

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai bahan berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat.

Hidrokarbon adalah bahan dasar utama aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering disebut bitumen. Aspal yang umum digunakan terutama berasal dari hasil proses destilasi minyak bumi. Aspal alam (aspal Buton) banyak pula digunakan. (Silvia Sukirman, 1992)[11].

Beton secara umum adalah agregat/batuan yang dicampur dengan suatu bahan pengikat, oleh karena proses kimia campuran tersebut mengeras dan membentuk kesatuan massa padat.

Beton secara khusus adalah agregat yang dicampur dengan bahan pengikat semen atau *Portland Cement* (PC). Beton aspal adalah campuran aspal semen dengan batuan atau mineral yang diolah pencampurannya pada keadaan panas. Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan residu dari proses destilasi minyak bumi, yang sering disebut aspal semen. Aspal semen

bersifat mengikat agregat pada campuran beton aspal, memberikan lapisan kedap air serta tahan terhadap pengaruh asam, basa dan garam.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi.

1. Bahan Pengikat

Aspal memberikan ikatan yang kuat terhadap agregat dan terhadap aspal itu sendiri.

2. Bahan Pengisi

Aspal berfungsi mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori pada agregat tersebut.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan bersifat sebagai berikut ini.

1. Daya tahan (*Durability*).

Daya tahan adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat aslinya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat campuran aspal, jadi tergantung pada sifat agregat, campuran dengan aspal dan faktor pelaksanaan.

2. Adhesi dan Kohesi.

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat, sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperatur.

Aspal adalah bahan yang termoplastis, maka jika dipanaskan pada temperatur tertentu dapat menjadi lunak/cair. Aspal cair ini dapat membungkus partikel agregat pada pembuatan beton aspal atau dapat masuk ke pori-pori agregat pada penyemprotan/penyiraman lapis perkerasan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat aspal pada tempatnya.

4. Kekerasan Aspal.

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat. Agregat dapat dilapisi aspal dengan penyemprotan/penyiraman aspal panas ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Terjadi proses oksidasi selama proses pelaksanaan, menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi pula oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. (Silvia Sukirman, 1992)[11].

2. 2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, pasir atau mineral lainnya yang diperoleh dari alam maupun dari hasil pengolahan. Agregat merupakan komponen utama lapisan perkerasan jalan, yaitu mengandung 90% - 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan

persentase volume. Berdasarkan hal tersebut maka daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga oleh sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Silvia Sukirman, 1992)[11].

Berdasarkan proses pengolahan, agregat yang digunakan pada perkerasan lentur dibedakan menjadi agregat alam, agregat proses pengolahan dan agregat buatan.

1. Agregat Alam

Agregat alam adalah agregat yang digunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit pengolahan. Agregat alam dibentuk melalui proses erosi dan degradasi. Dua bentuk agregat alam yang sering digunakan adalah kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel $> 1/4$ inci (6,35 mm). Pasir adalah agregat dengan ukuran partikel $< 1/4$ inci tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan No. 200).

2. Agregat Proses Pengolahan

Agregat jenis ini diperoleh melalui proses pemecahan. Agregat alam dengan ukuran besar dipecah dengan alat pemecah batu (*stone crusher*) untuk mendapatkan ukuran yang sesuai sebelum digunakan pada konstruksi perkerasan jalan. Adapun ciri-ciri agregat hasil pemecahan *stone crusher* adalah sebagai berikut ini.

- a) Bentuk partikel bersudut.
- b) Permukaan partikel kasar, sehingga mempunyai gesekan yang baik.
- c) Gradasi dapat sesuai dengan yang direncanakan.

Agregat hasil proses pengolahan ini sangat dipengaruhi oleh bahan asalnya. Jika bahan tersebut mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi maka hasil pemecahan batuan tersebut juga mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi.

3. Agregat Buatan (Sintesis)

Agregat buatan adalah agregat yang diperoleh dari hasil olahan atau hasil sampingan pabrik semen, pabrik baja, atau mesin pemecah batu (*stone crusher*). Agregat ini merupakan mineral *filler*, yaitu partikel dengan ukuran < 0.075 mm.

(Silvia Sukirman, 1992)[11].

Agregat yang akan digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain porositas, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal dan kebersihan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dikelompokkan sebagai berikut ini.

1. Kekuatan dan keawetan (*strenght and durability*) lapisan perkerasan, yang dipengaruhi oleh:
 - a). gradasi,
 - b). ukuran maksimum partikel agregat,
 - c). kadar lempung,
 - d). kekerasan dan ketahanan,
 - e). bentuk butiran, dan
 - f). tekstur permukaan.

2. Kemampuan dilapisi aspal, yang dipengaruhi oleh:
 - a) porositas,
 - b) kemungkinan basah, dan
 - c) jenis agregat.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh:
 - a) tahanan geser, dan
 - b) campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

2.3 Filler

Filler didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No. 200 (0.075 mm) bisa berupa: debu batu, abu kapur, debu dolomit atau semen. *Filler* harus dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%). *Filler* merupakan bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butir pengisi pada pembuatan campuran beton aspal. Penggunaan *filler* dalam campuran beton aspal akan berpengaruh pada karakteristik beton aspal. Pengaruh penggunaan *filler* pada campuran beton aspal adalah sebagai berikut ini.

1. Pengaruh penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal *filler* yaitu :
 - a) pengaruh terhadap viskositas campuran. Pengaruh tiap jenis *filler* terhadap viskositas campuran adalah berbeda-beda. Luas permukaan *filler* yang semakin besar akan menaikkan viskositas campuran. Adanya daya affinitas (tarik menarik) menyebabkan jumlah aspal yang diserap *filler* bervariasi,

naiknya viskositas campuran, menyebabkan jumlah aspal yang diserap semakin besar,

- b) pengaruh terhadap daktilitas dan penetrasi campuran. Semakin tinggi kadar *filler* akan menurunkan daktilitas, yang juga terjadi pada berbagai suhu. Naiknya viskositas aspal akibat penggunaan *filler* akan menurunkan penetrasi aspal, dan
- c) pengaruh terhadap suhu dan pemanasan. Penggunaan jenis dan kadar *filler* akan memberikan pengaruh yang berbeda pada berbagai campuran.

2. Pengaruh penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran beton aspal.

Kadar *filler* dalam campuran akan berpengaruh pada proses pencampuran, penggelaran dan pepadatan. Kadar dan jenis *filler* juga akan berpengaruh pada sifat elastik dan sensitifitas campuran terhadap air.

Hasil penggunaan *filler* terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut ini.

1. *Filler* diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan dan karakteristik lain beton aspal.
2. *Filler* dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal yaitu:
 - a) sebagai bagian dari agregat, *filler* akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat, sehingga akan meningkatkan campuran, dan
 - b) bila bercampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi, sehingga mengikat butiran secara bersama-sama.

3. Sifat aspal (daktilitas, viskositas dan penetrasi) diubah secara drastis oleh *filler*, walaupun kadarnya relatif rendah dibanding pada campuran beton aspal. Penambahan *filler* pada aspal akan meningkatkan konsistensi pada aspal.
4. Daktilitas campuran aspal *filler* akan mencapai nol, pada kadar *filler* yang umum digunakan pada campuran beton aspal. Sedangkan pada suhu dan kadar *filler* yang sama, nilai penetrasi campuran aspal *filler* akan turun sampai $< 1/3$ dari penetrasi semula.
5. Viskositas aspal *filler* pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar, tergantung pada jenis *filler* dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada suhu yang lebih rendah.
6. Hasil tes menunjukkan ada hubungan antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar pori yang sama.
7. Hasil tes menunjukkan bahwa ada hubungan antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan suhu perlu dinaikkan pada pemadatan campuran dengan *filler* aspal berkonsistensi tinggi.
8. Sensitifitas campuran terhadap air pada jenis dan kadar *filler* yang berbeda menunjukkan variasi yang besar. Hasil tes menunjukkan bahwa sensitifitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar *filler* yang peka terhadap air.

2.4 *Split Mastic Asphalt*

Split Mastic Asphalt adalah jenis beton aspal campuran panas gradasi terbuka, yang terdiri dari campuran sebagai berikut ini.

1. *Split* (agregat kasar) dengan ukuran $> 2\text{mm}$ dengan jumlah fraksi tinggi yakni $\geq 75\%$ dari berat agregat campuran.
2. *Mastic Asphalt* adalah berupa campuran antara agregat halus, bahan isian (*filler*) dan aspal dengan kadar aspal relatif tinggi.

Terdapat 3 (tiga) jenis *Split Mastic Asphalt* yang digolongkan berdasarkan gradasinya, yaitu:

1. SMA 0/11, dengan ukuran agregat 0 - 11 mm. Umumnya digunakan untuk lapisan *wearing course* pada jalan baru. Pengaspalan dengan ketebalan 2,5 - 5 cm,
2. SMA 0/8, dengan ukuran agregat 0 - 8 mm. Umumnya digunakan untuk pelapisan ulang (*overlay*) pada jalan lama. Pengaspalan dengan ketebalan 2 - 4 cm, dan
3. SMA 0/5, dengan ukuran 0 - 5 mm. Umumnya digunakan sebagai lapis tipis permukaan untuk pemeliharaan dan perbaikan jalan. Pengaspalan dengan ketebalan 1,5 - 3 cm.

Sifat-sifat *split mastic asphalt* (SMA) dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Sifat-sifat *Split Mastic Asphalt* (SMA)

No.	Sifat-sifat <i>Split Mastic Asphalt</i>	Karakteristik	Syarat
1.	mampu melayani lalu lintas berat	<i>Stability Marshal</i>	> 750 kg
		<i>Flow Marshall</i>	2 - 4 mm
2.	tahan terhadap oksidasi	tebal lapisan film aspal	10 μ
3.	tahan terhadap deformasi permanen pada suhu tinggi	nilai stabilitas dinamis	> 1500 lintasan (60°C: 6,4 kg/cm ²)
4.	fleksibilitas (lentur)	<i>Marshall quotient (stability/flow)</i>	190 - 300 kg/mm
5.	tahan cuaca/temperatur tinggi	titik lembek (aspal + serat selulosa)	>60°C
6.	kedap air	rongga udara	3 - 5 %
		indeks perendaman	> 75 % (60°C, 48 jam)
7.	aman untuk lalu lintas (kesat)	nilai kekesatan	> 0,60
8.	tingkat keseragaman campuran yang tinggi	kadar agregat kasar	tinggi
		viskositas aspal	tinggi

2.5 Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan yang ditambahkan di dalam campuran aspal yang fungsinya menstabilisasikan campuran aspal (memperbaiki sifat-sifat aspal minyak) dan tidak dikategorikan sebagai bahan substitusi agregat. Bahan tambah serat selulosa yang digunakan pada campuran *Split Mastic Asphalt* adalah *Custom Fibers 31500* (CF-31500).

Serat selulosa CF-31500 yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran *Split Mastic Asphalt* ini merupakan hasil fabrikasi. Bahan tambah ini diimport dari Amerika Serikat. Distributor di Indonesia adalah PT. Saranarya Reka Cipta, di Jakarta.

Serat selulosa didapat dari tumbuhan yang bisa menghasilkan protein dan asam amino. Untuk mengambil protein dan asam amino pada tumbuhan digunakan cara ekstraksi. Hasil ekstraksi yang berupa larutan protein dan asam amino disuling (destilasi) untuk diambil protein dan asam amino yang murni. Hasil destilasi tersebut kemudian diendapkan, diekstraksi pada keadaan basa kedalam larutan penggumpal (*coagulating*) untuk dijadikan serat selulosa, pada keadaan ini proses pengerasan terjadi.

Sifat fisik yang diinginkan pada serat selulosa merupakan hal yang kompleks. Hal tersebut tergantung pada penggunaan serat selulosa tersebut, yaitu:

1. penekanan penggunaan pada sifat fisis kekuatan serat kering,
2. penekanan penggunaan pada sifat kekuatan serat basah, dan
3. penekanan penggunaan pada elastisitas bahan dan kadar penyerapannya.

Serat selulosa CF-31500 ini diutamakan untuk memperbaiki sifat-sifat aspal minyak, sehingga akan diperoleh konstruksi perkerasan jalan yang kuat, kaku, awet, nyaman dan aman bagi lalu lintas. Hal ini tidak terlepas dari sifat - sifat serat selulosa CF-31500 yang harus dipenuhi sebagai bahan stabilisasi aspal.

Kadar serat selulosa ditentukan berdasarkan persyaratan optimum. Persyaratan optimum ini ditentukan dengan bervariasi kadar serat selulosa terhadap kadar aspal. Campuran serat selulosa dalam aspal harus dapat memperbaiki mutu aspal sehingga dicapai :

1. titik lembek campuran : $> 60^{\circ}\text{C}$,
2. kelelehan campuran : 0 % (1 jam, 60°C), dan

3. nilai penetrasi : < 40.

Kadar serat selulosa dalam spesifikasi *Split Mastic Asphalt* (SMA) Jerman bervariasi antara 0,3 - 1,5 %. Kadar serat selulosa dalam spesifikasi Bina Marga ditentukan tetap 0,3 % dari berat total campuran. Fungsi serat selulosa dalam menstabilisasi aspal terlihat pada perubahan sifat campuran aspal dan serat selulosa terhadap aspal murni. Perubahan sifat tersebut yaitu kenaikan titik leleh, penurunan penetrasi semu dan penurunan kelelahan. Mekanisme stabilisasi itu secara mikro terjadi melalui dua proses sebagai berikut ini.

1. Absorpsi aspal oleh serat selulosa.

Proses ini akan menyebabkan sifat-sifat kinetis (mobilitas) dari partikel-partikel aspal sehingga meningkatkan integritas dari bulk aspal tanpa mengurangi sifat kelenturan dan adhesinya.

2. Jembatan hidrogen antara selulosa dengan aspal.

Penjelasan hal di atas adalah sebagai berikut ini.

Secara umum aspal tersusun dari tiga komponen yaitu asphaltenes, resin dan saturated hidrocarbon. Fungsi spesifik masing-masing komponen tersebut adalah sebagai berikut:

1. *asphaltenes* adalah pembentuk body,
2. *resin* membangkitkan sifat adhesif dan lentur (*ductile*), dan
3. fraksi-fraksi minyak berperan pada sifat viskositas dan *flow*.

Analisa komponen lanjutan menunjukkan bahwa fraksi resin terdiri dari resin tak jenuh dan asam hidrokarbon tak jenuh. Masing - masing lazim disebut

sebagai *first acidaffins* (A-1), *second acidaffins* (A-2) dan basa nitrogen (N) dalam jumlah relatif kecil. Fraksi minyak tersusun dari beberapa campuran senyawa hidrokarbon jenuh.

Salah satu masalah yang muncul pada konstruksi aspal adalah penuaan (*aging*). Penuaan adalah suatu proses yang menyebabkan aspal berkurang/kehilangan sifat adhesif dan daktilitas. Problem ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan dini dan menimbulkan kerugian yang cukup berarti.

Problem tersebut dapat dideteksi dengan menggunakan persamaan parameter komposisi malten (Persamaan Rosler). Persamaan Rosler (Arnold J H, 1965)[1] adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{(N + A-1)}{(P + A-2)}$$

Dengan :

- f = naiknya parameter komposisi Malten (0,4 < f < 1,2; f ideal = 0,7-0,8)
- N = basa nitrogen
- A-1 = first acidaffins
- A-2 = second acidaffins
- P = parafinik

Secara matematis proses penuaan (*aging*) ditandai dengan naiknya parameter komposisi malten (f). Membesarnya parameter malten terjadi bila menyebut persamaan tersebut mengecil.

Dibanding unsur Parafinik (P) maka komponen *second acidaffins* (A-2) mempunyai kestabilan yang lebih rendah. Kesimpulan itu didasarkan pada kenyataan sebagai berikut ini.

1. Komponen *acidaffins* bersifat tidak jenuh (mempunyai ikatan rangkap), sehingga lebih mudah teroksidasi dan terpolimerisasi. Sedangkan komponen parafinik adalah hidrokarbon jenuh, sehingga tahan terhadap reaksi oksidasi.

2. Komponen *acidaffins* mempunyai berat molekul yang lebih rendah, sehingga mempunyai kecenderungan untuk menguap lebih besar.

Proses penuaan (*aging*), dengan kata lain, dimulai oleh mutasi resin menjadi molekul kecil yang mudah menguap, sehingga menyebabkan penurunan fraksi malten. Mengingat bahwa fungsi senyawa tersebut adalah sebagai stabilisator koloid aspal, maka proses ini akan mengganggu kestabilan aspal dan menyebabkan aspal menjadi rapuh.

Selulosa dapat menunda proses penuaan (*aging*) melalui mekanisme sebagai berikut. Ditinjau dari segi campuran, aspal digolongkan sebagai koloid dari fasa kontinu minyak yang non polar dan fasa diskrit asphaltenes yang polar. Koloid tersebut menjadi stabil oleh adanya pengaruh berbagai macam resin (A-1), (A-2) dan (N), yang bersifat semi polar dan mengelilingi fraksi asphaltenes.

Selulosa bersifat semipolar (lebih kuat dari resin) yang mampu menyerap (ikatan hidrogen) fraksi - fraksi resin tersebut. Hal tersebut mampu memperlambat proses oksidasi dan polimerisasi. Pilihan (preferensi) pengikatan di antara ketiga fraksi resin dapat ditelusuri melalui probabilitas kinetis berikut ini.

Basa N mempunyai gugus aktif hidroksil sehingga bersifat tidak suka terhadap selulosa yang mempunyai gugus aktif yang sama. *Second acidaffins* (A-2) lebih suka terhadap selulosa dibandingkan dengan *first acidaffins* (A-1), sebab memiliki berat molekul lebih kecil (mobilitas lebih besar) dan letak gugus berada di ujung molekul.

Pilihan pengikatan/penstabilan oleh selulosa terjadi terhadap komponen *second acidaffins* (A-2). Pengikatan ini akan mampu mempertahankan komponen *second acidaffins* (A-2) lebih lama dalam sistem, sehingga akan mampu menunda proses penuaan (*aging*). (Arnold J. Hoiberg, 1965)[1].

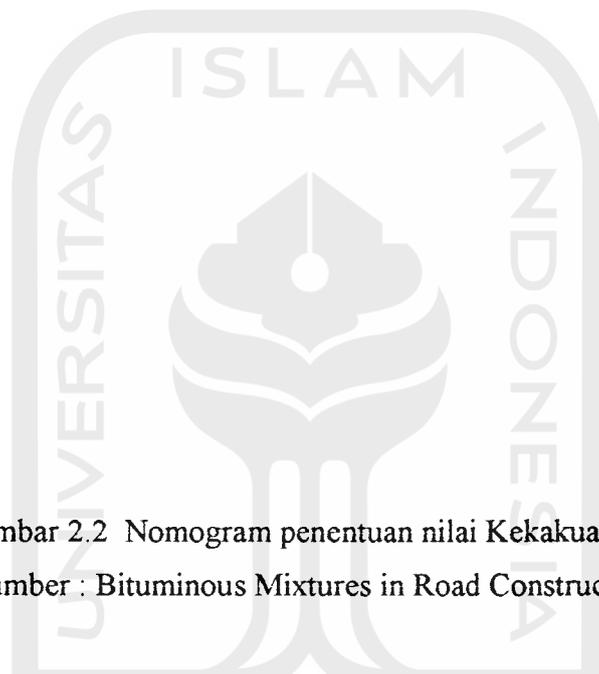
2.6 Modulus Kekakuan

2.6.1 Modulus Kekakuan Bitumen (*Bitumen Stiffness*)

Modulus kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung temperatur dan lama pembebanan yang diterapkan. Nilai modulus kekakuan bitumen dapat ditentukan dengan nomogram **Van der Poel**, yang penggunaannya memerlukan data sebagai berikut ini.

1. Temperatur rencana perkerasan (T) dalam ($^{\circ}\text{C}$).
2. Titik lembek atau *Softening Point* (SPr) dari tes *Ring and Ball* ($^{\circ}\text{C}$).
3. Waktu pembebanan (t) dalam (detik) yang tergantung pada kecepatan kendaraan.
4. *Penetration Index* (PIr).

Untuk menghitung nilai modulus kekakuan aspal digunakan nomogram Van der Poel seperti terlihat pada Gambar 2.1 pada halaman berikut ini.



Gambar 2.2 Nomogram penentuan nilai Kekakuan Bitumen (S bit)

Sumber : Bituminous Mixtures in Road Construction (1994)[8].

Waktu pembebanan untuk tebal perkerasan antara 100-350 mm dapat diperkirakan dari hubungan empiris yang sederhana seperti rumus berikut :

$$t = \frac{l}{v} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

v = kecepatan kendaraan (km/jam)

l = panjang jejak roda kendaraan (meter)

Penetration Index dihitung dari SPr (temperatur titik lembek) dan penetrasi bitumen setelah dihamparkan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$PIr = \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 Spr}{50 \log Pr - Spr - 120,14} \dots\dots\dots (2)$$

Bitumen mengalami pengerasan selama proses pencampuran, pengangkutan dan penghamparan. Nilai *Penetration Index* (PI) dan temperatur titik lembek (SPr) yang digunakan dalam persamaan tersebut dalam kondisi sudah dihaparkan. Untuk itu perlu di lakukan asumsi sebagai berikut :

$$Pr = 0,65 Pi \dots\dots\dots (3)$$

$$Spr = 98,4 - 26,35 \log Pr \dots\dots\dots (4)$$

dengan :

Pi = Penetrasi bitumen dalam kondisi asli (0,1mm)

Pr = Penetrasi bitumen dalam kondisi dihamparkan (0,1 mm)

Spr = Temperatur titik lembek dari bitumen dalam kondisi dihamparkan (dalam $^{\circ}C$).

Karena kebanyakan hitungan perencanaan berdasarkan pada karakteristik bitumen terhadap penetrasi awalnya, maka substitusi dari persamaan (3) dan (4) ke dalam (2) memberikan persamaan untuk *Penetration Index* dalam kondisi dihamparkan sebagai berikut :

$$PIr = \frac{27 \log Pi - 21,65}{76,35 \log Pi - 232,82} \dots\dots\dots (5)$$

Selain dengan menggunakan nomogram yang dikembangkan Van der Poel, kekakuan bitumen dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz.

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{P_{Pr}} \times (S_{Pr}-P)^5 \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

S_b = *Stiffness bitument* (Mpa)

t = waktu pembebanan (detik)

PI = *Penetration Index*

S_{Pr} = temperatur titik lembek ($^{\circ}C$)

T = temperatur perkerasan ($^{\circ}C$)

Persamaan diatas dapat dipergunakan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$0,01 < t < 0,1$$

$$- < P_{Pr} < 1$$

$$20^{\circ}C < (S_{Pr}) < 60^{\circ}C$$

2.6.2 Modulus Kekakuan Campuran (*Mix Stiffness*)

Modulus kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran bitumen yang besarnya tergantung dari temperatur dan lamanya pembebanan. Rumus atau metode yang diterapkan untuk menentukan *Mix Stiffness* (S_{Mix}) diantaranya :

1) **Metoda Shell.** Untuk mencari modulus kekakuan campuran digunakan nomogram Shell. Pada metoda ini diperlukan data-data sebagai berikut ini.

- a. Modulus kekakuan bitumen (N/m^2) dimana nilai modulus kekakuan bitumen ini didapatkan dari perhitungan atau dengan nomogram seperti telah tersebut diatas.
- b. Volume bahan pengikat (%).
- c. Volume mineral agregat.

Prosentase volume bahan pengikat dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_b = \frac{(100 - V_v) (M_B/G_b)}{(M_B/G_b) + (M_A/G_a)} \dots\dots\dots (7)$$

Kadar pori dalam campuran padat dihitung dengan persamaan :

$$V_v = \frac{(\tau_{max} - \tau_m) \times 100}{\tau_{max}} \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

$$\tau_{max} = \frac{100 \times \tau_w}{(M_B/G_b) + (M_A/G_a)} \dots\dots\dots (9)$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai *void in mixed* agregat dengan persamaan :

$$VMA = V_b + V_v \dots\dots\dots (10)$$

dan

$$V_v + V_b + V_g = 100\% \dots\dots\dots (11)$$

dengan :

M_A = perbandingan berat agregat dengan total berat campuran (%).

M_B = perbandingan berat bahan ikat bitumen dengan total berat campuran (%)

G_a = berat jenis campuran agregat.

G_b = berat jenis bahan ikat campuran.

τ_m = berat volume campuran padat (kg/m^3).

τ_w = berat volume air (kg/m^3).

V_g = prosentase volume agregat (%).

V_b = prosentase volume bitumen (%).

V_v = prosentase volume pori (%).

2) **Metoda Heukelom and Klomp (1964)**. Disini diberikan rumus untuk mencari modulus kekakuan campuran sebagai berikut :

$$S_{\text{mix}} = S_{\text{bit}} [1 + 2,5/n \times C_v / (1 - C_v)]^n \dots\dots\dots (12)$$

dengan :

$$n = 0,83 \log 4 \times 10^{10} / S_{\text{bit}}$$

$$S_{\text{mix}} = \text{mix modulus (N/m}^2\text{)}.$$

$$S_{\text{bit}} = \text{bitumen modulus (N/m}^2\text{)}.$$

Van der Poel menyimpulkan bahwa modulus kekakuan campuran tergantung pada kekakuan bitumen dan konsentrasi volume agregat (C_v).

$$C_v = \frac{V_G}{V_G + V_B} \dots\dots\dots (13)$$

dengan :

$$V_G = \text{prosentase volume agregat padat (\%)}.$$

V_B = prosentase volume bitumen (%).

Rumus di atas hanya digunakan untuk kepadatan dengan volume rongga kurang dari 3%. Untuk kepadatan dengan volume rongga lebih besar dari 3% digunakan rumus :

$$Cv' = \frac{Cv}{1 + 0,01 (Vv-3)} \dots\dots\dots (14)$$

dengan :

Cv' = modifikasi volume rongga agregat.

Vv = volume rongga udara dalam campuran (%).

Persamaan tersebut dapat dipakai jika konsentrasi volume bitumen (C_b) memenuhi syarat sebagai berikut :

$$C_b > 2/3 (1-Cv') \dots\dots\dots (15)$$

Untuk menghitung nilai kekakuan campuran digunakan nomogram pada Gambar 2.2 berikut ini.

البحث الإسلامي
الإسلام الإندونيسي



Gambar 2.2 Nomogram penentuan kekakuan campuran
Sumber : Bituminous Mixtures in Road Construction (1994)[8].