

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Menurut (Sukirman S 1992), Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk menahan beban lalu lintas. Agregat yang dipakai adalah batu pecah atau batu belah atau batu kali ataupun bahan lainnya. Pada umumnya, perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas, sebagai berikut :

1. Lapisan Tanah Dasar (*Sub Grade*)
2. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)
3. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)
4. Lapisan Permukaan atau Penutup (*Surface Course*)

2.1.1 Lapisan Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut Spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan dari atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR). Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar.

Pada umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

1. Perubahan bentuk tetap (*Deformasi Permanen*) akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan akibat kesalahan atau pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.

2.1.2 Lapisan Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak diatas lapisan tanah dasar dan dibawah lapis pondasi pondasi atas. Material yang digunakan untuk lapisan pondasi bawah umumnya harus nilai CBR minimum 20% dan Indeks Plastisitas (PI) $\leq$ 10% (SKBI 1987). Biasa di Indonesia lapisan ini memakai lapisan pasir dan batu (Sirtu) Kelas A, Kelas B dan Kelas C atau tanah/lempung kepasiran. Selain itu dapat pula digunakan stabilitas agregat atau tanah dengan semen atau kapur. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai berikut :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda tanah dasar.
2. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
3. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
4. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan.
5. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari pengaruh cuaca terutama hujan.

2.1.3 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah. Lapisan pondasi atas berfungsi sebagai berikut :

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
2. Bantalan terhadap lapisan permukaan.
3. Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda.

Dalam penentuan bahan lapis pondasi atas jalan ada beberapa syarat, berikut syarat-syarat untuk material lapis pondasi atas jalan :

1. Mutu bahan harus sebaik mungkin dimana tidak mengandung kotoran lumpur, berisi tajam dan kaku.
2. Susunan gradasi harus merupakan susunan yang rapat, artinya butiran bantuan harus mempunyai susunan gradasi yang saling mengisi antara butiran agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus sehingga rongga semakin kecil.
3. Material yang digunakan untuk lapisan pondasi atas haruslah awet dan kuat dan mempunyai nilai $CRB > 50\%$ dan *Indeks Plastisitas* (IP) $> 4\%$ (SKBI 1987).

2.1.4 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan adalah yang bersenthan langsung dengan beban roda kendaraan dan meneruskan beban kendaraan ke lapisan bawahnya. Lapisan permukaan jalan ini berfungsi sebagai berikut :

1. Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.
2. Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan.
3. Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
4. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul

oleh lapisan di bawahnya.

Bahan - bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan-bahan untuk lapis pondasi bawah, hanya susunan butir-butirannya (*Gradasi*) disyaratkan lebih berat serta penambahan bahan aspal agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan permukaan akan juga dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta penahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

2.2. Lapisan Pondasi Agregat Semen CTB (*Cement Treated Base*)

1. Lapisan pondasi Agregat Semen (*Cement Trated Base*)

CTB (*Cement Treated Base*) adalah campuran semen, air, serta agregat halus dan kasar yang melalui proses gradasi laboratorium. Bahan-bahan tersebut dicampur dengan alat khusus yang dapat menghasilkan campuran beton setengah basah dengan kadar air minimum.

Penggunaan CTB biasa pada konstruksi perkerasan jalan sebagai lapisan konstruksi pondasi bawah (*Sub Base*) atau pondasi atas (*Base Course*). (Departemen Pekerjaan Umum 2010 : DIVISI 5 – Perkerasan Berbutir dan Beton Semen).

Kelebihan dari penggunaan konstruksi CTB adalah sebagai berikut ini :

1. Lapisan konstruksi CTB tidak peka terhadap air, sifat ini sangat membantu untuk konstruksi dimana muka air tanhanya tinggi dan kondisi curah hujan yang tinggi.
 2. Nilai CBR yang dihasilkan > 100% (lebih tinggi dari agregat biasa), sehingga dapat mengurangi tebal rencana perkerasan.
 3. Masa pelaksanaan yang relatif cepat.
 4. CTB hanya membutuhkan masa *Curing* 3 hari untuk dilalui kendaraan.
 5. CTB tidak membutuhkan bekisting atau cetakan dan tulangan.
 6. CTB dapat mengakomodasi penurunan setempat.
- ### **2. Toleransi Ketebalan Lapis Pondasi Agregat**
- Tebal minimum lapis pondasi agregat sebagai berikut :
1. Tebal minimum lapis pondasi agregat kelas A tidak boleh kurang 1cm dari tebal yang disyaratkan yaitu setebal 20 cm.
 2. Tebal minimum lapis pondasi agregat kelas B tidak boleh kurang 1cm dari tebal yang disyaratkan yaitu setebal 30cm.
 3. Tebal minimum lapis pondasi agregat kelas C tidak boleh kurang dari 1cm

dari tebal yang disyaratkan.

Pekerjaan ini mencakup penyediaan material, pencampuran, pengangkutan, panghamparan, pemadatan, pembentukan permukaan (*Shaping*), perawatan (*Curing*), dan kegiatan insidentil yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan lapis pondasi agregat semen, harus sesuai dengan spesifikasi. Secara umum material agregatnya harus terdiri dari batu pecah harus kuat, keras, mudah dipadatkan, tahan terhadap gaya geser serta bebas dari material lunak, retak dan berongga.

2.3. Spesifikasi Bahan Lapis Pondasi Agregat Semen

1. Kelas Lapis Pondasi Agregat :

Terdapat tiga kelas yang berbeda dari lapis pondasi agregat yaitu kelas A, kelas B dan kelas C. Lapis pondasi atas harus terdiri dari agregat kelas A atau kelas B, sedangkan lapis pondasi bawah harus terdiri dari agregat kelas C.

2. Fraksi Agregat Kasar :

Agregat kasar (tertahan pada ayakan 4,75 mm) harus terdiri dari partikel yang keras dan awet. Agregat kasar kelas A yang berasal dari batu kali harus 100 % mempunyai paling sedikit dua bidang pecah. Agregat kasar kelas B yang berasal dari batu kali harus 65 % mempunyai paling sedikit satu bidang pecah sedangkan agregat kasar kelas C berasal dari kerikil.

3. Fraksi Agregat Halus :

Agregat halus (lolos ayakan 4,75 mm) harus terdiri dari partikel pasir atau batu pecah halus.

4. Penyimpanan Agregat :

Agregat harus disimpan sedemikian untuk menjaga mutu yang dipersyaratkan dan siap untuk dipakai. Agregat harus ditumpuk pada dasar yang keras. permukaan yang bersih. Bila dianggap perlu harus ditempatkan sedemikian hingga memudahkan pemeriksaan setiap waktu. Tempat Penumpukan harus ditinggikan dan miring kearah samping untuk membentuk drainase yang layak terhadap kelembaban yang berlebihan. Agregat harus disimpan dengan cara sedemikian untuk mencegah segregasi dan untuk memelihara gradasi dan kadar air. Kondisi agregat terhadap kadar air, gradasi dan lain-lain harus dijaga supaya tetap atau konstan selama penyimpanan dan selama dibawa ke tempat pencampuran.

2.3.1 Agregat Kasar / Kerikil

Menurut (SNI, 03-2847-2002), Agregat Kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Fraksi agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 4 atau 4,75 mm. Fungsi agregat kasar adalah untuk memberikan kekuatan campuran karena permukaannya yang kasar, tidak bulat atau mempunyai bidang pecah, dapat menjadi pengunci yang baik dengan material yang lain. Agregat kasar terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah.

A. Pemeriksaan MHB (Modulus Halus Butir) kerikil :

1. Tujuan :

Untuk mengetahui nilai kehalusan atau kekasaran butiran kerikil.

2. Benda Uji :

Benda uji yang digunakan adalah pasir dengan berat minimum 2000 gr.

3. Alat :

a. Satu set ayakan 38.1 mm, 25 mm, 19 mm, 9.5 mm, 6.3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm dan sisa.

b. Alat gerak ayakan

c. Timbangan.

d. Kuas pembersih ayakan.

e. Cawan.

4. Pelaksanaan :

a. Ambil pasir dengan berat 2000 gr.

b. Masukkan kerikil ke dalam set ayakan.

c. Kemudian ayak dan timbanglah pasir yang tertinggal dari masing-masing tingkat ayakan.

5. Perhitungan modulus halus butir kerikil :

$$FM = \frac{\sum kum (\%)}{100} \text{ (PUBI-1982) } \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

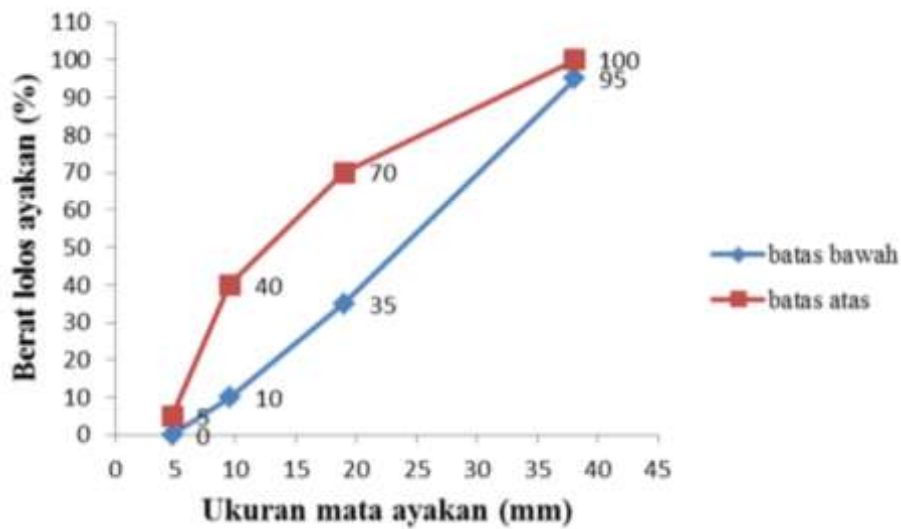
FM = Modulus kehalusan butir agregat .

Σ Kom (%) = jumlah persen komulatif yang tertahan di atas ayakan.

Tabel 2.1 : Spesifikasi Agregat Kasar (Kerikil Atau Koral)

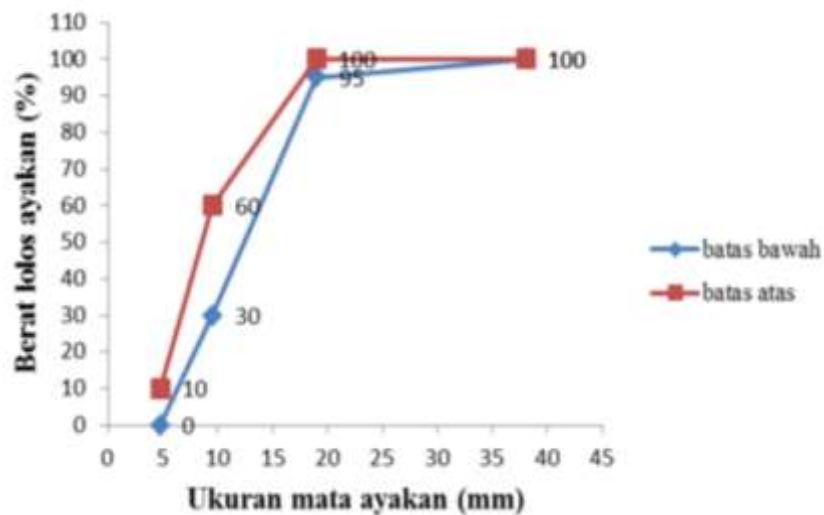
Ukuran Mata Ayakan (mm)	Persentase Berat Bagian Yang Lewat Ayakan Ukuran Nominal Agregat (mm)		
	40 mm	20 (mm)	10 (mm)
-	40 mm	20 (mm)	10 (mm)
38.1	95 - 100	100	-
19.0	37 - 70	95 - 100	100
9.52	10 = 40	30 = 60	50 - 85
4.75	0 - 5	0 - 10	0 - 10

(Sumber : PUBI-1982)



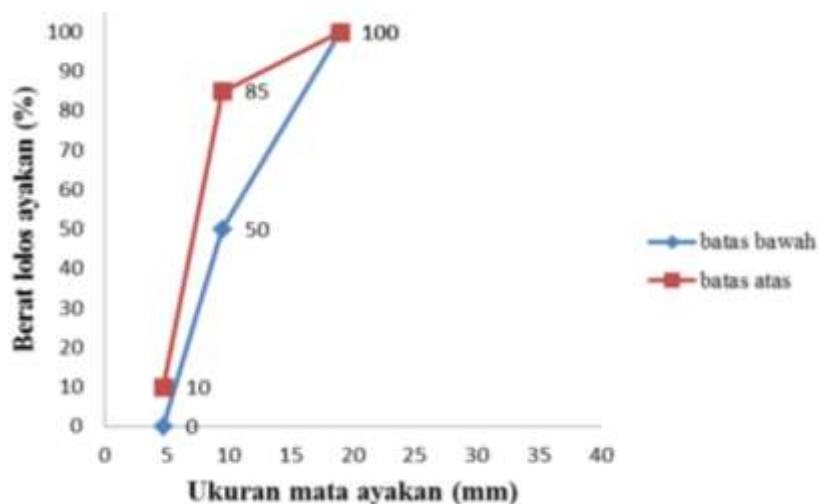
Gambar 2.1 : Grafik Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 40 mm

(Sumber : PUBI-1982)



Gambar 2.2 : Grafik Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 20 mm

(Sumber : PUBI-1982)



Gambar 2.3 : Grafik Batas Gradasi Kerikil Ukuran Maksimum 10 mm

(Sumber : PUBI – 1982)

B. Pemeriksaan Berat Jenis kerikil

Perbandingan antara berat dan volume pasir tidak termasuk pori-pori antara butirannya disebut berat jenis. Pemeriksaan berat jenis dan SSD (*Saturated Surface Dry*) krikil merupakan hal yang penting untuk mengetahui kerikil tersebut telah memenuhi syarat atau belum untuk bahan campuran adukan beton (PUBI-1982).

1) Tujuan :

Untuk mengetahui cara memeriksa berat jenis maupun SSD Kerikil.

2) Benda Uji :

Benda uji berupa Kerikil.

3) Alat :

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Bejana 5 liter untuk pengujian kerikil.
- Tungku pengering (oven).
- Loyang.

4) Pelaksanaan dalam pemeriksaan benda uji :

Berikut tahapan pemeriksaan berat jenis kerikil yaitu :

- Bejana diisi air sampai line akhir.
- Ditimbang, kemudian air dikeluarkan.
- Sediakan kerikil sekitar 4 kg
- Masukkan kerikil SSD ke dalam bejana.
- Setelah itu dimasukkan air sampai line akhir.
- Digoyang-goyang sampai udara nampak keluar.

- g. Diberi air sampai line akhir.
 - h. Air dikeluarkan dari bejana.
 - i. Kerikil dikeluarkan dari bejana dan dikeringkan selama 36 jam.
- 5) Perhitungan berat jenis kerikil :
- a. Berat jenis kerikil kering tunggu = $\frac{D}{(C+B)-A}$ (gr/cm^3).....(2.2)
 - b. Berat jenis kerikil SSD = $\frac{B}{(C+B)-A}$ (gr/cm^3).....(2.3)
- Keterangan :
- A = Berat kerikil + Bejana + air (gram)
 - B = Berat kerikil SSD (gram)
 - C = Berat bejana + air (gram)
 - D = Berat kerikil kering tungku (gram)

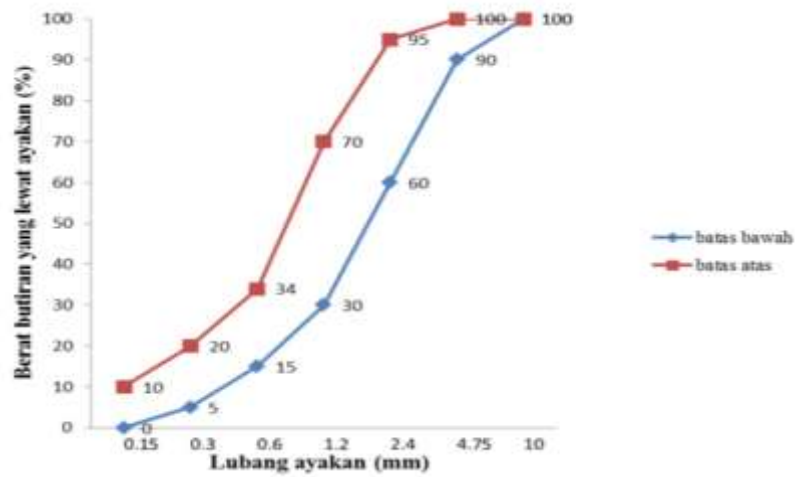
2.3.2 Agregat Halus / Pasir

Agregat halus adalah pasir yang didapat dari pelapukan batuan secara alami atau pasir yang dihasilkan dari pemecahan batu yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,75 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antara agregat kasar. Pasir yang digunakan dalam bahan bangunan kandungan lumpur didalamnya tidak boleh lebih dari 5%. Untuk MHB pasir halus adalah :

Tabel 2. 2 : Spesifikasi Gradasi Pasir

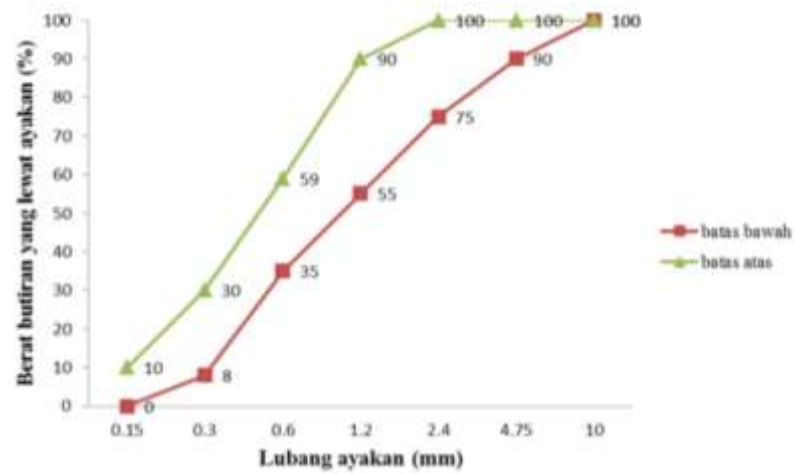
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Yang Lewat Ayakan			
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
	Pasir Kasar	Pasir Agak Kasar	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
10	100	100	100	100
4.75	90 – 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2.4	60 – 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1.2	30 – 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0.6	15 – 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0.3	5 – 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0.15	0 – 10	0 - 10	0 - 10	1 - 15

(Sumber : PUBLI-1982)



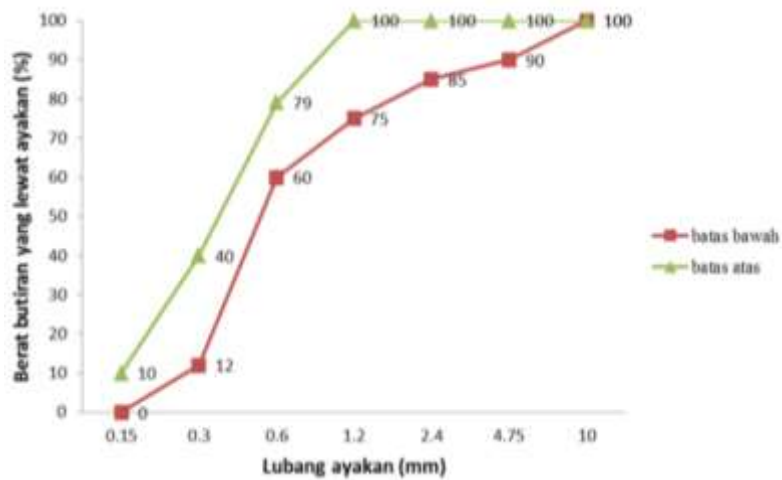
Gambar 2.4 : Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Kasar

(Sumber : PUBI-1982)



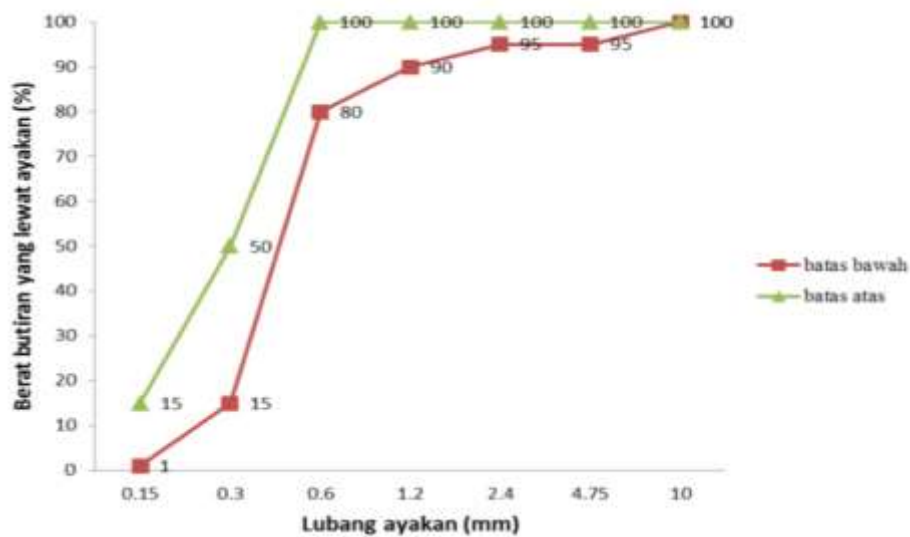
Gambar 2.5 : Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Agak Kasar

(Sumber : PUBI-1982)



Gambar 2.6 : Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Agak Halus

(Sumber : PUBI-1982)



Gambar 2.7 : Grafik Batas Gradasi Butir Pasir Halus

(Sumber : PUBI-1982)

A. Pemeriksaan MHB pasir

Perhitungan modulus halus butir agregat menggunakan rumus :

$$FM = \frac{\sum kum (\%)}{100} \text{ (PUBI-1982) } \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

FM = Modulus kehalusan butir agregat

$\Sigma Kum (\%)$ = Jumlah persen komulatif yang tertahan di atas ayakan.

B. Pemeriksaan Kandungan Lumpur Dalam Pasir :

1) Cara volume endapan ekivalen :

a) Tujuan :

Pemeriksaan pasir dengan cara volume endapan ekivalen bertujuan untuk mengetahui besarnya kadar lumpur dalam pasir tersebut.

b) Benda Uji :

1. Pasir sebanyak 450 cc.
2. Air (sesuai dengan kebutuhan).

c) Alat :

Gelas ukur tak berwarna (transparan) dengan tutup, dengan ukuran 1000 cc.

d) Pelaksanaan :

1. Gelas ukur diisi dengan pasir yang telah disediakan sampai 450 cc kemudian ditambah dengan air sampai 900 cc.
2. Tutup gelas ukur sampai rapat kemudian dikocok-kocok.

3. Diamkan selama kurang lebih 1 jam.
 4. Catat endapan lumpur yang berada di atas pasir (berapa cc ketebalannya).
- 2) Cara Ayakan N. 200 :
- a. Tujuan :
Pemeriksaan pasir dengan cara ayakan No. 200 bertujuan untuk mengetahui besarnya kadar lumpur (tanah liat) dalam pasir tersebut.
 - b. Benda Uji
Pasir lolos ayakan 4.8 mm seberat 500 gr.
 - c. Alat :
 1. Ayakan No. 200.
 2. Ayakan 4.8 mm.
 3. Nampan pencuci
 4. Tungku pengering (*oven*).
 5. Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat pasir contoh.
 - d. Pelaksanaan :
 1. Ambil pasir kering tungku yang lewat ayakan 4.8 mm seberat 500 gr (B1).
 2. Masukkan pasir tersebut ke dalam nampan pencuci dan tambahkan air secukupnya sampai semuanya terendam.
 3. Goncang-goncangkan nampan, kemudian tuangkan air cucian ke dalam ayakan No. 200 (butir - butir besar dijaga jangan sampai masuk ke ayakan supaya tidak merusak ayakan)
 4. Ulangi langkah sampai cucian tampak bersih.
 5. Masukkan kembali butir-butir pasir yang tersisa di ayakan No. 200 ke dalam napan, kemudian masukan ke dalam tungku untuk dikeringkan kembali.
 6. Timbang kembali setelah kering tungku (B2).
 - e. Perhitungan kadar lumpur :

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times (100\%) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

B1 = Berat pasir semula (kering tungku).

B2 = Berat pasir setelah dicuci (kering tungku).

C. Pemeriksaan Berat Jenis pasir :

1) Tujuan :

Untuk mengetahui cara memeriksa berat jenis maupun SSD pasir.

2) Benda Uji :

Benda uji berupa pasir.

3) Alat :

- a. Tabung ukur volumetric flush 1000 ml untuk pengujian pasir
- b. Bejana 5 liter untuk pengujian kerikil
- c. Tungku pengering (oven)
- d. Loyang

4) Pelaksanaan

- a. Tabung ukur diisi air sampai line akhir.
- b. Ditimbang, kemudian air dikeluarkan.
- c. Sediakan pasir SSD sebanyak 500 gr.
- d. Masukkan pasir SSD ke dalam tabung ukur dan jangan sampai tumpah.
- e. Setelah itu dimasukkan air sampai line akhir.
- f. Digoyang-goyang sampai udara nampak keluar.
- g. Diberi air sampai line akhir.
- h. Air dikeluarkan dari tabung ukur.
- i. Pasir dikeluarkan dari tabung ukur dan dikeringkan selama 36 jam.

5) Perhitungan berat jenis pasir :

a. Berat jenis pasir kering tungku = $\frac{D}{(C+B)-A}$ (gr/cm^3).....(2.6)

b. Berat jenis pasir SSD = $\frac{B}{(C+B)-A}$ (gr/cm^3).....(2.7)

Keterangan :

A = Berat pasir + tabung ukur + air (gram)

B = Berat pasir SSD (gram)

C = Berat tabung ukur + air (gram)

D = Berat pasir kering tungku gram)

2.3.3 Semen

Sesuai dengan persyaratan SNI, 15-2049-2004 (semen *portland*) tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis - jenis lain. Semen portland merupakan semen hidrolis artinya bahan pengikat ini akan mengeras jika bereaksi dengan air. Furigsi

utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Secara umum semen merupakan material perekat untuk kerikil (agregat kasar), pasir, batubata, dan material sejenis lainnya. Bahan baku utama semen adalah bahan-bahan yang mengandung kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3).

Menurut (Mulyono, 2003), semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirannya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen *portland* adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO_2) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7%-12%. Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

1. Sifat fisika Semen *Portland*

Sifat fisik semen *portland* meliputi kehalusan butiran (*fineness*). Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Semakin halus butiran semen, proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan awal akhir akan berkurang. Kehalusan butiran semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding*. Selain itu sifat fisik semen yaitu kepadatan (*density*). Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 Mg/m³.

2. Sifat Kimia Semen *Portland*

Secara garis besar ada 4 senyawa kimia utama yang menyusun semen portland

- a. Trikalsium Silika ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A .
- d. Tetrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

2.3.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang diperlukan untuk bereaksi kimia dengan semen yang memungkinkan untuk terjadinya pengikatan dan pengerasan dan menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan (Kardiyono, 1996). Reaksi air dan semen akan menghasilkan pasta semen yang berfungsi sebagai pengikat antar agregat.

Perbandingan air dan semen dalam pembuatan beton sangat penting, karena akan berpengaruh pada kekuatan beton yang dihasilkan dan kemudahan dalam pengerjaannya. Bila beton terlalu banyak mengandung air akan menyebabkan timbulnya gelembung setelah proses hidrasi selesai, bila beton kekurangan air akan menyebabkan

proses pengerjaan beton sulit dan beton akan menjadi porous setelah mengeras sehingga kekuatannya akan turun.

2.4. Pengujian Laboratorium Terhadap Agregat

2.4.1 Analisis Saringan Agregat Kasar Dan Halus (Gradasi)

Menurut (Sukirman S 2003), gradasi adalah susunan butiran agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, dan No. 200. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1inci panjang. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentasi butiran baik agregat halus maupun agregat kasar.

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Jumlah persentase butiran baik agregat kasar maupun agregat halus merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan, karena gradasi agregat tersebut mempengaruhi besarnya rongga antara butiran yang menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1set saringan dimana saringan yang paling besar diletakkan di atas dan yang paling halus diletakkan dipaling bawah.

Tabel 2.3 : Ukuran Bukaan Saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4"	100	$\frac{3}{8}$ "	9.500
$3\frac{1}{2}$ "	90.00	No. 4	4.750
3"	75.00	No. 8	2.350
$2\frac{1}{2}$ "	63.00	No. 16	1.180
2"	50.00	No. 30	0.600
$1\frac{1}{2}$ "	37.50	No. 50	0.300
1"	25.00	No. 100	0.150
$\frac{3}{4}$ "	19.00	No. 200	0.075
$\frac{1}{2}$ "	12.50		

(Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010)

2.4.2 Jenis Gradasi Agregat

Distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat. Gradasi agregat dapat dikelompokkan ke

dalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

1. Gradasi baik, adalah campuran agregat dengan ukuran butiran yang terdistribusi merata dalam rentang ukuran butiran. Agregat bergradasi baik disebut pula agregat bergradasi rapat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada. Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas :

- a. Agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominasi agregat berukuran agregat kasar.
- b. Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus. tetapi dominasi agregat berukuran agregat halus.

Agregat bergradasi baik atau buruk dapat diperiksa dengan menggunakan rumus Fuller ^(MS22) :

$$P = 100 \times (d/D)^{0.45} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan saringan d mm.

d = Ukuran agregat yang sedang diperiksa, (mm).

D = Ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran, (mm).

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan beret volume besar. Sedangkan untuk gradasi agregat gabungan perhitungannya dapat dijabarkan metode analitis seperti di bawah ini :

Rumus dasar untuk pencampuran 2 fraksi agregat adalah :

$$a = \frac{P-B}{A-B} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$a = \frac{P-A}{B-A} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

a = Proporsi dari batu pecah

b = Proporsi dari kali (pasir)

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

A = Persen lolos saringan batu pecah untuk bukaan d mm

B = Persen lolos saringan sirtu untuk bukaan d mm

2. Gradasi buruk, adalah distribusi ukuran agregat yang tidak memenuhi persyaratan agregat bergradasi baik.

Agregat bergradasi buruk dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antara butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.
- b. Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.
- c. Agregat bergradasi senjang, agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

2.4.3 Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

Berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dibedakan menjadi :

1. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*), ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

Berat Jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) :

$$= \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (2.11)$$

2. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD), yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD) :

$$= \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (2.12)$$

3. Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*), ialah perbandingan antara berat agregat kering dan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.

Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*) :

$$= \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots \dots \dots (2.13)$$

4. Penyerapan adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Dinyatakan dalam persen. Penyerapan :

$$= \frac{B_j}{B_k - B_a} \times 100\% \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

2.4.4 Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus

Berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dibedakan menjadi :

1. Berat Jenis Kering (*Bulk*) :

$$= \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \dots \dots \dots (2.15)$$

2. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface Dry*) :

$$= \frac{500}{B + 500 - B_t} \dots \dots \dots (2.16)$$

3. Berat Jenis Semu (*Apparent*) :

$$= \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \dots \dots \dots (2.17)$$

4. Penyerapan :

$$= \frac{500 - B_k}{B_k} \times 100\% \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.4.5 Berat Isi Agregat

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan berat isi agregat halus, kasar, dan campuran. Berat isi adalah perbandingan berat dan isi. Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010.

$$\begin{aligned} \text{Berat isi agregat} &= \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ kg/cm}^3 \\ &= \frac{W_3}{V} \text{ kg/cm}^3 \dots \dots \dots (2.19) \end{aligned}$$

Keterangan :

W₁ = Berat wadah (gram)

W₂ = Berat wadah + benda uji (gram)

W₃ = Berat benda uji (gram)

V = Isi wadah (cm³)

2.4.6 Ketahanan Agregat Terhadap Mesin Los Angeles (Abrasi)

Ketahanan Agregat Terhadap Mesin Los Angeles (Abrasi) adalah untuk menentukan daya tahan agregat kasar terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi los angeles, sesuai dengan (SNI, 03-2417-2008). Gaya mekanis pada pemeriksa dengan alat abrasi Los Angeles diperoleh dari bola baja yang dimasukkan bersama dengan agregat yang diuji, (Sukirman, 2003).

Rumus - rumus yang digunakan dalam pengujian ketahanan agregat terhadap mesin Los Angeles (Abrasi) sebagai berikut ini.

1. Pemeriksaan keausan dengan mesin abrasi los Angeles.

$$\text{Keausan} = \frac{(a-b)}{a} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

a = Berat benda uji

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram).

2.5. Agregat Gabungan

Agregat gabungan adalah gabungan antara beberapa fraksi agregat dengan presentase tertentu untuk mendapatkan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi. Agregat gabungan untuk campuran aspal ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas - batas dan harus berada diluar daerah larangan (*Restriction Zone*) yang diberikan dalam tabel Gradasi Agregat Gabungan. Untuk memperoleh gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi agregat, maka kombinasi agregat dapat ditentukan dari dua atau lebih fraksi agregat, yang penggabungannya dapat dilakukan dengan cara analitis atau grafis. Dalam penelitian ini digunakan metode analitis.

Menurut (Sukirman, 2003), Agregat campuran adalah agregat yang diperoleh dalam mencampur secara proporsional fraksi agregat A, fraksi agregat B, dan fraksi agregat C. proporsi dari masing-masing fraksi agregat dirancang secara proporsional sehingga diperoleh gradasi agregat yang diinginkan. Agregat campuran adalah hasil pencampuran dari a% fraksi agregat kasar b% fraksi agregat halus dan c% abu batu dengan $a + b + c = 100\%$.

Agregat campuran memiliki gradasi baru yang tidak sama dengan gradasi masing-masing fraksi pembentuk campuran, tetapi gradasi yang memenuhi spesifikasi gradasi agregat yang direncanakan. Metode merancang proporsi campuran untuk mendapatkan nilai a, b, c dari masing fraksi yang dicampur terdiri dari metode analitis dan metode grafik. Pelaksanaan pekerjaan di lapangan mempergunakan alat-alat berat, dan agregat

yang digunakan pun dalam jumlah besar. Hal ini mengakibatkan tak pernah diperoleh suatu lengkung gradasi agregat campuran selama pelaksanaan. Berdasarkan hal ini, agregat campuran setiap jenis perkerasan mempunyai gradasi agregat yang terletak dalam satu rentang nilai. Batasan ini biasanya dinamakan batasan gradasi agregat, atau disebut juga spesifikasi gradasi agregat campuran, (Sukirman, 2003).

Rancangan agregat campuran dengan metode analitis dapat ditunjukkan dalam rumus dasar dari proses pencampuran dua, tiga atau lebih fraksi agregat dibawah ini :

$$P = aA + bB + cC \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm yang diinginkan, diperoleh dari spesifikasi campuran

A = Persen lolos saringan fraksi agregat A untuk bukaan d mm.

B = Persen lolos saringan fraksi agregat B untuk bukaan d mm.

C = Persen lolos saringan fraksi agregat C untuk bukaan d mm.

a = Proporsi dari fraksi agregat A.

b = Proporsi dari fraksi agregat B.

c = Proporsi dari fraksi agregat C.

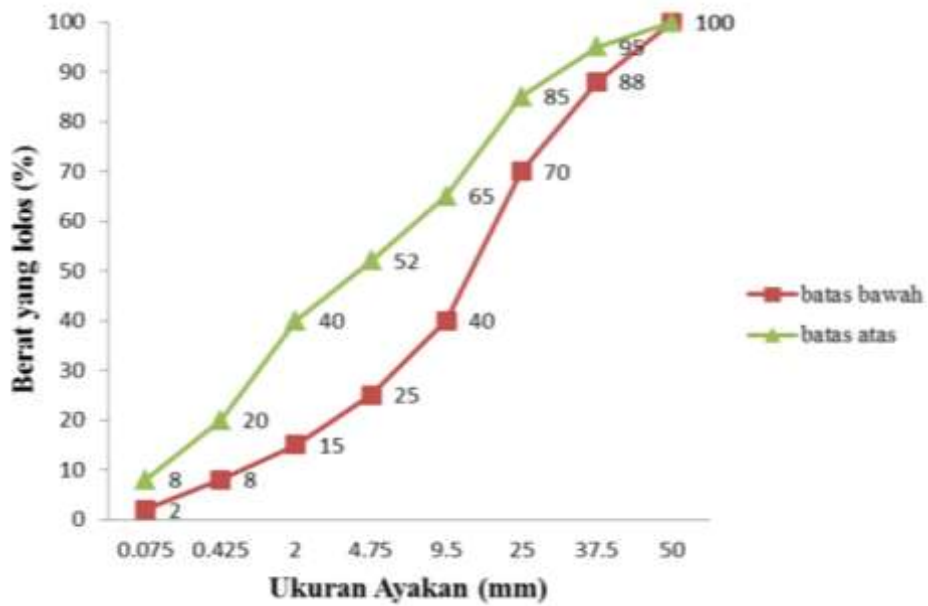
$$(a + b + c) = 1 \text{ atau } 100\%$$

Nilai a , b , c diperoleh dengan *Trial and error*, karena perhitungan P yang dilakukan untuk satu ukuran saringan belum tentu secara keseluruhan dapat menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran. Proporsi yang terbaik adalah proporsi yang dapat menghasilkan agregat campuran bergradasi mendekati gradasi tengah rentang spesifikasi, (Sukirman, 2003).

Tabel 2.4 : Gradasi Lapis Pondasi Agregat

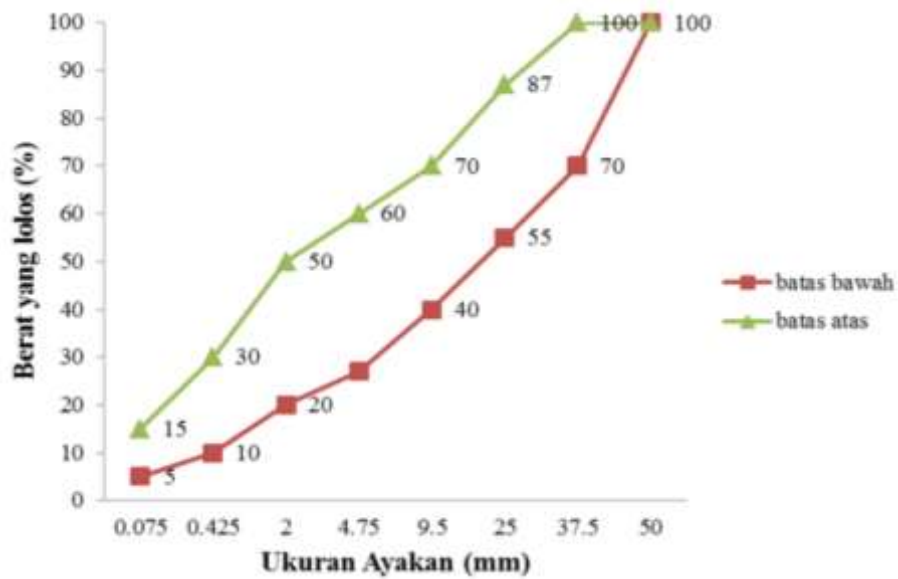
Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos % Lolos		
No. Saringan	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas C
2"	50	-	100	100
1/2"	37.5	100	88 – 95	70 - 100
1"	25	77 - 85	70 – 85	55 - 87
3/8"	9.5	44 - 58	40 – 65	40 - 70
No. 4	4.75	27 - 44	25 – 52	27 - 60
No. 10	2	17 - 30	15 – 40	20 - 50
No. 40	0.425	7 - 17	8 – 20	10 - 30
No. 200	0.075	2 - 8	2 – 8	5 - 15

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum 2010:DIVISI 5 Perkerasan Berbutir Dan Beton semen)



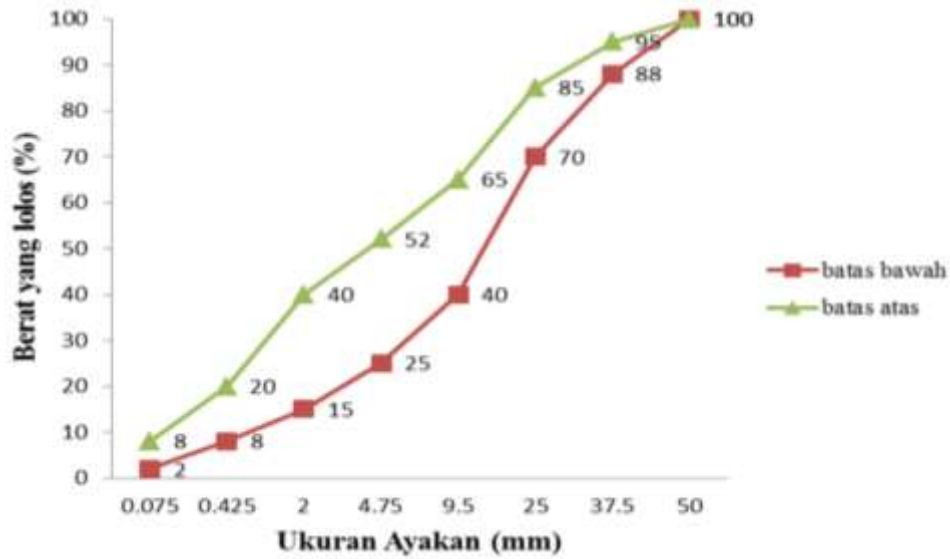
Gambar 2.8 : Grafik Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum 2010 : DIVISI 5 Perkerasan Berbutir Dan Beton Semen).



Gambar 2.9 : Grafik Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum 2010 : DIVISI 5 Perkerasan Berbutir Dan Beton Semen).



Gambar 2.10 : Grafik Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas C

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum 2010 : DIVISI 5 Perkerasan Berbutir Dan Beton Semen).

2.6. Karakteristik Lapis Pondasi Campuran Agregat Semen

Penentuan kepadatan laboratorium menggunakan SNI,1743-2008 dengan menggunakan bahan pengganti untuk ukuran agregat tertahan ayakan di atas 19 mm (3/4"). Selanjutnya banyaknya agregat, air dan semen untuk pengujian kuat tekan didasarkan pada hasil pengujian kadar air optimum dan berat kering maksimum dari campuran agregat semen.

Kekuatan campuran didasarkan atas kuat tekan benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur 7 hari. Benda uji silinder menggunakan bahan yang disiapkan sesuai SNI-1743-2008 dipadatkan dalam 5 lapis, masing-masing lapisan ditumbuk sebanyak 156 tumbukan dengan berat alat penumbuk 4,5 kg dan tinggi jatuh 45 cm. Selanjutnya uji kuat tekan benda uji silinder sesuai dengan ketentuan, (SNI, 1974-2011).

Catatan : pemadatan sebanyak 145 tumpukan masing-masing lapisan berdasarkan perhitungan perbandingan antara volume silinder (diameter 15cm dan tinggi 30cm) dengan volume tabung alat pemadatan (*proctor* diameter 152mm dan tinggi 116mm) dikalikan 56 tumbukan.

Perkiraan penggunaan kadar semen untuk lapis pondasi agregat semen kelas A (CTB) adalah 3% - 5% dan lapis pondasi agregat kelas B (CTSB) adalah 4% - 6%.

Selama proses penghamparan lapis pondasi agregat semen, percobaan silinder minimum 4 benda uji harus dilakukan.

Persyaratan kuat tekan (*Unconfine Compressive Strength*) dari lapis pondasi agregat semen kelas A (CTB) dan kelas B (CTSB) dalam umur 7 hari masing-masing 45 – 55 kg/cm² dan 35 45 kg/cm². (DPU 2010).

2.6.1 Daya Tahan Agregat (Keausan)

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi, akibat pecahnya butir-butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas, dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan dan perubahan suhu sepanjang hari. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat, dan besarnya energi yang dialami oleh agregat tersebut.

Di laboratorium daya tahan agregat terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi Los Angeles, yang mempunyai batasan sesuai dengan SNI, 03-2417-1991 atau AASHTO, T-96-87, antara lain :

- a. Agregat keras nilai abrasi > 20%.
- b. Agregat lunak > 50%.

Sedangkan di dalam pelaksanaan konstruksi dibatasi oleh :

- a. *Sub Mse course* (lapisan pondasi bawah), abrasi < 50%.
- b. *Base course* (lapisan pondasi atas), abrasi < 40%.
- c. *Surface cause* (lapisan permukaan), konstruksi beton aspal < 40%, asbuton campuran panas dan dingin < 40%, *surface dressing (treatment)* < 30% .

Sedangkan untuk abrasi > 50% dapat digunakan untuk *improved sub grade*.

Daya tahan terhadap proses kimiawi diperiksa dengan pengujian *soundness* atau dinamakan juga pengujian sifat kekekalan bentuk batu terhadap larutan natrium sulfat (Na_2SO_4) atau magnesium sulfat ($MgSO_4$) sesuai dengan SN1,03-3407-1994 atau AASHTO, T-104-86. Keausan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :

$$Keausan = \frac{a-b}{a} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

- a = Berat benda uji semula (gram)
- b = Berat benda uji tetahan saringan No.12 (gram).

2.6.2 Kebersihan Agregat (*Cleanliness*)

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya buti-butir halus yang lolos saringan No. 200, seperti adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumbuh - tumbuhan pada campuran agregat. Agregat yang banyak mengandung material yang lolos saringan No. 200, jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus partikel agregat yang lebih kasar, sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat, yaitu aspal akan berkurang, dan barakibat mudah lepasnya ikatan antara aspal dan agregat.

2.6.3 Bentuk dan Tekstur Agregat

Berdasarkan bentuknya, partikel atau butir agregat dikelompokkan menjadi :

1. Agregat berbentuk bulat (*rounded*), agregat yang ditemui di sungai umumnya telah mengalami erosi, sehingga berbentuk bulat dan licin. Bidang kontak antara agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik singgung, sehingga menghasilkan penguncian antara agregat yang tidak baik, dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.
2. Agregat berbentuk kubus (*cubical*), pada umumnya merupakan agregat pecahan batu massif, atau hasil pecahan mesin pemecah batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi. Agregat ini merupakan agregat yang terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan.
3. Agregat berbentuk lonjong (*elongated*), dapat ditemui di sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya lebih besar dari 1,8 kali diameter rata-rata. indeks kelongongan (*elongated index*) adalah persentase berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat campuran agregat berbentuk lonjong ini hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.
4. Agregat berbentuk pipih (*flaky*), dapat merupakan hasil produksi dari mesin pemecah batu, dan biasanya agregat ini memang cenderung pecah dengan bentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 diameter rata-rata. Indeks kepipihan (*flakiness index*) adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi berat total agregat yang tertahan slot pada ukuran nominal.
5. Agregat berbentuk tidak beraturan (*irregular*) adalah bentuk agregat yang tidak mengikuti salah satu bentuk di atas. Pada konstruksi perkerasan, bentuk-bentuk ini berpengaruh pada :

- a. Pekerjaan campuran.
- b. Merubah kemampuan pemadatan dalam mencapai kepadatan, mempengaruhi terhadap kekuatan perkerasan campuran beton.
- c. Pertimbangan dilapangan untuk *sub base course*, bentuk bulat masih dapat digunakan, untuk *base* bentuk bulat masih dapat dipakai sampai 40% dengan minimal punya satu bidang pecahan, untuk *surface course* harus 100% terdiri dari kubus.

2.6.4 Pemadatan

Pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori agregat dikeluarkan dengan salah satu cara mekanis (menggilas, memukul, mengolah, untuk membuat partikel agregat menjadi lebih berdekatan satu sama lain sehingga meningkatkan berat isi kering agregat tersebut. Dalam proses ini, kadang-kadang disertai pula dengan modifikasi kadar air dan gradasi agregat.

Agregat yang dipakai untuk pembuatan pondasi atas pada jalan, tanggul atau bendungan, agregatnya harus dipadatkan, hal ini dilakukan dengan tujuan :

- a. Peningkatan kuat geser agregat.
- b. Peningkatan berat isi agregat.
- c. Mengurangi kompresibilitas agregat.
- d. Mengurangi permeabilitas agregat.
- e. Mengurangi sifat kembang susut agregat (lempung).
- f. Peningkatan potensi pengembangan agregat (*swelling potential*). Hal ini dapat berakibat buruk bila pemadatan dilakukan pada agregat yang memang berpotensi untuk mengembang. dan disertai drainase yang buruk.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan pemadatan adalah sebagai berikut :

1. Kadar Air Agregat.

Bila kadar air agregat rendah, agregat tersebut sukar dipadatkan, jika kadar air dinaikkan dengan menambah air, air tersebut seolah-olah sebagai pelumas antara butiran tanah sehingga mudah dipadatkan tetapi bila kadar air terlalu tinggi kepadatannya akan menurun. Pemadatan menggunakan variasi kadar air secara bertahap menyebabkan berat dari bahan padat persatuan volume juga meningkat secara bertahap, sampai adanya penambahan kadar air tertentu yang akan dapat menurunkan berat volume dari agregat tersebut. Hal ini disebabkan karena air lebih banyak menempati ruang pori - pori agregat.

Besarnya kepadatan dapat diukur atau dinyatakan dalam satuan berat kering (*dry density*), yaitu berat butiran agregat persatuan volume.

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kepadatan :

- a. Kelembaban (kadar air agregat dan semen selama proses pemadatan).

Kadar air yang digunakan diukur berdasarkan berat air dan berat material kering yang dijabarkan dengan rumus :

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Material Kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

- b. Jenis agregat.

Cara dan besarnya usaha pemadatan diukur berdasarkan berat volume kering material (∂_{dry}) ditentukan oleh berat volume basah (∂_{wet}) dan kadar air. Berat volume basah didapat dari perbandingan antara berat material dan volume *mold*. Secara matematis ditulis :

$$\text{Berat volume basa} = \frac{\text{Berat material}}{\text{Volume mold}} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Berat volume kering} = \frac{\text{Berat isi basah}}{1 + (\text{kadar air}/100)} \dots\dots\dots(2.25)$$

- c. Berat jenis efektif (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (∂_s) dengan berat volume air (∂_w) pada temperature.

$$\text{Berat jenis efektif } G_s = \frac{\partial_s}{\partial_w} \dots\dots\dots(2.26)$$

Zero Air Void (ZAV) merupakan kurva yang menunjukkan hubungan berat isi kering dan kadar air dari agregat yang tidak mengandung rongga udara sama sekali.

$$\text{Zero Air Void} = \frac{\text{Berat Jenis Efektif}}{1 + ((\text{Berat jenis efektif} \times \text{Kadar air})/100)} \dots\dots\dots(2.27)$$

2. Tebal Lapisan yang Dipadatkan.

Untuk mendapatkan suatu kepadatan tertentu, makin tebal lapisan yang akan dipadatkan maka diperlukan alat pemadat yang makin berat. Untuk mencapai kepadatan tertentu maka pemadatan harus dilaksanakan lapis demi lapis bergantung dari jenis agregat dan alat pemadat yang dipakai, misalnya untuk tanah lempung tebal lapisan 15 cm, sedangkan pasir dapat mencapai 40 cm.

3. Alat Pemadat.

Pemilihan alat pemadat disesuaikan dengan kepadatan yang akan dicapai. Pada pelaksanaan dilapangan, tenaga pemadat tersebut diukur dalam jumlah lintasan alat pemadat dan berat alat pemadat itu sendiri. Alat pemadat maupun

agregat yang akan dipadatkan bermacam-macam jenisnya, untuk itu pemilihan alat pemadat harus disesuaikan dengan jenis agregat yang akan dipadatkan agar tujuan pemadatan dapat tercapai.

2.6.5 Hubungan Kadar Air dan Kepadatan

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran kering dari volume agregat yang diselidiki. Pada setiap usaha pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada kadar air. Pada dasarnya, makin basah agregat makin mudah dipadatkan. Karena air berfungsi sebagai pelumas agar butir-butir agregat mudah merapat, akan tetapi kadar air yang berlebihan akan mengurangi hasil pemadatan yang dapat dicapai, hal ini disebabkan karena air lebih banyak menempati ruang-ruang pori agregat. Pada pemadatan suatu agregat dengan tenaga pemadatan tertentu akan menghasilkan pemadatan terbesar.

Peningkatan kadar air secara bertahap akan menyebabkan berat dan bahan padat agregat persatuan volume juga meningkat secara bertahap sampai adanya penambahan kadar air tertentu yang akan dapat menurunkan berat volume kering dari agregat tersebut. Keadaan dimana kadar air memberikan berat volume kering maksimum disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*).

Untuk memperoleh kepadatan maksimum, diperlukan kadar air yang optimum. Untuk mengetahui kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum diadakan percobaan pemadatan di laboratorium, yang dikenal dengan :

1. Percobaan Pemadatan standar (*Standar Compaction Test*), sesuai dengan AASHTO, T-99-74 atau SNI, 03-1742-1989. Tujuannya untuk menentukan hubungan antara kadar air optimum dan berat isi kering yang akan diperoleh dari hasil-hasil percobaan yang akan dilakukan.
2. Percobaan Pemadatan Modifikasi (*Modified Compaction Test*), sesuai dengan AASHTO, T-180-74 atau SNI, 03-1743-1909. Alat-alat yang digunakan hampir sama dengan alat-alat pada percobaan pemadatan standar, hanya berat palu, tinggi palu, dan jumlah lapis tanah yang digunakan berbeda.

2.6.6 Tahapan Penentuan Kadar Semen Optimum

Prosedur rancangan campuran (*mix design*) dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Siapkan contoh - contoh dengan variasi kadar semen 8%, 9%, 10%, 11% 12%, dan 13% terhadap berat kering agregat.
2. Lakukan percobaan pemadatan berat (*Modified*) sesuai SNI, 03-1743-1989 pada setiap variasi kadar semen.

3. Tentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan dari masing-masing variasi campuran di atas dan gambar hasil dari pengujian dalam Grafik. Puncak dari setiap garis lengkung grafik dari kadar air dan kepadatan menyatakan Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maksimum untuk kadar semen yang digunakan.
4. Gambar nilai-nilai dari kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum untuk setiap macam kadar semen dalam Grafik dan hubungkan titik - titik pengujian dengan garis lengkung untuk mendapatkan variasi dari kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum dengan bermacam-macam kadar semen.
5. Dengan menggunakan paling sedikit empat macam kadar semen, buatlah serangkaian benda uji silinder seperti butir.
6. Di atas untuk diuji kekuatan tekannya, dimana benda uji ini dipadatkan pada kadar air optimum sebagaimana ditentukan dalam butir (4) di atas.
7. Setelah perawatan selama 7 hari dengan ditutup burlap basah, lakukan uji tekan sesuai dengan (SNI, 03-6429-2000), dan gambarkan hubungan antara kekuatan dengan kadar semen seperti yang ditunjukkan dalam Grafik.
8. Masukkan angka dari kadar semen campuran yang dipilih kedalam Grafik, dan tentukan angka kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum untuk campuran Lapis Pondasi Agregat Semen dari kadar semen yang dipilih.
9. Gunakan nilai-nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum ini untuk menentukan angka kepadatan maksimum.
10. Kadar air pelaksanaan maksimum sama dengan kadar air optimum ditambah 2%. Kepadatan lapangan yang diterima minimum 100% dari kepadatan maksimum.

2.7. Cara Uji Kepadatan Berat Untuk Tanah.

1. Ruang Lingkup
Cara uji dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah yang didapatkan didalam sebuah cetakan berukuran tertentu dengan penumbuk 4,5kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 457mm. Cara uji ini mencakup ketentuan-ketentuan mengenai peralatan, cara pengujian contoh uji, cara pengerjaan, perhitungan dan pelaporan (SNI, 1743-2008).
2. Peralatan
 1. Cetakan
Cetakan harus dari logam berdinding teguh dan dibuat sesuai dengan

ukuran dan kapasitas yang sesuai dibawah ini.

Cetakan harus dilengkapi dengan leher sambungan yang dibuat dari bahan yang sama dengan cetakan, dengan tinggi kurang lebih 60mm. Cetakan dan leher sambung harus dipasang kua-kuat pada keping alas yang dibuat dari bahan yang samadan dapat dilepaskan.

- a. Sebuah cetakan diameter 101,60 mm mempunyai kapasitas $943\text{cm}^3 \pm 8\text{cm}^3$ dengan diameter dalam $101,60\text{mm} \pm 0,41\text{mm}$ dan tinggi $116,43\text{mm} \pm 0,13\text{mm}$.
- b. Sebuah cetakan diameter 152,40mm mempunyai kapasitas $2142\text{cm}^3 \pm 21\text{cm}^3$ dengan diameter dalam $152,40\text{mm} \pm 0,66\text{mm}$ dan tinggi $116,43\text{mm} \pm 0,13\text{mm}$.
- c. Cetakan yang telah haus karena dipergunakan terus menerus, sehingga tidak memenuhi syarat toleransi pembuatan diatas, masih dapat dipergunakan apabila toleransi-toleransi yang dilampaui tidak lebih dari 50% dan volume cetakan dikalibrasi sesuai SNI 03-4804-1998, yang kemudian digunakan dalam perhitungan.

2. Alat Penumbuk.

- a. Alat penumbuk tangan.

Penumbuk dari logam dengan massa $4,536\text{kg} \pm 0,009\text{kg}$ dan mempunyai permukaan berbentuk bundar dan rata, diameter $50,80\text{mm} \pm 0,25\text{mm}$. Akibat pemakaian, diameter penumbuk tidak boleh kurang dari 50,42mm. Penumbuk harus dilengkapi dengan selubung yang dapat mengatur jauh bebas setinggi $457\text{mm} \pm 2\text{mm}$ di atas permukaan tanah yang akan dipadatkan. Selubung harus mempunyai paling sedikit 4 buah lubang udara berdiameter tidk kurang dari 9,50mm dengan poros tegak lurus satu sama yang lain berjaraka 19mm dari kedua ujung. Selubung harus cukup longgar sehingga batang penumbuk dapat jatuh bebas tidak terganggu.

- b. Alat Penumbuk Mekanis.

Alat penumbuk mekanis dari logam, dilengkapi alat pengontrol tinggi jauh bebas $457\text{mm} \pm 2\text{mm}$ diatas permukaan tanah yang dapat dipadatkan dan padat mentebarkan secara merata diatas permukaan tanah (lihat catatan 2). Alat penumbuk harus mempunyai massa $4,536\text{kg} \pm 0,009\text{kg}$ dan mempunyai permukaan tumbuk berbentuk bundar dan rata, berdiameter $50,80\text{mm} \pm 0,25\text{mm}$. Akibat pemakaian

diameter penumbuk tidak kurang dari 50,42mm. Alat penumbuk mekanis harus dikalibrasi sesuai ASTM D 2168.

- c. Alat penumbuk yang digunakan harus berpenampang bulat dengan diameter 50,80mm. Penampang berbentuk sektor dapat juga digunakan apabila luasnya dengan alat penumbuk yang berpenampang bulat dan harus dinyatakan di dalam laporan.

3. Cara Pengujian

Dalam pengujian kepadatan ditetapkan 4 pilihan cara uji yaitu cara A, cara B, cara C dan cara D, sebagai berikut :

Tabel 2.5 : Cara Uji Kepadatan Berat untuk Tanah

Uraian	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D
Diameter cetakan (mm)	101,60	152,40	101,60	152,40
Tinggi cetakan (mm)	116,43	116,43	116,43	116,43
Volume cetakan (cm ³)	943	2124	943	2124
Massa penumbuk (kg)	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh penumbuk (mm)	457	457	457	457
Jumlah lapis	5	5	5	5
Jumlah tumbukan per lapis	25	56	25	56
Bahan lolos saringan	No. 4 (4,75 mm)	No. 4 (4,75 mm)	19,00 mm (3/4")	19,00 mm (3/4")

Sumber: SNI 1743-2000

2.8. Metode Pencampuran CTB (*Cement Treated Base*)

- a. Segera sesudah bahant-bahan disetujui kemudian dibuat perencanaan campuran yang akan dipakai untuk percobaan pencampuran. Perencanaan campuran memberikan perbandingan komposisi dengan beberapa variasi kadar semen dengan menggunakan kadar air optimum.
- b. Campuran CTB terdiri dari agregat, semen. dan air atas persetujuan Direksi Pekerjaan. Kadar semen harus ditentukan berdasarkan percobaan laboratorium (*laboratory test*) dan percobaan campuran (*trial mix*). Kadar air optimum harus ditentukan berdasarkan percobaan laboratorium.
- c. Pencampuran dari CTB harus dengan peralatan *continous mixing plant* sistim ukuran berat untuk menjamin kebenaran porsi setiap bahan.
- d. Waktu pencampuran CTB terhitung pada waktu air ditambahkan ke dalam campuran.

Perbedaan utama dari kedua metode ini adalah energi yang digunakan dalam uji metode standar menggunakan energi sebesar $600 \text{ kN} - \text{m}/\text{m}^3$, sedangkan metode modifikasi menggunakan energi sebesar $2700 \text{ kN} - \text{m}/\text{m}^3$.

Tabel 2.6 : Metode Proctor Standar (Energi Sebesar $600 \text{ kN} - \text{m}/\text{m}^3$)

Tipe	A	B	C
Gradasi	$\leq 20 \%$ berat tertahan di ayakan No. 4 (4,75 mm)	$> 20 \%$ berat tertahan di ayakan No. 4 (4,75 mm) dan $\leq 20 \%$ berat tertahan di ayakan 3/8" (9,5 mm)	$> 20 \%$ berat tertahan di ayakan 3/8" (9,5 mm) dan $< 30 \%$ berat tertahan di ayakan 3/4" (19 mm)
Materian Sampel	Lolos ayakan No. 4 (4,75 mm)	Lolos ayakan 3/8" (9,5 mm)	Lolos ayakan 3/4" (19 mm)
Diameter mold	4" (101,6 mm)	4" (101,6 mm)	6" (152,4 mm)
Berat Palu	5,5 lbf (24,4 N)	5,5 lbf (24,4 N)	5,5 lbf (24,4 N)
Tinggi Jatuh	12" (305 mm)	12" (305 mm)	12" (305 mm)
Jumlah Lapisan	3 lapis/mold	3 lapis/mold	3 lapis/mold
Tumbukan	25/lapis	25/lapis	56/lapis

Sumber : Punmia, 1980

Tabel 2.7 : Metode Proctor Standar (Energi Sebesar $2700 \text{ kN} - \text{m}/\text{m}^3$)

Tipe	A	B	C
Gradasi	$\leq 20 \%$ berat tertahan di ayakan No. 4 (4,75 mm)	$> 20 \%$ berat tertahan di ayakan No. 4 (4,75 mm) dan $\leq 20 \%$ berat tertahan di ayakan 3/8" (9,5 mm)	$> 20 \%$ berat tertahan di ayakan 3/8" (9,5 mm) dan $< 30 \%$ berat tertahan di ayakan 3/4" (19 mm)
Materian Sampel	Lolos ayakan No. 4 (4,75 mm)	Lolos ayakan 3/8" (9,5 mm)	Lolos ayakan 3/4" (19 mm)
Diameter mold	4" (101,6 mm)	4" (101,6 mm)	6" (152,4 mm)
Berat Palu	10 lbf (44,5 N)	10 lbf (44,5 N)	10 lbf (44,5 N)
Tinggi Jatuh	18" (457,2 mm)	18" (457,2 mm)	18" (457,2 mm)
Jumlah Lapisan	5 lapis/mold	5 lapis/mold	5 lapis/mold
Tumbukan	25/lapis	25/lapis	56/lapis

Sumber : Punmia, 1980

2.8.1. Kuat Tekan Beton

Persyaratan kuat tekan (*unconfine compressive strength*) dari lapis pondasi agregat semen kelas A (CTB) dan kelas B (CTSB) dalam umur 7 hari masin - masing 45 – 55 kg/cm² dan 35 – 45 kg/cm². (DPU,2010). Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

1. Benda uji :

Benda uji silinder untuk pengujian selain uji rangkai, harus dicetak dan memungkinkan dapat mengeras dalam sumbu silinder vertikal. Benda uji silinder untuk uji rangkai, dapat dicetak pada sumbu silinder yang vertikal maupun horizontal dan memungkinkan untuk mengeras pada posisi searah pencetakan.

2. Perhitungan kuat tekan beton :

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan :

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

3. Perhitungan Standar Deviasi :

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X_{rt})^2}{N-1}} \text{ (SNI 03-2834-2000)}\dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

X_i = data kuat tekan masing-masing benda uji (X₁,X₂,X₃,dst)

X_{rt} = data kuat tekan rata-rata dari semua benda uji.

Tabel 2.8 : Faktor Koreksi Benda Uji Silinder pada Beton

Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Faktor Koreksi
50	100	1.09
75	150	1.06
100	200	1.04
125	250	1.02
150	300	1
175	350	0.98
200	400	0.96
250	500	0.93
300	600	0.91

Sumber : SNI, 1974 – 2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Silinder

2.8.2. Penghamparan

CTB harus dihampar dan ditempatkan di atas perbaikan tanah dasar (*sub grade*), dengan metode mekanis, menggunakan alat *high density screed paver* dengan *dual tamping rammer* sesuai instruksi Direksi Pekerjaan, untuk mendapatkan kepadatan, toleransi kerataan dan kehalusan permukaan.

2.8.3. Pemadatan

- a. Pemadatan CTB harus telah mulai dilaksanakan paling lambat 60 menit semenjak pencampuran semen dengan agregat.
- b. Campuran yang telah dihampar tidak boleh dibiarkan tanpa dipadatkan lebih dari 30 menit.
- c. Kepadatan CTB setelah pemadatan harus mencapai kepadatan kering 100% maksimum kepadatan kering ditentukan pada SNI, 03-6886-2002.
- d. Test kepadatan lapangan CTB dilakukan berdasarkan SNI, 03-2828-1992 dan SNI, 19-6413-2000.

2.8.4. Perawatan (*Curing*)

Segera setelah pemadatan terakhir dan atas usul Direksi Pekerjaan bila permukaan telah cukup kering harus ditutup dengan menggunakan :

- a. Lembaran plastik atau terpal untuk menjaga penguapan air dalam campuran.
- b. Penyemprotan dengan Bituminous Emulsi CSS-1 dengan batasan pemakaian antara 0,35 - 0,50 liter/m².
- c. Metode lain yang bertujuan melindungi CTB adalah dengan karung goni atau handuk yang dibasahi air selama masa perawatan (*curing*).