan permukaan yang teksturnya halus dan membutuhkan perawatan lapis permukaan yang lebih untuk memberikan anti selip (*skid-resistance*) yang memadai bagi jalan dengan kecepatan tinggi (Shell Bitumen, *The Shell Bitumen Handbook*, 1990)

Perencanaan beton aspal memerlukan bermacam-macam percobaan laboratorium, meliputi pemeriksaan bahan seperti aspal, bahan agregat dan pemeriksaan campuran. (Simangunsong, U, *Kinerja Campuran Beraspal dengan Bahan Tambahan Serat Selulosa Terhadap Flexure Fatigue Test*, 2001). Tahapan dasar yang perlu diperhatikan dalam pengujian laboratorium adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pemeriksaan terhadap aspal yang dipakai, misalnya pemeriksaan untuk menentukan penetrasi dan berat jenis aspal.
- b. Menentukan spesifikasi gradasi agregat yang akan dipakai.
- c. Melakukan pemeriksaan mutu agregat.
- d. Menentukan kombinasi beberapa fraksi agregat untuk mendapatkan gradasi campuran yang memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

- e. Apabila mutu bahan terpenuhi dan kombinasi fraksi sudah diketahui, dibuat campuran agregat dengan berbagai kadar aspal.

Spesifikasi material untuk campuran beraspal menurut Bina Marga diberikan pada Tabel 2.1.

### 2.1.1 Aspal

Penyebutan aspal menurut spesifikasi Bina Marga berdasarkan jenis penetrasinya. Jenis aspal yang umum dipakai di Indonesia adalah penetrasi 60-70 dan penetrasi 80-100. Tabel 2.2 memberikan sifat-sifat aspal penetrasi 60-70 dan 80-100 yang mengikuti Standar Nasional Indonesia.

Tabel 2.2 Spesifikasi Bina Marga untuk Aspal

No	Jenis Pengujian		Satuan	Batas Spesifikasi
			Minimum	Maksimum
<b>A</b>	<b>Aspal Pen 60/70</b>			
	1. Penetrasi (25°C, 5 sec, 100 gr)	0,1 mm	60	79
	2. Titik Lembek ( <i>Ring &amp; Ball</i> )	°C	48	58
	3. Titik Nyala	°C	200	-
	4. Kehilangan Berat (163°C, 5 jam)	% berat	-	0,8
	5. Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub> , CS <sub>2</sub> atau C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )	% berat	99	-
	6. Daktilitas (25°C, 5 cm/mnt)	cm	100	-
	7. Penetrasi dari Residu	% semula	54	-
	8. Daktilitas dari Residu	cm	50	-
	9. Berat jenis (25°C)	gr/cc	1,0	-
<b>B</b>	<b>Aspal Pen 80/100</b>			
	1. Penetrasi (25°C, 5 sec, 100 gr)	0,1 mm	80	99
	2. Titik Lembek ( <i>Ring &amp; Ball</i> )	°C	46	54
	3. Titik Nyala	°C	225	-
	4. Kehilangan Berat (163°C, 5 jam)	% berat	-	0,1
	5. Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub> , CS <sub>2</sub> atau C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )	% berat	99	-
	6. Daktilitas (25°C, 5 cm/mnt)	cm	100	-
	7. Penetrasi dari Residu	% semula	50	-
	8. Daktilitas dari Residu	cm	75	-
	9. Berat jenis (25°C)	gr/cc	1,0	-

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, SNI No. 1737-1989-F, 1989

### 2.1.2 Mineral agregat

Agregat pada campuran aspal terbagi atas kelompok agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar terdiri dari batu pecah dan kerikil pecah yang tertahan pada saringan No.8 menurut standar Bina Marga atau ukuran saringan 2.36 mm. Agregat kasar harus bersih, kuat dan bebas dari zat-zat asing yang merugikan campuran beraspal. Persyaratan yang harus dipenuhi menurut spesifikasi Bina Marga diberikan pada Tabel 2.3.

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 8 menurut Bina Marga atau ukuran saringan 2.36 mm, terdiri dari batu pecah dan atau pasir alam, harus bersih, bebas dari lempung atau abu. Persyaratan yang harus dipenuhi menurut spesifikasi Bina Marga diberikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Bina Marga untuk Material Agregat

No	Jenis Pengujian	Satuan	Batas Spesifikasi	
			Minimum	Maksimum
<b>A</b>	<b>Agregat Kasar</b>			
	1. Penyerapan Air	%	-	3
	2. Berat Jenis Bulk	-	2,5	-
	3. Kelekatan Aspal	%	95	-
	4. Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	%	-	40
	5. Indeks Kepipihan	%	-	25
<b>B</b>	<b>Agregat Halus</b>			
	1. Penyerapan Air	%	-	3
	2. Berat Jenis Bulk	-	2,5	-
	3. Sand Equivalent	%	50	-

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, SNI No. 1737-1989-F, 1989

### 2.1.3 Alat Pemeriksaan Marshall

Kinerja campuran beraspal dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan Marshall (Departemen Pekerjaan Umum, SNI No. 06-2489-1991 : *Metoda Marshall*, 1991). Pemeriksaan dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis beton aspal. Kelelahan plastis adalah keadaan berubah bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai pada batas runtuh, yang dinyatakan dalam mm atau 0.01”.

Perencanaan campuran diperlukan untuk mendapatkan resep campuran yang memenuhi spesifikasi, menghasilkan campuran dengan kinerja yang baik dari agregat yang tersedia. Metoda beton aspal yang umum, dikenal dengan metoda kepadatan rongga dan metoda stabilitas leleh.

Beton aspal dengan menggunakan metoda kepadatan rongga diharapkan mempunyai durabilitas yang tinggi terhadap pengaruh cuaca. Kandungan aspal yang dibutuhkan lebih tinggi karena stabilitas dibentuk atas dasar ikatan antar butiran agregat kasar, halus dan aspal. Presentase minimum rongga dalam agregat (VMA) menurut spesifikasi Bina Marga diberikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persentase Minimum Rongga dalam Agregat (VMA)

Ukuran maksimum Nominal agregat		Persentase Minimum Rongga dalam agregat
Saringan	Ukuran (mm)	(VMA,%)
No. 16	1,18	23,5
No. 8	2,36	21,0
No. 4	4,75	18,0
3/8"	9,50	16,0
1/2"	12,50	15,0
3/4"	19,00	14,0
1"	25,40	13,0
1 1/2"	37,50	12,0
2 1/2"	63,00	11,0

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, SNI No. 1737-1989-F, 1989

Beton aspal dengan menggunakan metoda stabilitas leleh didasarkan atas kriteria stabilitas yang berasal dari kuncian antar agregat sehingga kadar aspal yang dibutuhkan lebih rendah dari pada metoda kepadatan rongga.

Beton aspal diharapkan mempunyai sifat-sifat dasar seperti :

- a. Stabilitas, kemampuan untuk menahan deformasi atau lendutan akibat beban lalu lintas.
- b. Fleksibilitas, kemampuan untuk menahan deformasi tanpa mengalami retak.
- c. Durabilitas, beton aspal harus mampu bertahan disintegrasi akibat beban lalu lintas dan cuaca serta ketahanan terhadap kelekatan antara aspal dan mineral agregat.

- d. *Skid Resistance*, berhubungan dengan ketahanan ke arah samping pada tikungan (geometrik jalan).
- e. Kemudahan pekerjaan.
- f. Kerataan (*evenness*) yang baik.
- g. Permeabilitas yang baik.
- h. *Noise of Traffic* yang rendah (umumnya sangat diperlukan untuk jenis pekerjaan kaku).

Lima persyaratan awal merupakan persyaratan minimum yang harus dipenuhi oleh campuran spesifikasi Bina Marga diberikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kriteria Pemeriksaan Marshall untuk Beton Aspal

Kriteria Campuran	Lalulintas Berat ( 2 x 75 Tumb.)		Lalulintas Sedang ( 2 x 50 Tumb.)		Lalulintas Ringan ( 2 x 35 Tumb.)	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Stabilitas, kg	550	-	450	-	350	-
Flow, mm	2,0	4,0	2,0	4,5	2,0	5,0
Stabilitas / flow (kg/mm)	200	350	200	350	200	350
VIM (%)	3	5	3	5	3	5
Indeks Perendaman (%)	75	-	75	-	75	-

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, SNI No. 1737-1989-F, 1989

## 2.2 Modulus Kekakuan Aspal

Aspal merupakan material yang bersifat visko-elastis dan deformasi yang timbul akibat adanya tegangan merupakan fungsi dari temperatur dan waktu pembebanan. Pada temperatur yang tinggi atau waktu pembebanan yang panjang, aspal berperilaku *viscous-liquid* dan pada suhu yang rendah atau waktu pembebanan yang pendek (seketika), aspal bersifat *solid-elastic (brittle)* (Shell Bitumen, *The Shell Bitumen Handbook*, 1990)

Van der Poel (referensi : Simangunsong, U., *Kinerja Campuran Beraspal dengan Bahan Tambahan Serat Selulosa Terhadap Flexure Fatigue Test*, 2001) memperkenalkan konsep modulus kekakuan aspal (*stiffness modulus of bitumen*) sebagai parameter dasar untuk menjelaskan sifat-sifat mekanis aspal. Pada saat awal ( $t = 0$ ) tegangan tarik ( $\sigma$ ) yang diberikan pada material visko-

elastis tersebut menyebabkan regangan tarik ( $\epsilon_t$ ) namun tidak bertambah secara proporsional terhadap waktu pembebanan, sehingga modulus kekakuan aspal yang terjadi tergantung pada waktu atau lamanya pembebanan. Karena bersifat visko-elastis, modulus kekakuan aspal juga tergantung pada temperatur.

Modulus kekakuan aspal dapat didefinisikan sebagai :

$$S_{bit} = \frac{\sigma}{\epsilon_{(t,T)}} \quad (2.1)$$

dimana :  $S_{bit}$  = modulus kekakuan aspal [MPa]  
 $\sigma$  = tegangan tarik yang terjadi (*applied tensile stress*) [MPa]  
 $\epsilon$  = regangan tarik [mm/mm]

Penelitian yang dilakukan *SHELL* mengindikasikan bahwa modulus beton aspal sangat tergantung pada modulus kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ), volume agregat ( $V_G$ ) dan volume aspal ( $V_B$ ). Modulus kekakuan aspal dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$S_{bit} = 1.157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-PI} (T_{R\&B} - T)^5 \quad (2.2)$$

dimana :  $S_{bit}$  = Modulus kekakuan aspal [MPa]  
 $t$  = Waktu pembebanan [detik]  
 $PI$  = Indeks Penetrasi  
 $T_{R\&B}$  = Suhu titik lembek [ $^{\circ}C$ ]  
 $T$  = Suhu aspal [ $^{\circ}C$ ]

Nilai  $PI$  atau Indeks Penetrasi tidak bisa diperoleh secara langsung. Untuk itu harus dilakukan perhitungan dengan data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan. Perhitungan dilakukan berdasarkan rumus yang diberikan oleh *SHELL*, yaitu :

$$PI = \frac{1952 - 500 \log Pi - 20SP}{50 \log Pi - SP - 120} \quad (2.3)$$

dimana :  $PI$  = Indeks Penetrasi  
 $Pi$  = Penetrasi Aspal  
 $SP$  = *Softening Point* atau titik lembek ( $T_{R\&B}$ ) [ $^{\circ}C$ ]

## 2.3 Kelelahan

Beberapa aspek yang ditinjau dalam kelelahan antara lain definisi kelelahan itu sendiri, umur kelelahan, dan pengujian kelelahan.

### 2.3.1 Definisi Kelelahan

Yoder and Witczak (1975) mendefinisikan kelelahan sebagai suatu fenomena pengulangan beban lalu lintas yang menimbulkan retak dimana retak ini direpresentasikan oleh terjadinya repetisi tegangan atau regangan pada tingkat tertentu di bawah kekuatan ultimat dari material.

### 2.3.2 Umur kelelahan

Umur kelelahan bisa diketahui dengan melihat jumlah pengulangan beban yang menimbulkan retak pada lapis permukaan / benda uji. Umur kelelahan dipengaruhi oleh beban yang diterima dan komposisi beton aspal, seperti jenis agregat, gradasi agregat, kandungan aspal, kandungan rongga udara dan kepadatan campuran yang dihasilkan. (Strategic Highway Research Program, *Summary Report on Fatigue Response of Asphalt Mixtures : SHRP-A-90-011*, 1990)

### 2.3.3 Pengujian kelelahan

Pengujian terhadap retak akibat kelelahan bisa didapatkan dari hubungan antara tegangan atau regangan dengan jumlah pengulangan beban hingga terjadi keruntuhan. Pengujian dapat dilakukan atas beberapa metoda pengujian, moda pembebanan, pola pembebanan dan frekuensi pembebanan dengan variasi ukuran benda uji (Simangunsong, U, *Kinerja Campuran Beraspal dengan Bahan Tambahan Serat Selulosa Terhadap Flexure Fatigue Test*, 2001). Untuk melaksanakan pengujian ini digunakan mesin uji DARTEC yang dapat memberikan hasil yang diinginkan.

#### 2.3.3.1 Metoda pengujian

Metoda pengujian sendiri ada banyak macamnya, namun menurut SHRP-A-404 metode pengujian laboratorium yang cukup baik digunakan untuk

menguji kinerja campuran beraspal terhadap karakteristik kelelahan adalah *rotating bending*, *flexure fatigue test* (dengan variasi *2 point loading* dan *3 and 4 point loading*), *indirect tensile (Marshall briquettes)* serta *direct axial*.

### 2.3.3.2 Moda pembebanan

Umumnya moda pembebanan dilakukan dengan cara kontrol tegangan (*controlled stress*) dan kontrol regangan (*controlled strain*).

Pada kontrol tegangan, amplitudo tegangan siklik pada benda uji diusahakan konstan selama pengujian berlangsung dan pengujian regangan siklis dibiarkan bertambah. Amplitudo regangan yang meningkat mengakibatkan melemahnya benda uji selama pengujian berlangsung. Keruntuhan didefinisikan sebagai jumlah pengulangan yang menyebabkan keruntuhan benda uji atau jumlah pengulangan yang menyebabkan amplitudo regangan bertambah hingga mencapai batas pengulangan yang ditentukan, misalnya 100 persen (jumlah pengulangan yang mengakibatkan perubahan kemiringan yang tajam pada kurva lendutan dengan pengulangan tegangan).

Pada cara kontrol regangan, amplitudo regangan diberikan konstan selama pengujian berlangsung. Benda uji akan melemah sehingga amplitudo yang dibutuhkan akan berkurang. Keruntuhan benda uji didefinisikan sebagai jumlah pengulangan regangan yang menyebabkan besar tegangan menurun menjadi 50 persen dari nilai awal yang diberikan. (Strategic Highway Research Program, *Fatigue Response of Asphalt-aggregate Mixes : SHRP-A-404*, 1994)

### 2.3.3.3 Pola pembebanan

Ada berbagai macam pola pembebanan yang bisa diberikan pada pengujian kelelahan sebagai berikut :

#### a. *Full sine wave (sinusoidal wave)*

Pada pola ini bagian serat yang paling ekstrim dari benda uji aspal mengalami pembalikan tegangan secara penuh pada setiap siklus beban

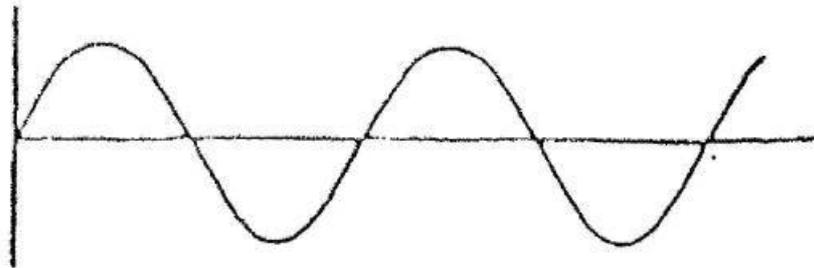
#### b. *Half sine wave*

Hampir sama dengan *sinusoidal wave*, tetapi pada pola ini tidak ada pembalikan tegangan

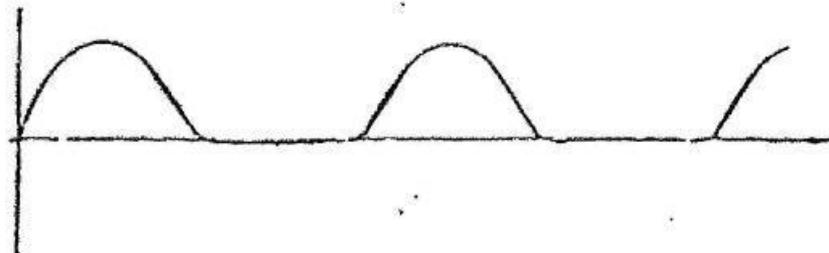
c. *Haversine wave delay*

d. *Block loading*

Bentuk pembebanan bisa dilihat pada gambar 2.1.

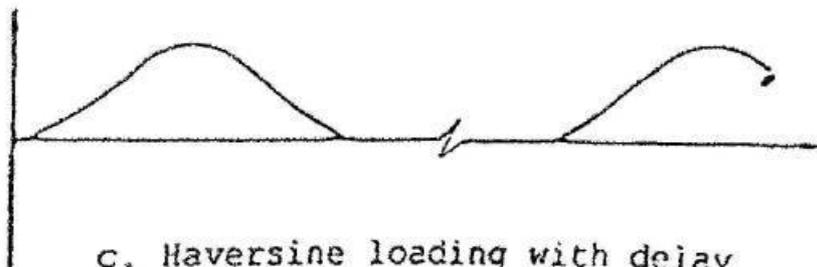


a. Full wave sine loading

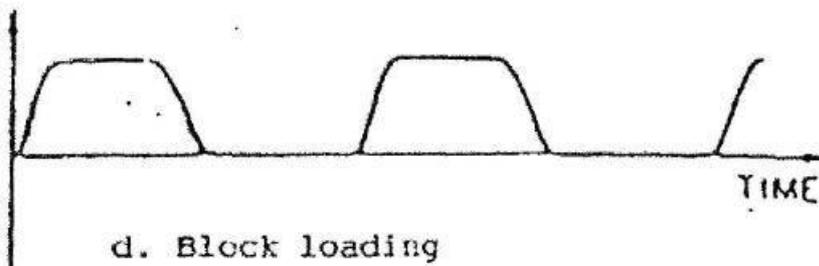


b. half wave sine loading

)  
)  
)  
)  
)



c. Haversine loading with delay



d. Block loading

Gambar 2.1 Pola-pola Pembebanan

Sumber : Irwin and Gallaway, 1974

#### 2.3.3.4 Frekuensi pembebanan

Disamping karena pengaruh temperatur (T), sifat visko-elastis material aspal juga dipengaruhi oleh waktu pembebanan (t). Parameter ini berhubungan dengan frekuensi pembebanan yang akan menentukan ketahanan terhadap kelelahan akibat retak. Frekuensi dan waktu pembebanan dihubungkan dengan rumus berikut ini :

$$f = 1 / (2 \pi t) \quad (2.3)$$

dimana : f = frekuensi [Hz]

t = waktu pembebanan [detik]

The Asphalt Institute dan TRRL mendasarkan frekuensi pembebanan pada 10 Hz dan 5 Hz yang kira-kira sama dengan waktu pembebanan 0,016 detik dan 0,032 detik. SHRP-A-90-011 (1990) memberikan indikasi bahwa waktu pembebanan antara 0,004 sampai 0,1 detik relatif sesuai digunakan untuk pengujian kelelahan.

#### 2.3.3.5 Mesin Uji DARTEC

Alat uji kelelahan yang digunakan adalah mesin uji DARTEC 100 kN yang terdapat pada Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan, Bandung. Mesin ini dapat melakukan uji statik (kapasitas maksimum 100 kN) dan uji dinamis (kapasitas 150 kN) dengan rentang gerak beban (stroke) untuk pengujian statik maksimum 150 mm. Kontrol informasi dapat dilakukan secara manual pada kontrol kabinet maupun dengan perangkat lunak menggunakan komputer. (Simangunsong, U, *Kinerja Campuran Beraspal dengan Bahan Tambahan Serat Selulosa Terhadap Flexure Fatigue Test*, 2001)

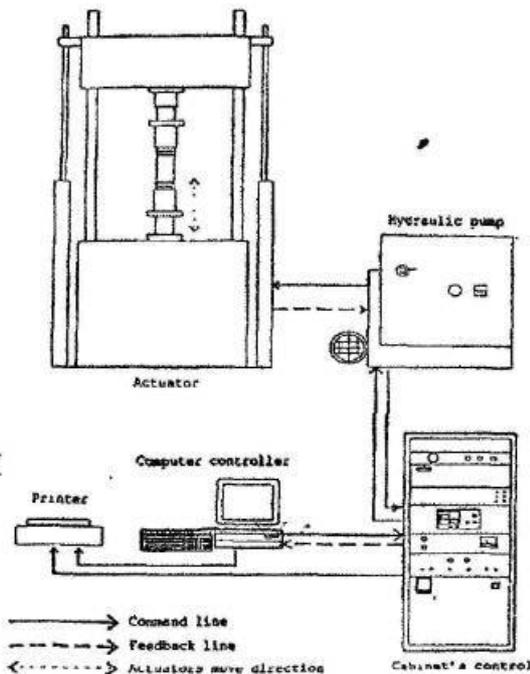
Komponen utama mesin uji kelelahan DARTEC terdiri atas 3 (tiga) buah komponen (lihat Gambar 2.2), yaitu :

a. Rangka mesin

Terdiri atas aktuator dan pompa hidrolik sebagai tenaga penggerak

b. Lemari kontrol

c. Komputer, sebagai alat pengontrol



Gambar 2.1. Rangkaian Mesin Uji Kelelahan DARTEC

Sumber : Simangunsong, U, Kinerja Campuran Beton Beraspal dengan Bahan Tambahan Serat Selulosa Terhadap Flexure Fatigue Test, 2001

Semua data pengujian disimpan secara otomatis oleh komputer. Lemari kontrol memiliki 5 (lima) modul (lihat Gambar 2.3), yaitu :

a. Modul kontrol

Merupakan pengontrol mesin utama mesin, untuk memasukkan data secara manual, parameter pengujian seperti beban, batas beban dan lain-lain.

b. Modul indikator

Untuk memonitor nilai sesaat beban, rentang gerak dan tanda-tanda lain

c. Modul pembangkit fungsi

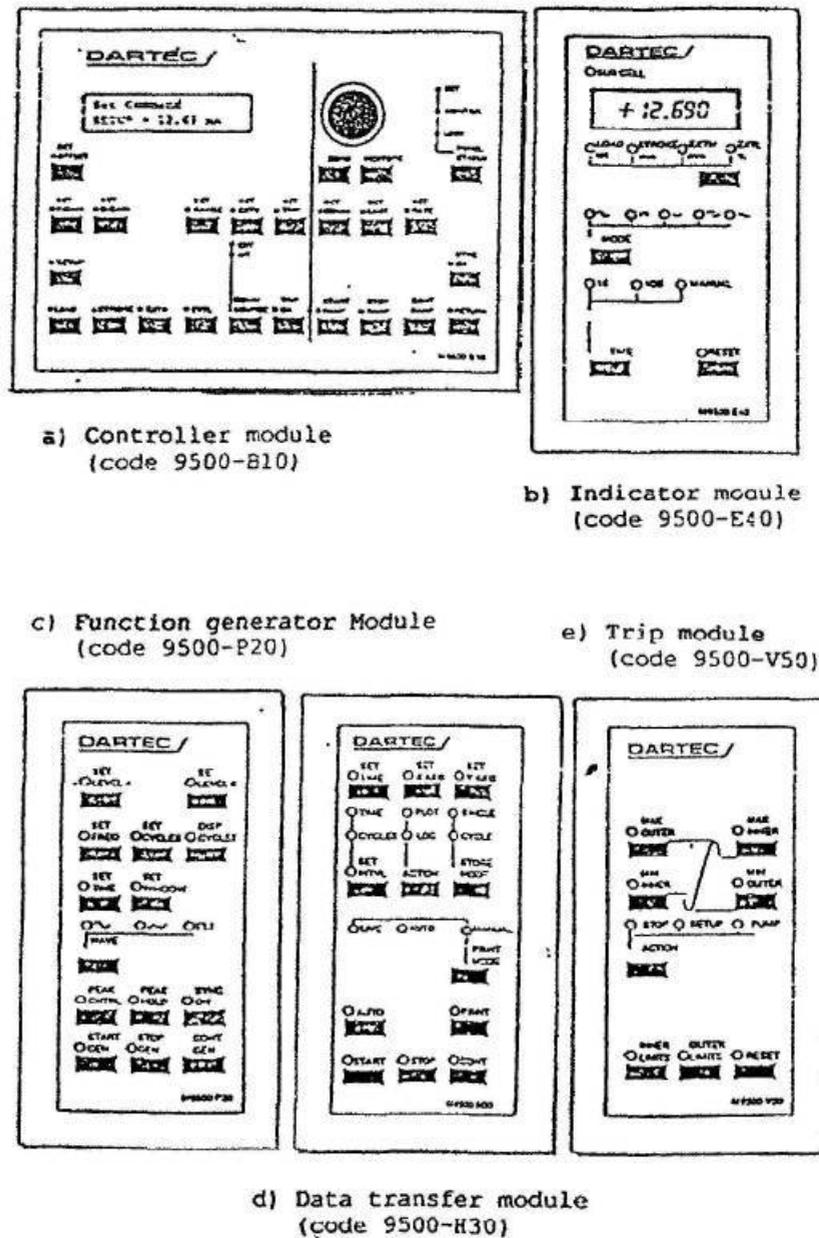
Untuk menentukan tingkat beban atau tegangan maksimum atau minimum, frekuensi beban, jumlah siklus maksimum dan bentuk pembebanan

d. Modul transfer data

Memberikan fasilitas untuk mencatat data beban, rentang gerak, dan tanda-tanda lain.

e. Modul trip

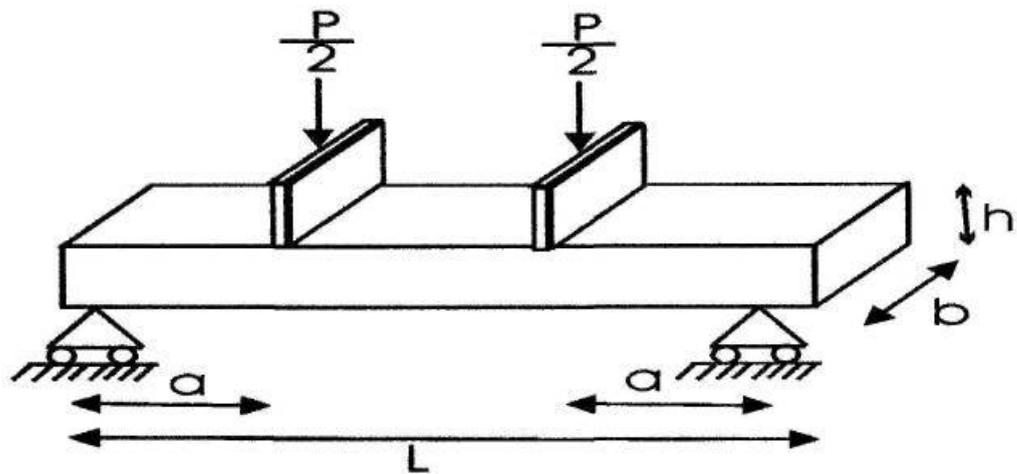
Digunakan untuk menghentikan generator fungsi dan pompa jika mesin mengalami gangguan selama pengujian berlangsung.



Gambar 2.2 Komponen Mesin Uji DARTEC

Sumber Simangunsong, U, Kinerja Campuran Beton Beraspal dengan Bahan Tambahan Serat Selulosa Terhadap Flexure Fatigue Test, 2001

Benda uji diletakkan di atas 2 (dua) perletakan dan dibebani di 2 (dua) titik pada sepertiga bentang, sehingga dapat dikatakan sebagai balok diatas 4 (empat) titik pembebanan (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Perletakan Benda Uji dan Pembebanannya

Sumber : Balai Bahan dan Perkerasan Jalan Bandung,  
Pengantar In House Training : Pengujian UMATTA,  
DARTEC, WTM & Kepadatan Maksimum,