

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu percampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu percampurannya umumnya antara 145°C-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal pula dengan nama *hotmix* (Sukirman,2003).

B. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam atau didapatkan dari residu dari pengilangan minyak bumi. *Tar* adalah material berwarna coklat atau hitam, berbentuk cair atau semipadat, dengan unsur utama bitumen sebagai hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, atau material organik lainnya. *Pitch* didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*) padat, berwarna coklat atau hitam, yang berbentuk cair jika dipanaskan. *Pitch* diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional *tar*. *Tar* dan *Pitch* tidak diperoleh di alam, tetapi merupakan produk kimiawi. Dari ketiga material pengikat di atas, aspal

merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu bitumen disebut pula sebagai aspal.

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperaturnya menurun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2003).

C. Agregat

1. Pengertian Agregat

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran-butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi, dan lain-lain. Sedangkan secara umum agregat didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat (Sukirman, 2003).

Dari beberapa pendapat di atas, maka dapat diartikan bahwa agregat adalah suatu kumpulan butiran batuan yang berukuran tertentu yang diperoleh dari hasil alam langsung maupun dari pemecahan batu besar ataupun agregat yang disengaja dibuat untuk tujuan tertentu. Agregat dapat berupa berbagai jenis butiran atau pecahan batuan, termasuk

didalamnya antara lain: pasir, kerikil, agregat pecah, abu/debu agregat dan lain-lain.

2. Sifat Agregat Sebagai Material Perkerasan Jalan

Sifat agregat merupakan faktor yang menentukan kemampuan sifat agregat pada perkerasan jalan untuk memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca/iklim. Oleh karena itu perlu adanya pemeriksaan yang teliti sebelum memutuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan, dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis dan daya lekat terhadap aspal. Gradasi agregat merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-1990 disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Ukuran butir agregat

Ukuran saringan	Bukaan (mm)	Ukuran saringan	Bukaan (mm)
4 inchi	100	3/8 inchi	9,5
3 1/2 inchi	90	No.4	4,75
3 inchi	75	No.8	2,36
2 1/2 inchi	63	No.16	1,18
2 inchi	50	No.30	0,6
1 1/2 inchi	37,5	No.50	0,3
1 inchi	25	No.100	0,15
3/4 inchi	19	No.200	0,075
1/2 inchi	12,5	-	-

(Sumber: Sukirman,2003)

Analisis saringan dapat dilakukan secara basah atau kering, analisis basah digunakan untuk menentukan jumlah bahan agregat yang lolos saringan No.200 mengikuti manual SNI-M-02-1994-2003 atau AASHTO T11-90. Persentase lolos saringan ditentukan melalui pengujian analisis agregat halus dan kasar.

3. Daya Lekat Aspal Terhadap Agregat

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Granit dan agregat yang mengandung silica merupakan agregat yang bersifat *hydrophilic*, yaitu agregat yang mudah diresapi air, hal ini menyebabkan agregat tersebut tidak mudah dilekat dengan aspal, ikatan aspal dengan agregat mudah lepas. Sebaliknya agregat seperti diorit, andesit, merupakan agregat *hydrophobic*, yaitu agregat yang tidak mudah terikat dengan air, tetapi mudah terikat dengan aspal.

4. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air. Aggregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar atau berat jenis ringan.



Gambar 1. Skema volume butir agregat
(Sumber: Sukirman, 2003)

Pada Gambar 1 di atas terlihat skema volume butir agregat yang terdiri dari volume agregat massif (V_s), volume pori yang tidak dapat diresapi oleh air (V_i), volume pori yang diresapi air ($V_p + V_c$), dan volume pori yang dapat diresapi aspal (V_c).

$V_s + V_p + V_i + V_c$ = volume total butir agregat

$V_p + V_i + V_c$ = volume pori agregat

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

Ba = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air, dalam gram

Berat jenis agregat halus harus ditentukan dengan menggunakan SNI

1970–2008 atau AASHTO T84-88 (Sukirman 2003)

D. Agregat Kasar

Menurut Sukirman, (2003) agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa *fragmen*. Ditinjau dari asal kejadiannya agregat kasar dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Batuan Beku (*igneous rock*)

Batuan beku berbentuk kristal dan terbentuk dari proses pembekuan magma.

2. Batuan Sedimen (*sedimentary*)

Batuan yang berbentuk baik dari perbandingan bahan atau material yang tidak larut dari pecahan batuan yang ada atau sisa anorganik dari binatang laut.

3. Batuan *Metamorf*

Batuan yang berasal dari batuan sedimen atau batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi. Berdasarkan pengolahannya agregat dibedakan atas:

- a) Agregat Alam

Agregat alam adalah agregat yang dapat dipakai langsung sebagai bahan perkerasan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi (Degradasi adalah perubahan gradasi karena adanya penghancuran). Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat dibukit-bukit

membentuk partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Dua bentuk agregat alam yang sering digunakan adalah pasir dan kerikil.

b) Agregat yang Mengalami Proses Pengolahan

Proses pengolahan diperlukan karena agregat yang berasal dari gunung atau bukit, sungai masih banyak dalam bentuk bongkahan besar sehingga belum dapat langsung diigunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan jalan. Tujuan dari pengolahan ini adalah:

- (1) Bentuk partikel bersudut, di usahakan berbentuk kubus.
- (2) Partikel kasar sehingga memiliki gaya gesekan yang baik.
- (3) Gradasi sesuai dengan yang diinginkan.

Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*crusher stone*) sehingga ukuran-ukuran partikel dapat dikontrol.

c) Agregat Buatan

Agregat ini dibuat dengan alasan khusus, yaitu agar mempunyai daya tahan tinggi dan ringan untuk digunakan konstruksi. Agregat kasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- (1) Ketahan terhadap aspal adalah penahanan aspal sesuai pelapisan dan pengelupasan 95%. Kelekanan terhadap aspal berfungsi untuk mengetahui sifat *adhesive* agregat terhadap aspal.
- (2) Berat jenis semu agregat minimum 2.5% (Peraturan No. 13/PT/B1987/ Ditjen Bina Marga). Berat jenis semu adalah perbandingan antar agregat-agregat kering dengan air sulingan

yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

(3) Absorpsi penyerapan adalah persentase yang dapat diserap pori-pori agregat terhadap berat kering. Dibawah ini merupakan tabel persyaratan untuk agregat kasar dari Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Beton Aspal No. 12/PT/B/1983.

Tabel 2. Persyaratan Agregat Kasar.

No	Jenis pekerjaan	Standar		Syarat	Satuan
		AASHTO	Bina Marga		
1	Kelekatan terhadap aspal	T-182-76	PB-0205-74	95	%
2	BJ semu	T-85-74	PB-0202-76	>2,50	
3	<i>Absorbsi</i>	T-85-74	PB-0202-76	<3	%

E. Agregat Halus

Agregat halus harus terdiri atas bahan-bahan yang berbidang kasar bersudut, tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri atas pasir bersih dan bahan-bahan halus hasil pecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dalam keadaan kering. Agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Berat jenis semu minimum agregat harus 2,5% (Peraturan No. 13/PT/B1987/ Ditjen Bina Marga).

2) Nilai *sand equivalent* kurang dari 50% tidak diperkenankan dalam campuran (80% lebih baik) (Peraturan No. 13/PT/B1987/ Ditjen Bina Marga), dibawah ini merupakan tabel persyaratan agregat halus:

Tabel 3. Persyaratan Agregat Halus.

No	Jenis pekerjaan	Standar		Syarat	Satuan
		AASHTO	Bina Marga		
1	BJ Semu	T-85-74	PB-0202-76	>2,50	-
2	Absorbsi	T-85-74	PB-0202-76	<3	%

F. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, debu dolomite, semen Portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi yang merupakan mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah banyak terserap dalam bahan bitumen maka volumenya akan naik. Banyak spesifikasi untuk *wearing course* menyarankan banyaknya bahan pengisi kira-kira 5% dari berat adalah mineral yang lolos saringan No. 200.

Terlalu tinggi akan kandungan bahan pengisi bisa menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak bila terkena beban lalu lintas, namun dilain pihak bila terlalu sedikit bahan pengisi akan menghasilkan campuran yang lembek pada cuaca panas. Para peneliti telah sepakat

menaikkan kuantitas bahan pengisi (*filler*) akan menyebabkan peningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran, namun ada batasnya. Terlalu tinggi kandungan bahan pengisi bisa menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak bila terkena beban lalu lintas, namun dilain pihak bila terlalu sedikit bahan pengisi akan menghasilkan campuran yang lembek pada cuaca panas.

G. Serat *Polypropylene*

Serat *polypropylene* berasal dari monomer C₃H₆ merupakan hidrokarbon murni. Berdasarkan Dian (2012) bahwa bahan ini dibuat dengan polimerisasi, merupakan molekul yang berat dan proses produksinya sampai menjadi serat gabungan untuk memberikan sifat-sifat yang berguna pada serat *polypropylene*. antara lain sebagai berikut:

- a. Susunan atom biasa dalam molekul *polymer* dan kristalisasi tinggi bernama *Isotactic Polypropylene*.
- b. Memiliki titik leleh yang tinggi 165⁰C dan mampu digunakan pada temperatur 100⁰C dalam waktu yang lebih singkat.
- c. Memiliki kekakuan kimia yang menyebabkan bahan kuat terhadap hampir semua bahan kimia.
- d. Memiliki permukaan yang *Hidrophobic*, tidak akan basah terkena pasta semen, membantu mencegah pukulan pada serat dan mengembang pada saat pencampuran, atau terletak pada tempat yang tidak perlu air.
- e. Memiliki kuat tekan benang 159/denier.

- f. Matriks semen dapat menembus struktur rapat antara serabut sendiri dan membuat ikatan mekanik antara serat dan matriks.

Sifat-sifat yang dapat diperbaiki oleh serat *polypropylene* tersebut antara lain:

- a. Daktilitas berhubungan dengan kemampuan dalam menyerap energi.
- b. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*).
- c. Kemampuan menahan tarik dan momen lentur.
- d. Ketahanan terhadap kelelahan.
- e. Ketahanan pengaruh susutan (*Shrinkage*).
- f. Ketahanan Aus.
- g. Ketahanan *Spalling*.

Adapun kelemahan-kelemahan dari serat *polypropylene*:

- a. Modulus elastisitas yang rendah, berarti dengan adanya serat menurunkan ketahanan retak dari komposit. Dan hasil desakan sangat luas sebelum retak yang kompleks terjadi secara menyeluruh.
- b. Ikatan yang rapuh antara serat dan matriks berakibat pada kuat tarik rendah.
- c. Rentan dari matahari dan oksigen.

H. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan

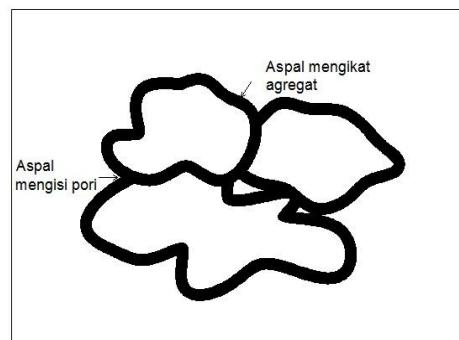
Aspal yang dipergunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

- 1. Bahan Pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan sesama aspal.

2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada dalam butir agregat itu sendiri.

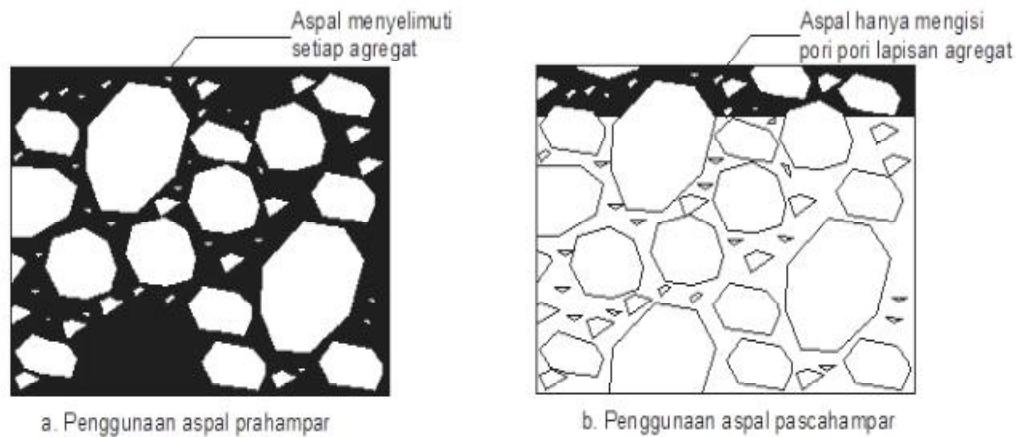
Untuk dapat memenuhi fungsi kedua aspal itu dengan baik, maka aspal tersebut haruslah memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik. Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat melalui dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat yang lebih halus (pascahampar), seperti penetrasi makadam atau pelaburan.

Fungsi utama aspal untuk kedua jenis proses pembentukan perkerasan yaitu proses pencampuran prahampar, dan pascahampar itu berbeda. Pada proses prahampar aspal yang dicampur dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir, dan meresap kedalam pori masing-masing butir.



Gambar 2. Fungsi aspal pada setiap butir agregat
(Sumber: Sukirman, 2003)

Pada proses pascahampar, aspal disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan, lalu diatasnya ditaburi butiran agregat halus. Pada proses ini aspal akan meresa pada pori-pori antar butir agregat di bawahnya. Fungsi utamanya adalah menghasilkan lapisan perkerasan bagian atas yang kedap air dan tidak mengikat agregat sampai ke bawah. Ilustrasi tentang aspal untuk setiap butir agregat digambarkan pada Gambar 3 di bawah ini:



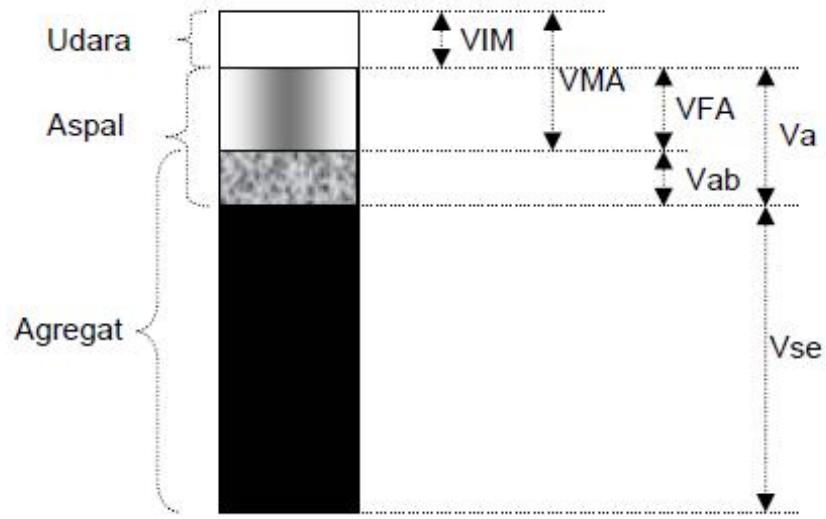
Gambar 3. Perbedaan fungsi aspal pada lapisan jalan
(Sumber: Sukirman, 2003)

I. Sifat Volumetrik dari Campuran Beton Aspal

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal, dan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampuran pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga berbentuk beton aspal padat. Secara analitis, dapat ditentukan sifat volumetrik dari beton aspal padat, baik yang dipadatkan di laboratorium, maupun di lapangan. Parameter yang biasa digunakan adalah:

1. V_{mb} : Volume *bulk* dari beton padat

2. V_{sb} : Volume agregat, adalah volume *bulk* dari agregat (volume bagian massif + pori yang ada di dalam masing-masing butir agregat).
3. V_{se} : Volume agregat, adalah volume efektif dari agregat (volume bagian massif + pori yang tidak terisi aspal di dalam masing-masing butir agregat).
4. VMA : Volume pori di antara butir agregat campuran, dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal, (*void in the mineral aggregate*).
5. V_{mm} : Volume tanpa pori dari beton aspal padat.
6. VIM : Volume pori beton aspal padat (*void in mix*).
7. VFA : Volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal (*volume of voids filled with asphalt*).
8. V_{ab} : Volume aspal yang terabsorbsi kedalam agregat dari beton aspal padat
9. Tebal film aspal : Tebal film aspal atau selimut aspal seingkali digunakan pula untuk menentukan karakteristik beton aspal.



Gambar 4. Skematis berbagai jenis volume beton aspal
 (Sumber: Sukirman, 2003)

J. Pengujian Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh U.S. Corps Enginer. Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

1. Penentuan berat volume benda uji
2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat, akibat adanya beban sampai batas keruntuhannya.
4. Perhitungan kuosien marshall, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.

5. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA dan VFA).
6. Perhitungan tebal selimut film aspal.

K. Jenis-jenis Gelombang

Gelombang dapat dibagi menjadi empat jenis menurut penyebaran gelombang ketika permukaan benda elastis dibebani oleh beban dinamis atau pun beban bergetar, yaitu:

1. Gelombang geser (Gelombang Transversal)

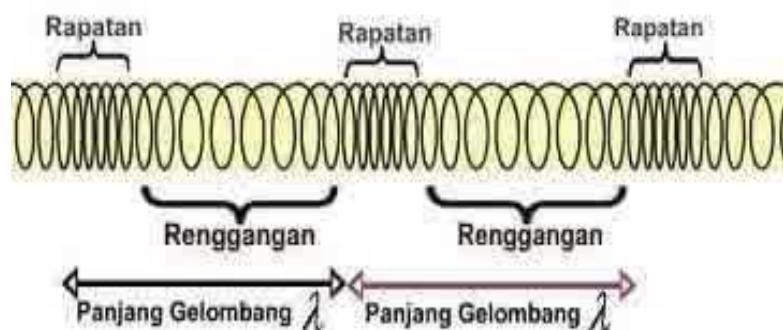
Gelombang transversal merupakan gelombang yang mempunyai arah getaran yang tegak lurus terhadap arah rambatnya. Karena arah getarannya tegak lurus terhadap arah rambatnya, maka bentuk gelombang ini melengkung ke atas dan melengkung kebawah, seperti gunung dan lembah. Gelombang transversal dapat dilihat pada gelombang air dan gelombang tali. Berikut ini merupakan ilustrasi dari gelombang transversal.



Gambar 5. Gelombang transversal
(Sumber: Lutfi, 2013)

2. Gelombang kompresi (Gelombang longitudinal)

Gelombang longitudinal merupakan gelombang dengan arah rambat dan getaran yang sama arahnya. Gerakan gelombang ini dari medium gelombang searah dengan propagasi gelombang. Salah satu contoh dari gelombang longitudinal adalah bunyi. Yang menjadi perantara pada gelombang bunyi adalah udara. Udara adalah medium yang secara bergantian merapat dan merenggang karena adanya perpindahan tempat (pergeseran getaran) (berpindah tempat). Halaman berikut ini merupakan ilustrasi dari gelombang longitudinal.:

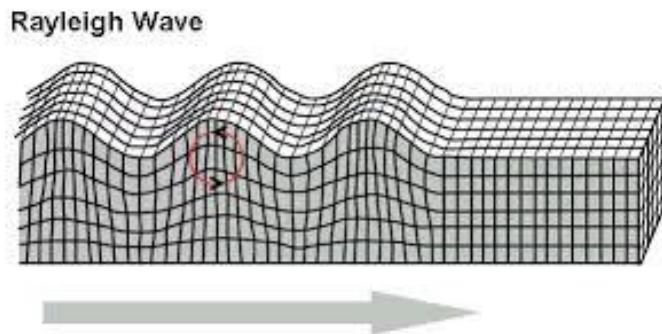


Gambar 6. Gelombang Longitudinal
(Sumber: Diana, 2013)

3. Gelombang permukaan (Gelombang Rayleigh)

Gelombang Rayleigh adalah gelombang permukaan yang terjadi karena ada interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif dan merambat pada medium half space. Karakteristik dari gelombang Rayleigh adalah amplitudonya menurun bahkan berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman di bawah permukaan. Gelombang ini pada umumnya memiliki frekuensi rendah dengan spektrum yang tidak

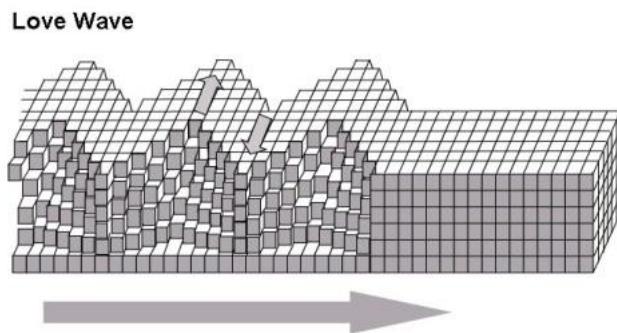
tajam. Gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah.



Gambar 7. Gelombang Rayleigh
(Sumber: Diana, 2013)

4. Gelombang Love

Gelombang love adalah gelombang yang hanya merambat pada batas lapisan saja dan bergerak pada bidang yang horisontal saja. Berikut merupakan contoh gerakan gelombang love.



Gambar 8. Gelombang Love
(Sumber: Diana, 2013)

Hubungan frekuensi (f) dan gelombang (λ) dari pergerakan penyebaran gelombang dengan kecepatan adalah: $V = f\lambda$, frekuensi dalam satuan *Hertz* atau putaran/detik dan panjang gelombang dalam satuan jarak misal (mm). Peningkatan frekuensi diiringi menurunnya panjang gelombang, dan demikian sebaliknya. Saat rambatan gelombang menjalar pada permukaan yang berbeda *propertiesnya*, sebagian energi gelombang akan tersebar dari lintasan awalnya. Sebagai contoh adalah rongga, retak, dan butir agregat dalam beton berperan untuk menyebarkan energi utama gelombang tekan dari lintasan awalnya. Untuk beton, batas atas frekuensi yang dapat dipakai yaitu kira-kira 500 kHz, sehingga dihasilkan panjang lintasan kira-kira 10 mm, dimana sama dengan ukuran agregat kasar. Sebagai akibatnya, panjang lintasan itu dapat efektif dijelajahi pada batas atas frekuensi ini sebelum kecepatan gelombang menyebar seluruhnya hanya dalam beberapa *centimeter*.

Panjang lintasan yang lebih besar dapat dijelajahi menggunakan frekuensi yang lebih rendah (*wave length*) besar, sebuah frekuensi sebesar 20 kHz biasanya dapat menjelajah lebih dari 10m.

L. ***Ultrasonik Pulse Velocity (UPV)***

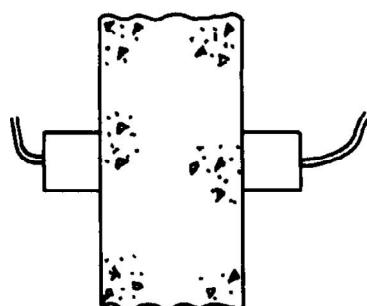
Penggunaan Non-Destruktif Test (NDT) adalah sesuatu hal baru yang menarik. Karena pengujian tersebut dapat menganalisis kondisi struktur dengan tidak merusak benda uji. NDT telah didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk menguji suatu proyek, materi, atau system tanpa merusak kegunaan benda uji. Hal tersebut merupakan salah satu keuntungan

utama dari metode NDT. Metode ini juga digunakan untuk memeriksa variasi yang ada dalam struktur, keratakan, perubahan bentuk, dan lain-lain.

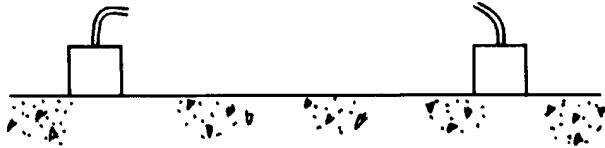
Salah satu peralatan pengujian yang dapat memungkinkan menggunakan metode NDT adalah pengujian menggunakan gelombang ultrasonik. *Ultrasonik Pulse Velocity* atau biasa disingkat UPV adalah pengujian NDT campuran aspal dengan menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik untuk meneliti sifat campuran aspal.

Dengan pengujian UPV, campuran aspal yang pematannya kurang baik akan terdeteksi. Hal tersebut dapat dilihat ketika gelombang UPV mengalami penurunan kecepatan. Pada pengujian UPV, stabilitas aspal dapat ditunjukkan dengan perubahan kecepatan gelombangnya. Apabila kecepatan gelombang mengalami penurunan, maka aspal tersebut juga mengalami penurunan stabilitasnya. Sebaliknya, jika gelombang mengalami kenaikan kecepatan, maka stabilitas aspal meningkat.

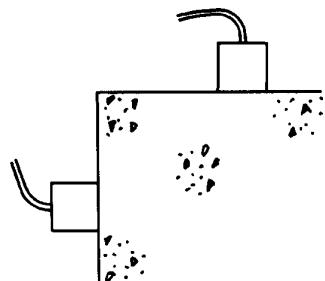
Pengujian UPV dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu langsung (direct), tidak langsung (indirect), dan semi langsung (semi direct). Berikut ini adalah contoh gambar pelaksanaan pengujian UPV.



Gambar 9. Langsung (*direct*)
(Sumber: Bungey, 1996)



Gambar 10. Semi langsung (*semi direct*)
(Sumber: Bungey, 1996)



Gambar 11. Tidak langsung (*indirect*)
(Sumber: Bungey, 1996)

Dari ketiga pengujian di atas, metode *direct* adalah metode yang paling memuaskan dalam pengukuran kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. Meskipun demikian keakuratan metode *direct* juga harus melihat keadaan fisik aspal. Metode semi *direct* terkadang dapat mengukur kecepatan gelombang dengan hasil yang memuaskan jika jarak antara transducer dan receiver tidak terlalu jauh. Sedangkan metode *indirect* adalah metode yang paling tidak memuaskan, karena sinyal yang diterima lebih rendah sebesar 3% dari pada metode *direct* dan juga pada metode ini sering terjadi error.

Prinsip penggunaan metode UPV didasarkan pada kecepatan gelombang tekan yang melintasi sebuah benda yang tergantung pada *elastic properties* dan kepadatan bendanya. Menurut ASTM C597-02 (2003); Cara kerja UPV yaitu *transducer pengirim (transmitter)* mengirimkan gelombang dan ditangkap oleh *transducer penerima (receiver)* yang terletak sejauh L dari

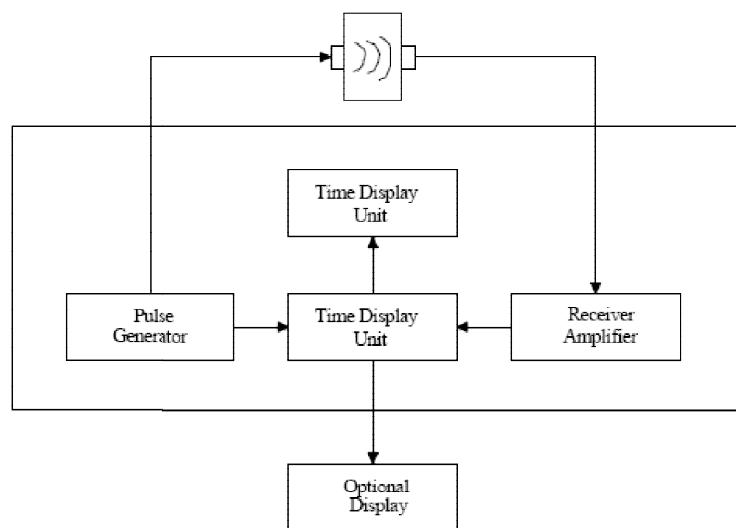
transmitter. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity* menampilkan besarnya waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk melalui benda uji yang disebut *travel time* (Δ_t). Dengan demikian kecepatan gelombang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Keterangan:

V : kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (km/s);

L : panjang lintasan gelombang (m);

Δ_t : travel time (s)



Gambar 12. Skema cara alat kerja UPV

(Sumber: Faqih, 2010)

Kecepatan gelombang untuk aspal, biasanya berkisar antara 3700 sampai 4200 m/s. oleh karena itu, untuk panjang lintasan 300 mm, *travel timenya* kurang lebih 70 sampai dengan $85\mu\text{s}$. Hal ini jelas bahwa peralatan tersebut harus mampu mengukur dengan sangat akurat seperti mengukur

travel time yang pendek. Panjang lintasan juga harus diukur dengan teliti, karena metode UPV adalah sebuah teknik perambatan gelombang, banyak sumber yang menimbulkan menipisnya gelombang pada elemen saat pengujian (misal *jack hammer*) harus disingkirkan selama pengujian.

Pengiriman dan penerimaan gelombang dapat berjalan dengan baik, jika *transducer* harus terhubung seluruhnya ke obyek yang diuji, karena jika ada kantong udara yang terperangkap, kemungkinan dapat menyebabkan kesalahan pada pembacaan *travel time*, untuk menghindari hal tersebut maka digunakan *couplant*. *Couplant* yang disediakan di pasaran antara lain minyak teer (*petroleum jelly*), pelumas (*grease*), sabun cair dan pasta *kaolin-glyserol*. Penggunaan *couplant* harus setipis mungkin, namun jika permukaan beton sangat kasar maka digunakan *grease* yang lebih tebal. Perataan dilakukan sebelum pelaksanaan uji UPV. Sewaktu pelaksanaan uji UPV, *transducer* diberi tekanan yang konstan, ulangi pembacaan pada tempat yang sama, sampai didapat nilai *travel time* minimum.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik pada campuran aspal adalah sebagai berikut:

- 1) Jarak antara *transmitter* dan *receiver*,
- 2) Kondisi permukaan benda uji, dan
- 3) Temperatur benda uji.

M. Parameter dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas (Sukirman, 2003) adalah sebagai berikut :

1. Berat Jenis Bulk dan *Apparent* Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

a. Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat

Keterangan:

Gsbtot agregat : Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

Gsb1, Gsb2, Gsb : Berat jenis kering dari masing-masing agregat

1, 2, 3..n, (gr/cc)

P1, P2, P3, ... : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

b. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total agregat

Keterangan:

Gsatot agregat : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

Gsa1, Gsa2...Gsan : Berat jenis semu dari masing-masing agregat

1,2,3..n(gr/cc)

P1, P2, P3, ... : Prosentase berat dari masing-masing agregat.

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (Gse), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemanfaatan
 (gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

Gb : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dihalaman berikut ini :

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive specific gravity*, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis kering agregat / *bulk specific gravity*, (gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat / *apparent specific gravity*, (gr/cc)

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, G_{mm} pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan T 209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_S}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_{lb}}} \dots \quad (6)$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum campuran,(gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran. (%)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran. (%)

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive specific gravity*, (gr/cc)

G_b : Berat jenis aspal,(gr/cc)

4. Berat Jenis *Bulk* Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemanasan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

Keterangan:

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemanasan, (gr/cc)

V_{bulk} : Volume campuran setelah pemanasan, (cc)

Wa : Berat di udara, (gr)

5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

Keterangan:

Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Gse : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (Pbe) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

Keterangan:

Pbe : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

7. Rongga di antara mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregat/VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus di halaman berikut ini :

a. Terhadap Berat Campuran Total

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemanasan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} \times 100 \right) \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemanasan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

8. Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang

terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 \times \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \dots \dots \dots \quad (12)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemanasan, persentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemanfaatan (gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemanjangan (gr/cc)

9. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFB*)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumusan perhitungan VFB adalah sebagai berikut:

$$VFB = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \dots \dots \dots \quad (13)$$

Keterangan:

VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total, (%)

VIM : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

10. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuhan *Lbf (pound force)*, sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

11. Flow (kelelahan)

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertikal pada benda uji, Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dinyatakan dalam mm atau 0,01”.

12. Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi Marshall/*Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus di halaman berikut:

keterangan:

MQ : *Marshall Quotient, (kg/mm)*

MS : *Marshall Stability (kg)*

MF : *Flow Marshall, (mm)*