

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perkerasan Jalan

Tanah saja biasanya tidak cukup dan tahan menahan deformasi akibat beban roda berulang, untuk itu perlu adanya lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda atau lapisan paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini dibuat dari bahan khusus yang mempunyai kualitas yang lebih baik dan dapat menyebarkan beban roda yang lebih luas di atas permukaan tanah, sehingga tegangan yang terjadi karena beban lalu lintas menjadi lebih kecil dari tegangan ijin tanah. Bahan ini selanjutnya disebut bahan lapis perkerasan. Umumnya perkerasan jalan terdiri atas beberapa lapis dengan kualitas bahan semakin keatas semakin baik.

Perkerasan jalan dikelompokkan menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*), dalam perkembangannya menunjukkan adanya berbagai jenis perkerasan seperti perkerasan beton prestress, perkerasan cakar ayam, perkerasan paving block dan lain-lain (*Suprpto TM, 1999*).

Menurut *Asphalt Technology and Construction Practice (The Asphalt Institute MS-22, 1983)*, struktur perkerasan jalan terdiri dari :

1. lapis permukaan (*surface course*),
2. lapis pondasi atas (*base course*),
3. lapis pondasi bawah (*sub base course*), dan
4. tanah dasar (*subgrade*)

Masing-masing mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Fungsi dari masing-masing lapisan tersebut dibawah ini.

1. Lapis permukaan (*surface course*)
 - a. Memberikan suatu permukaan yang rata dan tidak licin,
 - b. Mendukung dan menyebarkan beban vertikal maupun horizontal atau gaya geser dari beban kendaraan,
 - c. Sebagai lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan
 - d. Sebagai lapisan aus
2. Lapis pondasi atas (*base course*)
 - a. Lapis pendukung bagi lapis permukaan,
 - b. Pemikul beban horizontal dan vertikal,
 - c. Lapisan peresapan bagi lapis pondasi bawah
3. Lapis pondasi bawah (*sub base course*)
 - a. Menyebarkan beban roda,
 - b. Sebagai lapis peresapan,
 - c. Sebagai lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi
 - d. Sebagai lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan

4. Tanah dasar (*subgrade*)

Tanah dasar merupakan tanah asli, permukaan tanah timbunan atau permukaan galian, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

3.2. Karakteristik Perkerasan

Karakteristik perkerasan merupakan sifat-sifat khusus perkerasan yang dapat menentukan tinggi dan rendahnya mutu suatu perkerasan. Karakteristik perkerasan yang baik akan dapat memberikan pelayanan terhadap lalu lintas yang direncanakan, terutama perilaku aspal apabila telah berada dalam campuran perkerasan. Karakteristik perkerasan dapat ditunjukkan dengan parameter berikut ini.

3.2.1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah ketahanan atau kemampuan dari suatu lapis keras untuk tidak berubah bentuk yang diakibatkan oleh pembebanan (*The Asphalt Institute, 1983*). Perkerasan yang tidak stabil ditandai dengan adanya gelombang atau alur.

Jumlah lalu lintas dan beban kendaraan menentukan tingkat stabilitas yang dibutuhkan. Beberapa variabel yang mempunyai hubungan dengan stabilitas antara lain seperti dibawah ini.

1. Gaya gesek (*friction*), hal ini tergantung pada permukaan, gradasi dan bentuk agregat, kerapatan campuran serta kualitas aspal.
2. Kohesi, merupakan daya lekat dari masing-masing partikel bahan perkerasan. Kohesi batuan akan terlihat dari sifat kekerasannya dan kohesi

campuran tergantung dari gradasi agregat, daya adhesi aspal dan sifat bantu bahan tambah.

3. Inersia, merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan perpindahan tempat (*resistence to displacement*), yang terjadi akibat beban lalu lintas, baik besarnya beban maupun jangka waktu pembebanan.

3.2.2. Durabilitas (*Durability*)

Durabilitas adalah ketahanan lapis keras terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas (*The Asphalt Institute, 1983*). Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan, sehingga lapis permukaan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, perubahan suhu dan keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas suatu lapis perkerasan adalah seperti dibawah ini.

1. Tebal selimut aspal (*bitumen film thickness*). Selimut aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis permukaan yang berdurabilitas tinggi tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* juga sangat tinggi.
2. Rongga antar campuran yang relatif kecil mengakibatkan lapis perkerasan kedap air dan udara tidak dapat masuk dalam campuran. Udara menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh getas.
3. Rongga antar butir yang relatif besar memungkinkan selimut aspal dibuat tebal. Jika rongga antar butir agregat kecil dan kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

Penggunaan agregat yang memiliki sifat kekerasan tinggi dapat mengurangi gaya pengausan. Pengausan dapat menimbulkan kerusakan berupa

terlepasnya agregat, sehingga menimbulkan formasi cekungan yang dapat menampung dan meresapkan air.

3.2.3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Fleksibilitas suatu campuran perkerasan menunjukkan kemampuan untuk menahan lendutan dan tekukan misalnya dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan kecil dari lapisan di bawahnya terutama tanah dasarnya (*subgrade*), tanpa mengalami keretakan (*The Asphalt Institute, 1983*). Untuk meningkatkan kelenturan, pemakaian agregat dengan gradasi terbuka sangat sesuai, tetapi dengan pemakaian tersebut akan didapatkan nilai stabilitas yang tidak sebaik bila menggunakan gradasi rapat. Sifat aspal terutama daktilitasnya sangat menentukan kelenturan perkerasan. Aspal yang mempunyai daktilitas rendah, maka dalam perkerasan akan menghasilkan suatu perkerasan yang fleksibilitasnya rendah.

3.2.4. Kekesatan (*Skid Resistance*)

Kekesatan adalah kemampuan dari perkerasan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya roda kendaraan selip atau tergelincir, terutama pada waktu permukaan jalan basah (*The Asphalt Institute, 1983*). Permukaan jalan yang kasar mempunyai nilai kekesatan yang lebih baik dari permukaan jalan yang halus. Permukaan jalan yang terlalu kasar menimbulkan gangguan kenyamanan karena bunyi yang timbul akibat sentuhan antara ban dengan permukaan jalan serta ban menjadi lebih mudah aus. Kekesatan diperoleh dengan tekstur permukaan yang kasar. Permukaan perkerasan jalan yang mengalami *bleeding*, kekesatannya menjadi rendah. Oleh karena itu kadar aspal yang cukup dan masih

tersebut mengandung zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan. Untuk menekan kadar kandungan zat kimia berbahaya, sebagian industri tekstil memproses limbah cair pada Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL) agar cukup aman untuk dibuang. Limbah cair tekstil ini di proses bersama kapur (CaO) sebagai zat penetral dalam satu bak pada IPAL dan diakhir proses pengolahan dihasilkan limbah tekstil berbentuk padatan halus yang di sebut *sludge* yang mengandung zat kapur.

Kapasitas produksi industri tekstil umumnya besar sehingga menyebabkan limbah yang dihasilkanpun dalam jumlah besar. Walaupun sudah diolah sedemikian rupa pada IPAL, *sludge* masih mengandung zat kimia yang berbahaya pada tingkatan yang rendah namun masih dibawah ambang batas. Selama ini, limbah padat industri tekstil hanya diletakkan begitu saja di areal IPAL, dibiarkan kering dan menumpuk dan setelah banyak dibuang. Penumpukan *sludge* dalam jumlah banyak dapat menyebabkan pencemaran lingkungan seperti bau yang tidak enak sehingga menimbulkan reaksi negatif dari masyarakat sekitar. Hal ini menjadi masalah yang cukup pelik bagi kalangan industri dalam penanganan limbah industrinya.

Berangkat dari keprihatinan akan permasalahan kalangan industri tekstil dalam membuang dan menangani limbahnya dan upaya-upaya yang dilakukan untuk menemukan alternatif substitusi material konstruksi, maka diperlukan berbagai upaya pencarian solusi dengan mengambil kedua permasalahan tersebut dalam satu titik temu yang saling menguntungkan. Salah satu upaya yang

tersedianya rongga udara untuk pemuaian aspal akan membantu tercapainya nilai kekesetan yang optimum.

3.2.5. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis perkerasan dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

1. *void in total mix* (VITM) yaitu prosentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Volume rongga dalam campuran yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan menyebabkan kelelahan yang lebih cepat, dan
2. *void in mineral agregat* (VMA) yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lebih fleksibel.

3.2.6. Kemudahan Untuk di Kerjakan (*Workability*)

Kemudahan untuk di kerjakan adalah kemudahan suatu campuran perkerasan untuk dicampur, dihampar dan dipadatkan. Sifat kemudahan ini penting artinya karena pada pekerjaan pencampuran, penghamparan dan pemadatan dituntut waktu yang cepat dan tepat mengingat pentingnya suhu minimum pada saat pemadatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah seperti dibawah ini.

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi rapat lebih mudah dilaksanakan daripada agregat yang bergradasi lain.
2. Temperatur campuran ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat *thermoplastis*.

3. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan yang lebih sukar.

3.3. Pengertian *Hot Rolled Sheet* (HRS)

Hot Rolled Sheet (HRS) merupakan lapis penutup yang terdiri atas campuran antara agregat bergradasi timpang (*gap graded*), *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

HRS umumnya dilaksanakan pada jalan yang telah beraspal pada jalan yang stabil dan rata serta jalan yang mulai retak-retak atau mengalami degradasi permukaan.

Hot Rolled Sheet (HRS) dibedakan menjadi 2, yaitu HRS A dan HRS B yang penggunaannya tergantung kepada kebutuhan atau tuntutan lalu lintas yang akan lewat. HRS A sama dengan laston secara struktural mempunyai kuat dukung yang rendah sehingga sering digunakan sebagai lapis aus permukaan yang dipakai untuk lalu lintas ringan dan sedang. Sifat dari HRS A yang paling penting adalah daya tahan, fleksibilitas dan ketahanan terhadap kelelahan. Sedangkan HRS B sama dengan bahan laston yang dipakai untuk lalu lintas padat, kelandaian curam, persimpangan dan daerah lain dimana pelapisan permukaan akan didasarkan pada muatan – muatan roda yang berat dan mempunyai stabilitas tinggi serta mempunyai sifat daya tahan, fleksibilitas dan ketahanan terhadap kelelahan.

3.4. Bahan Penyusun *Hot Rolled Sheet* (HRS)

Bahan utama dari *Hot Rolled Sheet* (HRS) terdiri dari agregat dengan bahan ikat aspal dan *filler*. Untuk menghasilkan perkerasan HRS yang berkualitas tinggi, maka kadar bahan tersebut harus berkualitas dan dapat memenuhi persyaratan yang diijinkan.

3.4.1. Agregat

Agregat didefinisikan secara umum adalah sebagai formasi kulit bumi yang keras dan pejal atau merupakan suatu bahan yang terdiri atas mineral padat, berupa massa besar maupun fragmen-fragmen (*Silvia Sukirman, 1992*) dan secara khusus agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahan yang merupakan bahan utama konstruksi jalan (*Petunjuk Pelaksanaan Laston Untuk Jalan Raya SKBI 2.4.26.1987*).

Agregat merupakan komponen utama dari lapis perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95 % agregat berdasarkan prosentase berat atau 75-85 % agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan mineral (*Silvia Sukirman, 1992*).

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran dan gradasi, kekuatan, bentuk tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan serta sifat kimia (*Kerb and Walker, 1971*).

3.4.1.1 Ukuran butiran dan gradasi

Agregat yang digunakan sebagai bahan campuran dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat kasar, yang dipergunakan biasanya berupa batu pecah atau kerikil dengan persyaratan sebagai berikut :
 - a. keausan agregat bila diperiksa dengan mesin *Los Angeles* pada putaran 500 (PB-020206-76), maksimum 40 %, dan
 - b. kelekatan terhadap aspal (PB-0205-76), lebih besar 95 %.
2. Agregat halus, yang dipergunakan bisa berupa pasir, *screening* (hasil pemecah batu) atau dari campuran kedua bahan tersebut, yang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :
 - a. *sand Equivalent* (AASHTO T-176), minimum 50 %, dan
 - b. non plastis.

The Asphalt Institute (MS-2, 1987) mengelompokkan agregat menjadi 4 fraksi, yaitu :

1. agregat kasar, yaitu batuan yang tertahan saringan no. 8 (2,36 mm),
2. agregat halus, yaitu batuan yang lolos saringan no. 8 (2,36 mm),
3. mineral pengisi (*filler*), yaitu fraksi dari agregat halus yang lolos dari saringan no. 3 (0,6 mm), dan
4. mineral debu, yaitu fraksi dari agregat halus yang lolos saringan no. 200 (0,074 mm).

Sedangkan AASHTO (1982) mengelompokkan agregat menurut ukuran partikelnya menjadi 3 fraksi, yaitu :

1. agregat kasar, yaitu batuan yang ukurannya lebih besar dari 2 mm atau tertahan saringan no. 10,
2. agregat halus, yaitu batuan yang ukurannya lebih kecil dari 2 mm dan lebih besar dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 10 dan tertahan saringan no. 200, dan
3. mineral *filler*, yaitu agregat halus yang lolos saringan no. 200.

Gradasi adalah pembagian ukuran butiran dalam campuran agregat. Menurut jenisnya, gradasi agregat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu seperti dibawah ini.

1. Gradasi menerus (*well graded*), yaitu campuran agregat kasar dan halus dalam proporsi yang seimbang, sehingga sering juga disebut gradasi rapat.
2. Gradasi timpang (*gap graded*), yaitu gradasi yang dalam campurannya sengaja dihilangkan sebagian agar berukuran tertentu dan dalam komposisi campuran tidak berimbang antara agregat kasar dan agregat halus.
3. Gradasi seragam (*uniform graded*), yaitu campuran agregat yang ukurannya hampir sama atau seragam.

Tabel 3.1 Spesifikasi Gradasi Agregat HRS B

Ukuran Saringan	% Berat Lolos Saringan
$\frac{3}{4}$ "	97 – 100
$\frac{1}{2}$ "	70 – 100
$\frac{3}{8}$ "	58 – 80
# 4	50 – 60
# 8	46 – 60
# 30	16 – 60
# 50	10 – 48
# 100	3 – 26
# 200	2 – 8

Sumber : Central Quality Control and Monitoring Unit (CQCMU), 1988

Konstruksi *Hot Rolled Sheet* (HRS) menggunakan *gap graded*. Spesifikasi yang digunakan berpedoman pada *Central Quality Control and Monitoring Unit* (CQCMU) Bina Marga 1988, seperti pada tabel 3.1.

3.4.1.2. Berat jenis (*specific gravity*)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Besarnya berat jenis penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena pada umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang banyak. Disamping itu, agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak pula.

Ada 3 macam berat jenis yang ditentukan berdasarkan manual PB-0202-76 atau AASHTO T85-81 yaitu seperti dibawah ini.

1. *Apperent Spesific Gravity* adalah perbandingan antara volume partikel yang tidak dapat diresapi air.

$$\text{Apparent SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i) \gamma_w} \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana W_s = berat kering agregat

V_s = Volume padat agregat

V_i = Volume pori yang tidak diresapi air

γ_w = Berat jenis air

2. *Bulk Spesific Gravity* adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah jumlah seluruh volume pori yang ada.

$$\text{Bulk } SG = \frac{W_s}{(V_p + V_s + V_i) \gamma_w} = \frac{W_s}{V \gamma_w} \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana V_p = Volume pori yang diresapi air

V = Total volume agregat

3. *Effective Specific Gravity* adalah apabila pada kenyataan aspal yang dapat digunakan secara normal hanya akan meresapi sebagian pori yang dapat diresapi oleh air.

$$\text{Effective } SG = \frac{W_s}{(V_s + V_c) \gamma_w} \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana V_c = Volume pori yang tidak diresapi aspal

3.4.1.3. Kekuatan dari kekerasan (*taughness*)

Batuan yang digunakan untuk konstruksi lapis keras harus cukup keras, tetapi juga disertai dengan kekuatan terhadap pemecahan (*degradation*) yang mungkin timbul selama proses pencampuran, penghampanan, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan penghancuran batuan (*disintegration*) selama masa pelayanan jalan tersebut (*The Asphalt Institute, 1983*).

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi adalah :

1. agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras,
2. gradasi terbuka mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar daripada gradasi timpang,
3. partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih kecil daripada partikel yang bersudut, dan

4. energi pemadatan yang lebih besar akan mengakibatkan degradasi yang lebih banyak pada butiran agregat.

Untuk menguji kekuatan dan kekerasan batuan digunakan alat *Los Angeles Abrasion Test*, yaitu metode pengujian ketahanan batuan terhadap benturan (*impact*) dan keausan (*abrasion*). Persyaratan nilai keausan batuan untuk lapis permukaan maksimum 40 %, sedangkan untuk menguji ketahanan terhadap cuaca digunakan *Soundness Test*, agregat dengan nilai *Soundness Test* lebih kecil 12 % menunjukkan agregat yang cukup tahan terhadap cuaca dan dapat digunakan untuk lapis perkerasan.

3.4.1.4. Bentuk butiran (*particle shape*)

Bentuk partikel mempengaruhi kemudahan pelaksanaan pekerjaan perkerasan dan kekuatan dari campuran aspal (*The Asphalt Institute, 1983*). Bentuk tidak beraturan dan bersudut seperti hasil *stone crusher*, kerikil dan pasir alam cenderung untuk saling mengunci (*interlocking*) ketika dipadatkan dan mampu menahan *displacement*. *Interlocking* yang paling baik umumnya didapatkan dari agregat berbentuk kubus bersudut tajam dan kebalikannya *interlocking* jelek pada agregat berbentuk bulat.

3.4.1.5. Tekstur permukaan (*surface texture*)

Tekstur permukaan agregat berpengaruh terhadap *workability* dan kekuatan lapis keras (*The Asphalt Institute, 1983*). Permukaan yang kasar akan cenderung menambah kekuatan campuran perkerasan tetapi rongga yang terjadi juga lebih besar apabila dipadatkan sehingga untuk memudahkan pekerjaan perlu penambahan aspal.

3.4.1.6. Porositas (*absorption*)

Porositas agregat biasanya diindikasikan sebagai banyaknya air yang diserap oleh agregat ketika di rendam air. Agregat yang berporositas tinggi juga akan menyerap aspal sehingga daya ikatnya berkurang (*The Asphalt Institute, 1983*). Porositas berpengaruh terhadap kekuatan, kekerasan, dan jumlah pemakaian aspal dalam campuran. Semakin besar porositas batuan semakin kecil kekuatan dan kekerasannya serta semakin banyak aspal yang akan diserap. Semakin tinggi porositas batuan, maka semakin tinggi pula kemampuan *absorpsi* batuan tersebut

3.4.1.7. Kebersihan (*cleanliness*)

Bersihnya permukaan agregat dari bahan-bahan yang dapat menghalangi melekatnya aspal sangatlah penting. Bahan-bahan tersebut dapat berupa lumpur, zat organik, partikel lempung dan lain sebagainya karena substansi itu dapat mengurangi daya lekat aspal terhadap batuan (*The Asphalt Institute, 1983*).

3.4.2. Filler

Filler adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butiran pengisi pada pembuatan campuran beton aspal. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) bisa berupa debu kapur, debu dolomit atau semen portland. *Filler* harus dalam keadaan kering dengan kadar air maksimum 1 % (*Petunjuk Pelaksanaan Laston Untuk Jalan Raya SKBI - 2.4.26.1987*).

Filler dapat berupa abu kapur, semen portland atau abu batu. Dalam penelitian ini digunakan limbah padat industri tekstil (*sludge*) sebagai *filler* yang

akan dibandingkan dengan campuran HRS B yang menggunakan semen portland sebagai *filler*.

Penggunaan *filler* dalam campuran lapis perkerasan akan sangat mempengaruhi karakteristik lapis perkerasan tersebut, efek tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal *filler*.
 - a. Efek penggunaan *filler* terhadap viskositas campuran, dimana efek penggunaan berbagai jenis *filler* terhadap viskositas campuran tidak sama sedangkan luas permukaan *filler* yang makin besar akan menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang berluas permukaan kecil. Adanya daya *affinitas* menyebabkan jumlah aspal yang dapat diserap oleh berbagai *filler* cukup bervariasi, pada keadaan dimana viskositas naik, jumlah aspal yang diserap semakin besar.
 - b. Efek penggunaan *filler* terhadap daktalitas dan penetrasi campuran menyatakan bahwa kadar *filler* yang semakin tinggi akan menurunkan daktalitas dimana hal ini juga terjadi pada berbagai suhu. Jenis *filler* yang akan menaikkan viskositas aspal juga akan menurunkan penetrasi aspal.
 - c. Efek suhu dan pemanasan menyatakan bahwa jenis dan kadar *filler* memberikan pengaruh yang saling berbeda pada berbagai temperatur.

2. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran lapis perkerasan.

Kadar *filler* dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Selain itu, kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap sifat elastik campuran dan sensitifitas terhadap air. Pemberian *filler* pada campuran lapis perkerasan sebagai agregat mengakibatkan lapis perkerasan mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel *filler* menempati rongga diantara partikel-partikel yang lebih besar, sehingga ruang diantara partikel-partikel besar menjadi berkurang. Secara umum penambahan *filler* ini dimaksudkan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran. Bila dicampur dalam aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.

3.4.3. Aspal Keras

Aspal yang sering digunakan dalam pelaksanaan di lapangan khususnya di Indonesia adalah aspal keras hasil destilasi minyak bumi dengan jenis AC 60-70 dan AC 80-100, dengan pertimbangan karena penetrasi aspal relatif rendah, sehingga aspal tersebut dapat dipakai pada perkerasan dengan lalu lintas tinggi dan tahan terhadap cuaca panas. Aspal ini adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas serta akan membentuk padat pada keadaan temperatur ruang (*Silvia Sukirman, 1992*).

Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan

kekuatan yang lebih besar dari pada kekuatan masing-masing agregat (*Krebs and Walker, 1971*).

Aspal keras yang digunakan dapat berupa aspal keras penetrasi 60 atau penetrasi 80 yang harus memenuhi persyaratan seperti yang tertera pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Persyaratan				Satuan
		Penetrasi 60		Penetrasi 80		
		Min	Maks	Min	Maks	
1. Penetrasi (25 °C, 5 detik)	PA. 0301-76	60	79	80	99	0.1 mm
2. Titik lembek (<i>ring & ball</i>)	PA. 0302-76	48	58	46	54	°C
3. Titik nyala dan titik bakar (<i>cleveland open cup</i>)	PA. 0303-76	200	-	225	-	°C
4. Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	PA. 0304-76	-	0.4	-	0.6	% berat
5. Kelarutan (CCL ₄ atau CS ₂)	PA. 0305-76	99	-	99	-	% berat
6. Daktilitas (25°C, 5 cm/mnt)	PA. 0306-76	100	-	100	-	cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	PA. 0301-76	75	-	75	-	% semula
8. Berat jenis (25°C)	PA. 0307.76	1	-	1	-	gr/cc

Sumber : DPU, Dirjen Bina Marga, LASTON, SKBI – 2.4.26.1987

Sifat-sifat aspal yang dominan pengaruhnya terhadap perilaku lapis keras jalan adalah sifat *thermoplastis* dan keawetan. Dengan sifat *thermoplastis* dari aspal akan sangat menguntungkan dari sudut pelaksanaan konstruksi, hal ini dikarenakan aspal merupakan bahan *thermoplastis* maka konsistensinya (*viskositas*) akan berubah dengan berubahnya temperatur. Sifat keawetan (*durability*) aspal didasarkan pada daya tahan terhadap perubahan-perubahan sifat apabila mengalami proses pelaksanaan konstruksi, pengaruh cuaca dan akibat beban lalu lintas. Sifat keawetan aspal yang paling utama adalah daya tahannya terhadap proses pengerasan. Faktor-faktor yang sangat berpengaruh atas terjadinya pengerasan adalah :

1. oksidasi, adalah terjadinya reaksi antara oksigen dengan aspal. Proses ini tergantung pada sifat aspal dan temperatur. Pada temperatur biasa, efek oksidasi akan memberikan suatu lapisan yang keras pada permukaan aspal,
2. penguapan (*volatilization*), adalah menguapnya bagian-bagian yang mempunyai berat molekul ringan dari aspal karena pengaruh penambahan temperatur dan pengadukan pada suatu pelaksanaan konstruksi jalan.

3.5. Limbah Padat Industri Tekstil (*Sludge*)

Limbah padat industri tekstil (*sludge*) pada penelitian ini digunakan sebagai alternatif bahan pengisi atau *filler* pada campuran HRS B. Diharapkan *sludge* tersebut sebagai *filler* pada campuran HRS B mampu memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

Sludge yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sludge* yang diambil dari pabrik tekstil PT. Jogjatex yang beralamatkan di jalan Surosutan 11 Yogyakarta. Proses pengolahan tekstil pada pabrik tekstil PT Jogjatex adalah perajutan, pewarnaan, pencapan, penyempurnaan dan garmen. Pada proses pewarnaan dan penyempurnaan dihasilkan limbah yang kemudian diproses untuk dinetralisir. Hasil proses netralisir tersebut berbentuk lumpur yang kemudian dikeringkan yang menghasilkan limbah padat (*sludge*).

Secara singkat proses pengolahan limbah padat industri tekstil (*sludge*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang diuraikan berikut ini.

1. *Drying and finishing process*

Pada proses ini terdapat penambahan zat warna dan bahan pembantu dengan suhu 210°C dan pH 5,5 – 6,5

2. *Screening process*

Bak kontrol dengan kawat *streemen*, berfungsi sebagai penyaring limbah padat.

3. *Equalisation process*

Sebagai penampung air limbah, disini terjadi proses penurunan suhu sampai 41°C , penyesuaian pH 1 – 1,5 dan penyesuaian debit.

4. Pengkapuran

Dalam proses ini ditambahkan kapur calcium hidroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan tujuan menaikkan pH 8,5 – 11,5.

5. Bak koagulasi atau flokulasi

Koagulasi dengan memberi $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\text{AlSO}_4$, sehingga air limbah yang mengandung partikel terlarut dan partikel tersuspensi akan menggumpal. *Flokulasi* adalah menyatukan gumpalan-gumpalan kecil pada *koagulasi* oleh *flok* yang merupakan *polielektrolit*. Gumpalan-gumpalan menyatu karena adanya tarik menarik muatan listrik positif dan negatif. Akibatnya, gumpalan yang cukup besar akan turun dan mengendap kebawah, setelah cukup banyak dipompa keatas untuk dikeringkan dengan dasar pasir.

Berdasarkan pemeriksaan parameter fisika dan kimia yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL), Departemen Kesehatan Republik Indonesia yang berkedudukan di Yogyakarta, limbah padat industri tekstil

(*sludge*) asal pabrik tekstil PT. Jogjatex mempunyai kandungan seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil Pemeriksaan Parameter Fisika dan Kimia Limbah Padat Industri Tekstil (*Sludge*) asal PT. Jogjatex

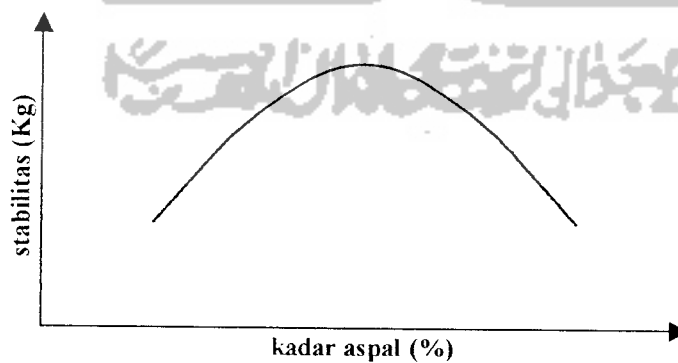
No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1	pH	-	7,0
2	Besi (Fe)	%	1,5
3	Mangan (Mn)	%	0,01
4	Chrom total (Cr)	%	0,043
5	Aluminium (Al)	%	0,036
6	Timbal (Pb)	%	td
7	Nikel (Ni)	%	0,0181
8	Calcium (Ca)	%	14,2
9	Magnesium (Mg)	%	72,0
10	Tembaga (Cu)	%	0,0118

Sumber : Laporan Pemeriksaan Fisika dan Kimia Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Departemen Kesehatan RI, Yogyakarta

3.6. Parameter *Marshall Test*

3.6.1. Stabilitas

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis.



Gambar 3.1. Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

Naiknya stabilitas bersamaan dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu (optimum) dan turun setelah melampaui batas optimum. Hal ini terjadi karena aspal sebagai bahan ikat antar agregat dapat menjadi pelicin setelah melebihi batas optimum.

Nilai stabilitas diperoleh dari persamaan :

$$S = p * q \dots\dots\dots (3.4)$$

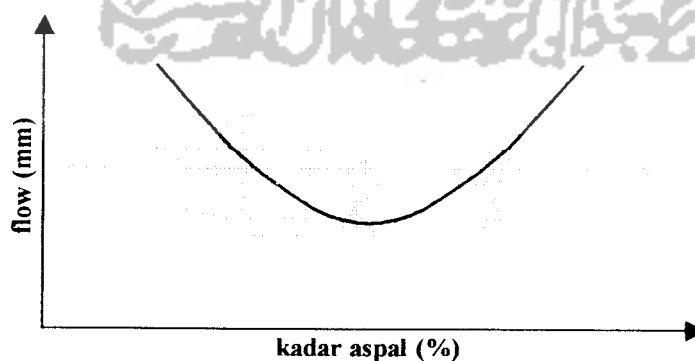
Keterangan : S = Angka stabilitas sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas * kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji

3.6.2. Flow

Flow menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran. Campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah di atas batas maksimum akan cenderung plastis. Apabila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi di bawah batas optimum akan cenderung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan.



Gambar 3.2. Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal

3.6.3. Density

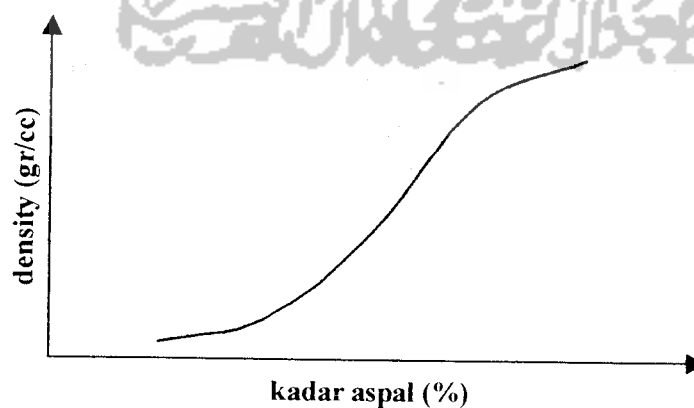
Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai kepadatan ini juga menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, kerapatan dan kepadatan campuran semakin baik sehingga kemampuan perkerasan untuk menahan beban besar semakin meningkat.

Nilai *density* diperoleh dari persamaan :

$$g = \frac{c}{f} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$f = d - e \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

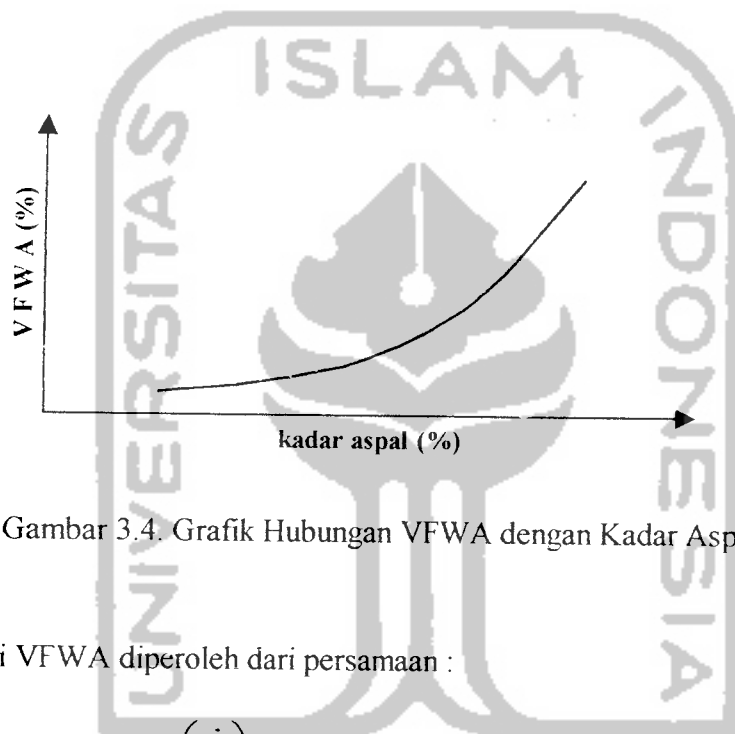
- Keterangan
- g = Nilai *density* (gr/cc)
 - c = Berat jenis kering sebelum direndam (gr)
 - d = Berat benda uji jenuh air (gr)
 - e = Berat benda uji dalam air (gr)
 - f = Volume benda uji (cc)



Gambar 3.3. Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal

3.6.4. Void Filled With Asphalt (VFWA)

VFWA adalah prosentase rongga dalam campuran yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah penuh artinya rongga dalam campuran telah terisi penuh oleh aspal maka prosen kadar aspal yang mengisi rongga adalah prosen kadar aspal maksimum.



Gambar 3.4. Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal

Nilai VFWA diperoleh dari persamaan :

$$VFWA = 100 * \left(\frac{i}{l} \right) \dots\dots\dots (3.7)$$

$$i = \frac{b * g}{B_j \text{ Aspal}} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$j = \frac{(100 - b) * g}{B_j \text{ Agregat}} \dots\dots\dots (3.9)$$

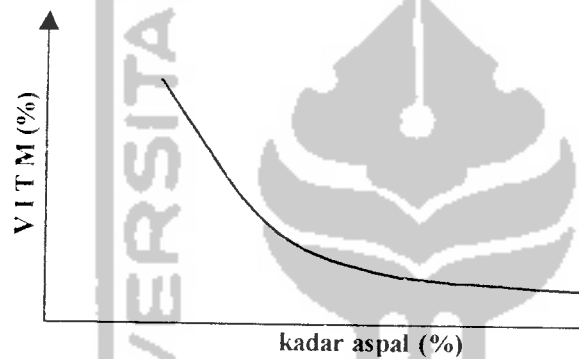
$$l = 100 - j \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan : b = Prosentase aspal terhadap campuran

g = Berat isi sampel (gr/cc)

3.6.5. Void In Total Mix (VITM)

VITM adalah prosentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai VITM akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar. VITM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat berupa alur dan retak.



Gambar 3.5. Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal

Nilai VITM diperoleh dari persamaan :

$$VITM = 100 - \left(100 * \frac{g}{h} \right) \dots \dots \dots (3.11)$$

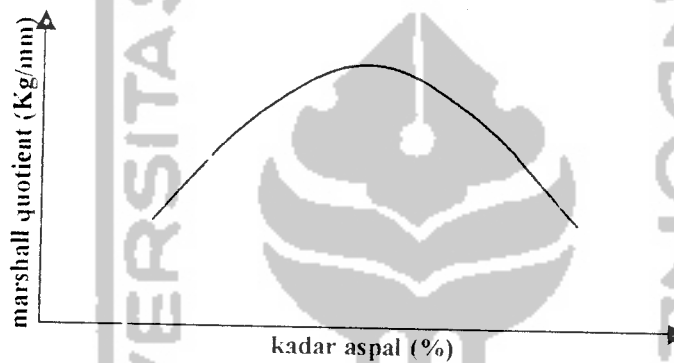
$$h = \frac{100}{\left(\frac{\% Agregat}{BjAgregat} + \frac{\% Aspal}{BjAspal} \right)} \dots \dots \dots (3.12)$$

Keterangan : g = Berat isi sampel (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

3.6.6. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan. Fleksibilitas akan naik disebabkan oleh penambahan kadar aspal dan akan turun setelah sampai pada batas optimum, yang disebabkan berubahnya fungsi aspal sebagai pengikat menjadi pelicin. Spesifikasi didapat berdasarkan spesifikasi stabilitas dan *flow*.



Gambar 3.6. Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Kadar Aspal

Nilai *Marshall Quotient* diperoleh dari persamaan :

$$MQ = \frac{S}{R} \quad (3.13)$$

Keterangan : S = Nilai stabilitas (kg)

R = Nilai *flow* (mm)

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

3.7. *Imersion Test*

Imersion Test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar hanya waktu perendaman saja yang berbeda. Benda uji pada pengujian *Imersion* direndam selama 24 jam pada suhu konstan 60°C sebelum pembebanan diberikan. Uji perendaman ini mengacu pada AASHTO T.165-82 atau ASTM. D. 1075-76.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal adalah prosentase nilai stabilitas campuran yang di rendam selama 24 jam (*S2*) yang dibandingkan dengan nilai stabilitas campuran biasa (*S1*). Apabila indeks tahanan campuran lebih atau sama dengan 75 %, campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan kekuatan yang cukup memuaskan dari kerusakan oleh pengaruh air, suhu dan cuaca.

$$\text{Index of retained strength} = \frac{S2}{S1} * 100 \% \quad (3.14)$$

3.8. Modulus Kekakuan

3.8.1. Kekakuan Bitumen (*Bitument Stiffness*)

Kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Nilai kekakuan bitumen dapat ditentukan dengan menggunakan nomogram Van Der Poel seperti pada gambar 3.7. Adapun cara menggunakannya dengan memerlukan data-data sebagai berikut :

1. temperatur rencana perkerasan (T) dalam °C,
2. titik lembek atau *softening point* (SPr) dari tes *Ring and Ball* dalam °C,
3. waktu pembebanan (t) dalam detik yang tergantung pada kecepatan kendaraan, dan
4. *penetration Index* (PI)

Waktu pembebanan untuk tebal lapis perkerasan antara 100 – 350 mm dapat diperkirakan dari hubungan empiris yang sederhana sebagai berikut :

$$t = \frac{s}{v} \dots\dots\dots (3.15)$$

Keterangan : s = panjang tapak roda
v = kecepatan kendaraan

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

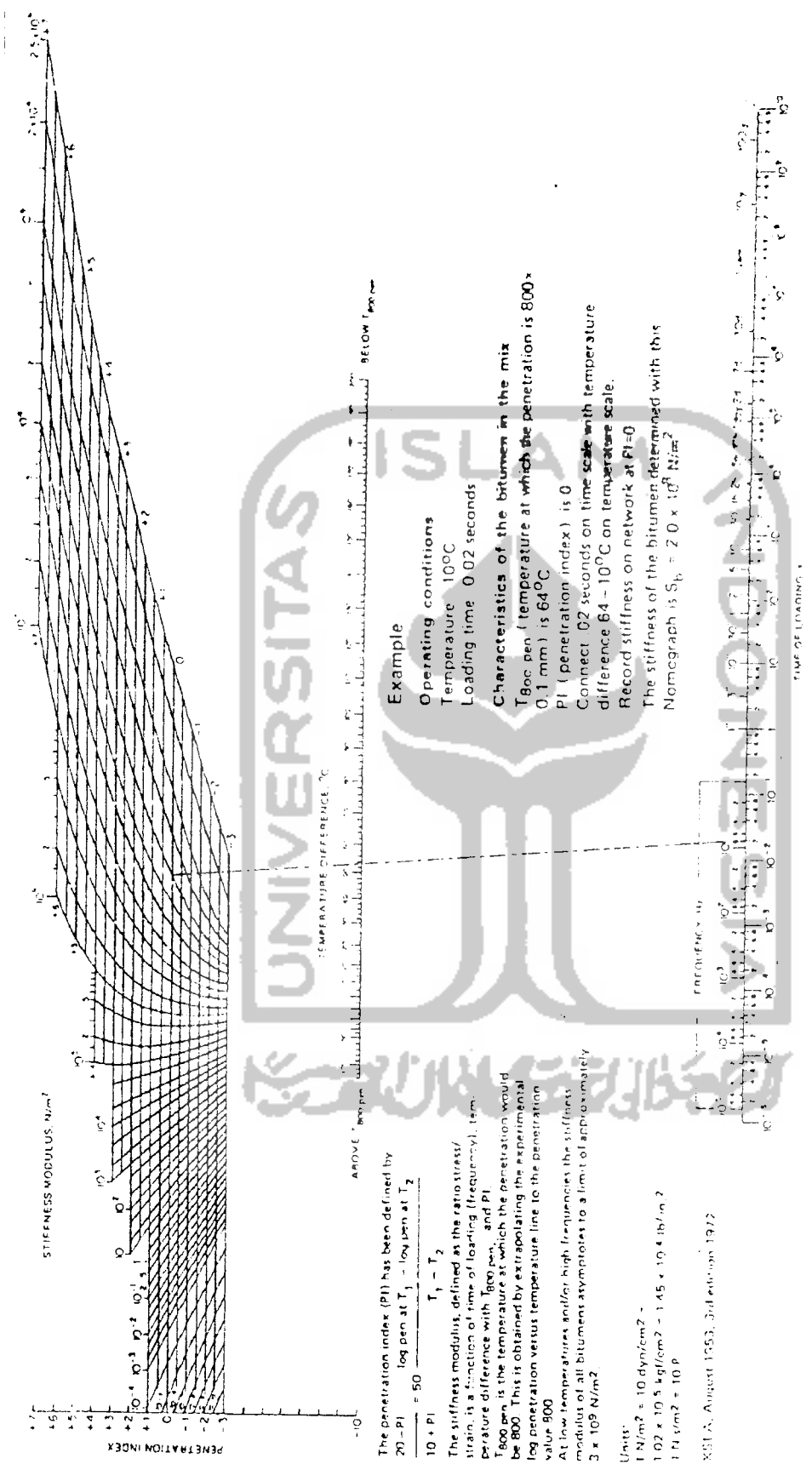
$$PI_r = \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 200 SPr}{50 \log Pr - SPr - 120,14} \dots\dots\dots (3.16)$$

Keterangan : PI_r = *Recovered Penetration Index* dari aspal

Nilai *Penetration Index* (PI) dan SPr (temperatur titik lembek) yang digunakan dalam persamaan tersebut dalam kondisi sudah dihamparkan. Untuk itu perlu dilakukan asumsi sebagai berikut :

$$Pr = 0,65 PI \dots\dots\dots (3.17)$$

$$SPr = 98,4 - 26,35 \log Pr \dots\dots\dots (3.18)$$



Gambar 3.7. Nomogram Van Der Poel
 Sumber : A General System Describing The Visco-Elastic Properties of Bitumen and Its Relation to Routine Test Data, Van Der Poel, 1954

Keterangan : PI = Penetrasi bitumen dalam kondisi asli (0,1 mm)
 Pr = Penetrasi bitumen dalam kondisi dihamparkan (0,1 mm)
 SPr = Temperatur titik lembek dari bitumen dalam kondisi
 dihamparkan (°C)

Karena hitungan perencanaan didasarkan pada karakteristik bitumen terhadap penetrasi awalnya, maka substitusi dari persamaan (3.17) dan (3.18) ke dalam persamaan (3.16) memberikan persamaan untuk *Penetration Index* dalam kondisi dihamparkan sebagai berikut :

$$PI_r = \frac{27 \log PI - 21,65}{76,35 \log PI - 232,82} \dots\dots\dots (3.19)$$

Untuk menghitung kekakuan bitumen dapat pula digunakan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz sebagai berikut :

$$S_b = 1,157 * 10^{-7} * t^{41,368} * 2,718^{-PI_r} * (SPr-T)^5 \dots\dots\dots (3.20)$$

Keterangan : S_b = Stiffness bitument (Mpa)
 t = Waktu pembebanan (detik)
 PI_r = Penetration Index
 SPr = Temperatur titik lembek (°C)
 T = Temperatur perkerasan (°C)

Persamaan tersebut diatas dapat dipergunakan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$0,01 < t < 0,1 \dots\dots\dots (3.21)$$

$$-1 < PI_r < 1 \dots\dots\dots (3.22)$$

$$20 \text{ } ^\circ\text{C} < SPr < 60 \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots (3.23)$$

3.8.2. Kekakuan Campuran (*Mix Stiffness*)

Kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran aspal beton yang besarnya bergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Metode yang digunakan untuk menentukan kekakuan campuran ini antara lain adalah metode Shell dan metode Heukelom dan Klomp.

3.8.2.1. Metode Shell

Untuk mencari modulus kekakuan campuran menurut metode Shell menggunakan nomogram pada gambar 3.8. Pada metode ini diperlukan data sebagai berikut :

1. modulus kekakuan bitumen (N/m^2) dimana modulus kekakuan ini didapatkan dari perhitungan atau dengan nomogram seperti telah disebutkan dimuka,
2. volume bahan pengikat (%), dan
3. volume mineral agregat (%).

Prosentase volume bahan pengikat dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_b = \frac{(100 - V_v) * (M_b / G_b)}{(M_b / G_b) + (M_a / G_a)} \dots \dots \dots (3.24)$$

Kadar pori dalam campuran padat dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_v = \frac{(\tau_{max} - \tau_m) * 100}{\tau_{max}} \dots \dots \dots (3.25)$$

$$\tau_{\max} = \frac{100 * \tau_w}{\left(\frac{Mb}{Gb} \right) + \left(\frac{Ma}{Ga} \right)} \dots\dots\dots (3.26)$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai *void in total mix* dengan persamaan :

$$VITM = Vb + Vv \dots\dots\dots (3.27)$$

$$Vv + Vb + Vg = 100 \% \dots\dots\dots (3.28)$$

Keterangan : Ma = Perbandingan berat agregat dengan total berat campuran (%)

Mb = Perbandingan berat bahan ikat bitumen dengan total berat campuran (%)

Ga = Berat jenis campuran agregat

Gb = Berat jenis bahan ikat campuran

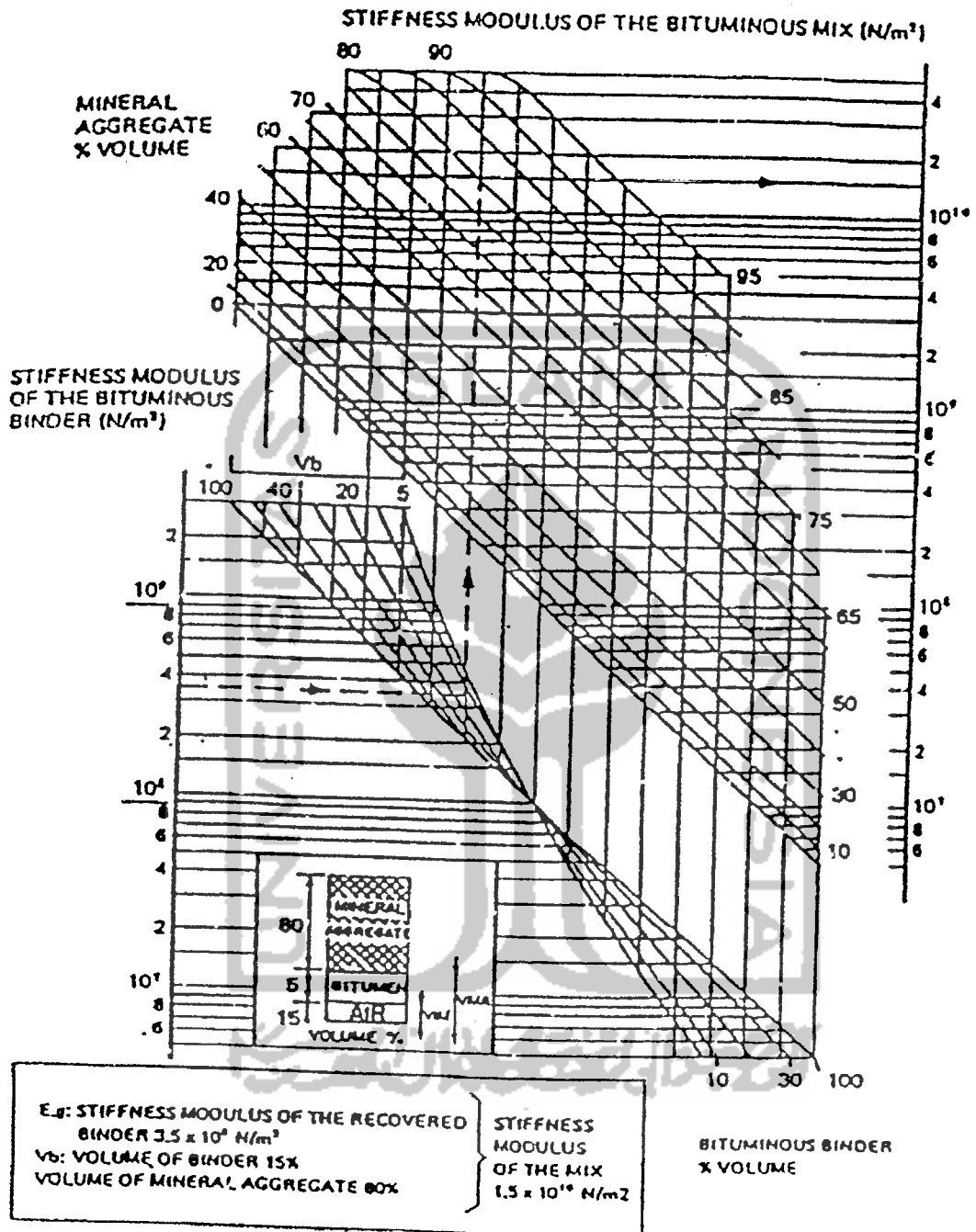
τ_m = Berat volume campuran padat (T/m³)

τ_w = Berat volume air (T/m³)

Vg = Prosentase volume agregat

Vb = Prosentase volume bitumen

Vv = Prosentase volume pori



Gambar 3.8. Nomogram penentuan kekakuan campuran

Sumber : *A New Method of Predicting the Stiffness of Asphalt Paving Mixtures, Procc.*

Asphalt Paving Technology, Bonnaure F, 1977.

3.8.2.2. Metode Heukellom dan Klomp

Persamaan untuk menentukan nilai kekakuan campuran menurut Heukellom dan Klomp adalah sebagai berikut :

$$S_{mix} = S_{bit} \left[1 + \frac{2.5}{n} * \frac{Cv}{(1 - Cv)} \right]^n \dots\dots\dots (3.29)$$

$$n = 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{S_{bit}} \right) \dots\dots\dots (3.30)$$

Van Der Poel menyimpulkan bahwa modulus kekakuan campuran tergantung kepada kekakuan bitumen dan konsentrasi volume agregat (Cv).

$$Cv = \frac{Vg}{Vg + Vb} \dots\dots\dots (3.31)$$

Persamaan diatas hanya berlaku untuk kepadatan dengan volume rongga kurang dari 3 %. Untuk kepadatan dengan volume rongga lebih dari 3 % digunakan persamaan :

$$Cv' = \frac{Cv}{1 + 0,01 (Vv - 3)} \dots\dots\dots (3.32)$$

Keterangan : Cv' = Modifikasi volume rongga agregat

Persamaan tersebut dapat digunakan jika konsentrasi volume bitumen (Cb) memenuhi syarat sebagai berikut :

$$Cb > 2/3 (1 - Cv') \dots\dots\dots (3.33)$$

$$Cb = \frac{Vb}{Vg + Vb} \dots\dots\dots (3.34)$$