

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Menurut Sukirman S , (2003) aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna coklat tua atau hitam, dengan unsur utama bitumen. Aspal juga didefinisikan sebagai sejenis mineral yang banyak digunakan untuk konstruksi jalan, khusus perkerasan lentur. Aspal merupakan material organik (*hydrocarbon*) yang kompleks yang dapat diperoleh langsung dari alam atau dengan proses tertentu (*artifisial*). 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 temperatur turun. 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. Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang didapat di suatu tempat di alam, dan dapat

digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

2.1.1. Jenis-jenis aspal

Dilihat dari bentuknya pada temperatur ruang maka aspal dapat dibagi menjadi :

1. Aspal padat, adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama **semen aspal** (*asphalt cement*). Oleh karena itu semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat. (Sukirman S, 2003).

Aspal keras atau panas (*asphalt cement, AC*), digunakan dalam keadaan cair dan panas serta penyimpanannya dalam bentuk pampat dalam temperatur ruang. Aspal ini berbentuk padat pada temperatur ruang antara 25° - 30° C. Di Indonesia AC dibedakan menjadi :

- a. AC 40/50 : AC dengan penetrasi antara 40 – 50.
- b. AC 60/70 : AC dengan penetrasi antara 60 – 70.
- c. AC 85/100 : AC dengan penetrasi antara 85 – 100.
- d. AC 120/150 : AC dengan penetrasi antara 120 – 150.
- e. AC 200/300 : AC dengan penetrasi antara 200 – 300.

AC dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu-lintasnya tinggi, sedangkan AC dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau untuk volume lalu-lintas rendah.

Di Indonesia umumnya dipakai penetrasi 60/70 dan 80/100.(Suryadharmadkk, 1999).

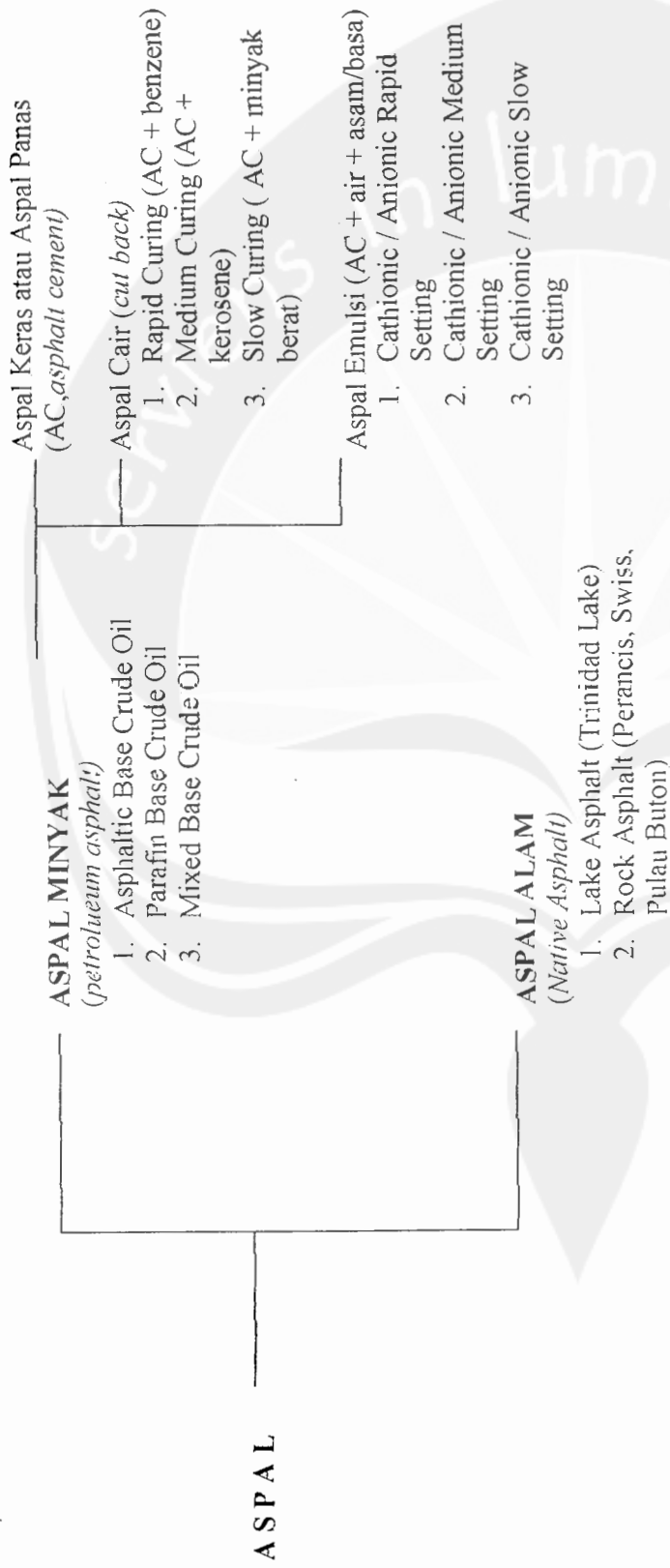
2. Aspal cair (*cutback asphalt*), yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi :
 - a. *Rapid curing cut back asphalt (RC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. *RC* merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
 - b. *Medium curing cut back asphalt (MC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
 - c. *Slow curing cut back asphalt (SC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak disel). *SC* merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.(Sukirman S, 2003).
3. Menurut Sukirman S (2003) aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :
 - a. Aspal kationik disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
 - b. Aspal anionik disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.

- c. Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak mengantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

- a. *Rapid Setting (RS)*, aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, dan aspal cepat menjadi padat atau keras kembali.
- b. *Medium Setting (MS)*.
- c. *Slow Setting (SS)*, jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras.

Klasifikasi aspal berdasarkan sumber dan penggunaannya yang umum dikenal di Indonesia dapat diuraikan pada gambar berikut ini :



Gambar 2.1. Klasifikasi Aspal

2.2. Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan utama perkerasan jalan selain aspal. Agregat terdiri dari 2 jenis yaitu agregat alam berupa pasir, kerikil dan batu pecah serta agregat buatan yang berupa terak (hasil dari pabrik pencairan besi) dan hasil sampingan pabrik semen dan mesin pemecah batu. Berdasarkan besaran partikel, agregat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus dan abu batu/mineral *filler*. (Suryadharma dkk, 1999).

Menurut Sukirman S (2003) gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang sangat menentukan kinerja perkerasan jalan. Setiap perkerasan jalan mempunyai gradasi agregat tertentu yang dapat dilihat di dalam setiap spesifikasi material perkerasan jalan. Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun yang berupa fragmen-fragmen. Agregat juga didefinisikan sebagai sekumpulan butir-butir pecah, pasir atau mineral lainnya baik berupa agregat hasil alam maupun hasil pengolahan (penyaringan, pemecahan). Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% berdasarkan persentase berat atau 75-85% berdasarkan persentase volume. Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk dipergunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran gradasi, kekuatan dan kekerasan, tekstur permukaan, porositas, kelekatan terhadap aspal dan kebersihan. Agregat bentuk pecah akan memiliki gaya gesek dalam yang tinggi dan saling mengunci sehingga akan menambah kestabilan konstruksi lapis keras guna menghasilkan stabilitas yang tinggi

disyaratkan bahwa minimum 40% dari agregat tertahan saringan no 4 mempunyai paling sedikit satu bidang pecah. Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas :

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan no. 4 (4,75 mm).
2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan no.4 (4,75 mm).

Menurut Dep. Pekerjaan Umum (1987) :

1. Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain.
2. Agregat halus harus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau pasir terak atau gabungan dari bahan-bahan tersebut.

Agregat halus harus bersih, kering, kuat, bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang mengganggu serta terdiri dari butir-butir yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan yang kasar.

Agregat halus yang berasal dari batu pecah hanya boleh digunakan apabila dicampur dengan pasir alam dalam perbandingan yang sama kecuali apabila pengalaman telah menunjukkan bukti bahwa bahan tersebut tidak mudah licin oleh lalu lintas.

2.3. Filler

Filler adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan no.200. *Filler* atau bahan pengisi ini akan mengisi rongga di antara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel yang lolos saringan no.200, sehingga membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar. Mineral *filler* merupakan salah satu faktor penentu terhadap stabilitas, keawetan dan sifat mudah dikerjakan dari campuran Lataston. (DPU, 1983)

Menurut Totomihardjo S ,1994, hasil penelitian pengaruh penggunaan *filler* terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut :

1. *Filler* diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan, dan karakteristik lain beton aspal.
2. *Filler* dapat berfungsi ganda dalam campuran aspal beton :
 - a. sebagai bagian agregat, *filler* akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
 - b. bila dicampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
3. Sifat aspal (daktilitas, penetrasi, *viskositas*) diubah secara drastis oleh *filler* walaupun kadarnya relatif rendah dibanding pada campuran aspal beton. Penambahan *filler* pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.

4. *Viskositas* campuran aspal-*filler* pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar, tergantung pada jenis *filler* dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada suhu rendah.
5. Hasil tes menunjukkan ada hubungan yang baik antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar *void* yang sama.
6. Hasil tes menunjukkan ada hubungan baik antara *viskositas* aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan suhu perlu dinaikkan bila memadatkan campuran dengan *filler*-aspal berkonsistensi tinggi.
7. *Sensitivitas* campuran terhadap air pada tipe dan kadar *filler* yang berbeda menunjukkan *variasi* yang besar. Hasil tes menunjukkan bahwa *sensitivitas* terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar *filler* yang sensitif air.

Menurut Dep. Pekerjaan Umum (1987) :

1. Bahan pengisi bila diperlukan harus terdiri dari abu batu, abu batu kapur, kapur padam, semen (*PC*) bahan non plastis lainnya.
2. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah.

2.4. Lataston (lapis tipis aspal beton) atau *hot roller sheet*, HRS

Pada penelitian ini digunakan *HRS-B*, yaitu lataston sebagai lapis pondasi. Campuran ini menggunakan agregat bergradasi timpang, aspal dan ditambah *filler* dengan perbandingan tertentu yang dicampur pada, suhu tertentu, tergantung nilai penetrasi aspal yang digunakan dan dipadatkan pada suhu minimal 140°C. Tebal padat antara 2,5 cm atau 3 cm. Lapisan ini berfungsi sebagai lapis penutup untuk mencegah masuknya air dari permukaan ke dalam konstruksi perkerasan sehingga dapat mempertahankan kekuatan konstruksi sampai tingkat tertentu. (DPU, 1983).

Lapis ini mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Kedap air.
2. Kekenyalan yang tinggi.
3. Awet
4. Dianggap tidak mempunyai nilai struktural.

Menurut Sony S, 2001, sifat-sifat penting yang harus dimiliki oleh suatu campuran aspal dan agregat diantaranya adalah:

1. Stabilitas

Stabilitas berhubungan erat dengan kekuatan campuran, dan dapat didefinisikan sebagai kekuatan campuran tersebut menahan deformasi akibat beban lalu lintas. Stabilitas dapat diperoleh melalui tahanan friksi antar agregat, agregat yang saling mengunci (*interlocking*), dan daya kohesi dari aspal.

2. *Fleksibilitas*

Fleksibilitas campuran beraspal didefinisikan sebagai kemampuan campuran tersebut menahan lendutan (*defleksi*) dan momen tanpa timbul retak. Untuk memaksimalkan *fleksibilitas*, harus digunakan agregat dengan gradasi terbuka (*open graded*), karena itu harus ada kompromi dengan stabilitas campuran, dimana campuran yang menggunakan agregat bergradasi terbuka kurang stabil dibandingkan campuran yang menggunakan agregat bergradasi rapat.

3. *Durabilitas*

Durabilitas suatu campuran beraspal didefinisikan sebagai ketahanan campuran tersebut terhadap beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Campuran harus tahan terhadap air dan perubahan sifat aspal karena penguapan dan oksidasi.

4. *Workabilitas*

Campuran harus mudah untuk dikerjakan, yaitu proses pengangkutan dari *Mixing Plant*, penghampanan dan pemadatan. Untuk mencapai kondisi ini perlu diatur *viskositas* campuran, suhu pencampuran dan pemadatan.

5. *Ekonomis*

Campuran harus direncanakan dengan menggunakan jenis dan kombinasi material yang menghasilkan biaya termurah tetapi memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan.

2.5. Abu Ampas Tebu

Jenis limbah dari pabrik gula dengan bahan baku tebu bisa dilihat dari bentuknya yang terdiri dari :

1. Limbah cair

Berupa air bekas kondensan (air bekas penguapan) dan air cuci tapisan yang langsung dibuang menuju saluran pembuangan sebagai air kotor.

2. Limbah gas

Berupa asap cerobong dan gas sisa pembakaran ketel uap yang dapat digolongkan sebagai aerosol.

3. Limbah padat

Ada dua macam limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan tebu, yaitu abu ampas, sebagai sisa pembakaran ampas tebu ketel uap dan blotong yang merupakan sisa dari tebu basah yang diperas untuk diambil sarinya.

Proses terjadinya abu ampas tebu akan diuraikan secara garis besarnya saja (Pesparani, Y., 2003). Pertama-tama gelondongan tebu diperah distasiun gilingan Pemerahan nira untuk diambil cairannya yang mengandung gula (nira mentah). Setelah diproses melalui beberapa stasiun gilingan akhirnya ampas tebu yang sudah diambil niranya, dipisahkan. Ampasnya yang berat sekitar 30% tebu digunakan sebagai bahan bakar stasiun ketel (pembangkit tenaga) dengan suhu pembakaran antara 600°C sampai 700°C. Pembakaran ampas tebu digunakan sebagai penghasil tenaga dan panas untuk ketel pipa air. Uap air yang dihasilkan dipakai untuk menggerakkan turbin-turbin, mesin uap, dan pompa-pompa. Uap

bekasnya digunakan untuk memanaskan dan menguapkan nira dalam panci penguapan dan masakan. Dari ketel uap, ampas atau limbah padat dapat berupa ampas sisa (abu) yang diambil dari bawah tungku ketel (*bottom ash*) dan abu atas tungku ketel (*fly ash*) yang mempunyai karakteristik berat yang lebih ringan. Ketika pertama kali ampas tebu dipanaskan, kehilangan berat terjadi sampai suhu 100°C karena penguapan air. Pada suhu 350°C zat-zat yang mudah menguap mulai terbakar, sehingga menyebabkan bertambahnya kehilangan berat. Dari suhu 400°C sampai 500°C ampas tebu mengalami kehilangan yang terbesar, dan *silika* pada abu ampas tebu masih dalam bentuk tidak beraturan. Di atas suhu 600°C *silika* dalam bentuk *quartz* dapat dideteksi. Ketika suhu bertambah, perubahan *silika* ke bentuk kristal yang lain berkembang, yang pertama berbentuk *crystalite* dan kemudian pada suhu yang lebih tinggi berbentuk *tridymite*. Jika pemanasan diperpanjang sampai melebihi suhu 800°C akan menghasilkan sifat-sifat dasar *silika*. Abu tidak akan meleleh sampai suhu 1700°C, sedangkan alkali-alkali dalam tebu telah menguap dan hilang. Perubahan bentuk *silika* dalam abu tidak hanya tergantung pada suhu pembakaran tetapi juga tergantung pada selang waktu. Seluruh *silika* yang berbentuk tidak beraturan dapat dihasilkan dengan pemeliharaan suhu pembakaran kurang dari suhu 500°C di bawah kondisi oksidasi untuk periode yang lama, atau di atas suhu 680°C dengan memberikan pengaruh waktu kurang dari 1 jam. Pada suhu 1000°C dengan selang waktu lebih dari 5 menit dapat menghasilkan bentuk kristal *silika*. Bentuk kristal *silika* dalam abu biasanya menggunakan teknik defraksi sinar-X. Terlepas dari pengaruh tingkatan/bentuk kristal-kristal *silika* dalam abu, hubungan waktu dan suhu juga

mempengaruhi luas permukaan abu tersebut. Lingkungan pembakaran yang dimaksud adalah ketersediaan O₂ untuk menjamin terjadinya oksidasi. Oleh karena itu, faktor suhu, waktu dan lingkungan pembakaran harus dipertimbangkan dalam memproses abu ampas tebu sehingga memiliki tingkat reaktivitas maksimum. Abu ampas tebu yang dipakai dalam penelitian ini berupa *bottom ash* dengan pengidentifikasian abu yang banyak berwarna putih. Abu ini banyak mengandung *silika*, sekitar 80%, sedangkan abu dengan warna hitam mengandung arang yang tidak ada manfaatnya.

2.6. Lapis Perkerasan

Menurut Suryadharma dkk (1999) perkerasan dibagi mejadi tiga jenis yaitu *fleksible pavement*, *rigid pavement*, dan *composite pavement*.

2.6.1. *Fleksible pavement*

Fleksible pavement adalah perkerasan *fleksible* dengan bahan terdiri atas bahan ikat (berupa aspal, tanah liat) dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri atas 3 lapis atau lebih. Urut-urutan lapisan adalah lapis permukaan, lapis fondasi, lapis fondasi bawah dan *sub grade*. Fungsi masing-masing lapisan adalah sebagai berikut :

1. Lapis Permukaan :
 - a. Memberikan suatu bagian permukaan yang rata.
 - b. Menahan gaya geser dari beban roda.
 - c. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan.
 - d. Sebagai lapisan aus.

2. Lapis Fondasi :

- a. Sebagai lapisan pendukung bagi lapis permukaan dan juga ikut menahan gaya geser dari beban roda.
- b. Sebagai lapisan peresapan untuk lapis fondasi bawah.

3. Lapis Fondasi Bawah :

- a. Untuk menyebarkan tekanan tanah.
- b. Material dapat digunakan kualitas yang rendah agar efisien.
- c. Sebagai lapis peresapan.
- d. Mencegah masuknya tanah dasar ke lapis fondasi atas.
- e. Sebagai lapisan I untuk pelaksanaan perkerasan.

2.6.2. *Rigid pavement*

Rigid pavement adalah perkerasan tegar/kaku/*rigid* dengan bahan perkerasan yang terdiri atas bahan ikat (semen *portland*, tanah liat) dengan batuan. Bahan ikat semen *portland* digunakan untuk lapis permukaan yang terdiri atas campuran batu dan semen (beton) yang disebut slab beton.

2.6.3. *Composite pavement*

Jenis perkerasan ini merupakan kombinasi antara *rigid pavement* dan *fleksible pavement*

2.7 Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrasi yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen Portland terdiri dari oksida kapur (CaO), oksida silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3). Kandungan dari keempat oksida tersebut kurang lebih 95% dari berat semen dan biasanya disebut “major oxides” sedangkan sisanya sebanyak 5% terdiri dari oksida magnesium (MgO) dan oksida lain. (DPU dan PT. Semen Gresik, 1997 dalam Paryono, 1999).

2.7.1. Jenis-jenis dan komposisi kimia Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-1994 (DPU, 1994 dalam Paryono, 1999) Semen *Portland* diklasifikasikan dalam lima jenis sebagai berikut :

1. Jenis I : Semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis yang lain.
2. Jenis II : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi

4. Jenis IV : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan isolator hidrasi rendah.
5. Jenis V : Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Komposisi spesifik semen *Portland* tergantung pada jenis semen dan komposisi bahan baku yang dipergunakan. Komposisi kimia semen *Portland* mempunyai limitasi seperti pada tabel di bawah ini : (DPU dan PT. Semen Gresik, 1997 dalam Paryono, 1999).

Tabel 2.1 Komposisi Limit Semen Portland

Oksida	Komposisi (% berat)
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0,5 – 6,0
MgO	0,1 – 5,5
Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1,3
TiO ₂	0,1 – 0,4
P ₂ O ₅	0,1 – 0,2
SO ₃	1 – 3

Selain oksida diatas, oksida minor pada semen Portland mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Hilang Pijar (LOI)

Apabila semen dipijarkan pada suhu 1000°C sebagian dari unsur atau mineral yang terkandung di dalamnya akan terurai atau menguap. Jumlah kandungan hilang pijar ini dibatasi, karena mineral-mineral

tersebut akan mengalami metamorfosa dalam waktu lama, sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada beton.

2. Bagian tidak larut (Insoluble)

Residu dari bagian-bagian yang tidak larut dibatasi untuk mencegah dicampurkannya bahan-bahan alami lain, yang tidak dibatasi dari persyaratan fisika mortar.

3. SO_3

Berasal dari gypsum, kandungan SO_3 pada semen diperlukan untuk memperlambat pengerasan, namun apabila jumlahnya terlalu banyak, maka dapat menyebabkan cracking dan mengacaukan waktu pengerasan semen.

Kandungan gypsum yang optimal akan menghasilkan kekuatan tekan maksimal dan penyusutan minimum. Gypsum dan C_3A bervariasi membentuk ettringite ($3\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$).

Pembentukan ettringite akan berpengaruh pada kenaikan volume, karena ettringite memiliki berat jenis yang lebih rendah yaitu $1,73 \text{ gram/cm}^3$ bila dibandingkan dengan hasil hidrasi yang lain yaitu $2,5 \text{ gram/cm}^3$.

4. Kapur bebas

Terjadi apabila bahan mentah mengandung lebih banyak kapur dari pada oksida silica alumina dan besi. Pada reaksi hidrasi, kapur bebas akan membentuk Ca(OH)_2 (kalsium hidroksida) yang mempunyai

volume lebih besar dari CaO, sehingga menyebabkan ekspansi semen (unsoundness) dan menimbulkan cracking.

5. MgO

Seperti halnya dengan CaO, maka hidrasi MgO dapat menyebabkan ekspansi semen dan menimbulkan cracking.

6. Alkali (Na_2O , K_2O)

Oksida alkali dalam semen harus diperhatikan apabila dalam pembuatan beton menggunakan agregat yang relative terhadap alkali, sebab hal tersebut akan menimbulkan reaksi yang membentuk alkali silica gel yang dapat menyebabkan ekspansi yang menimbulkan cracking.