

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan tol adalah infrastruktur transportasi yang penting dalam menghubungkan antar wilayah. Dalam proses pembangunan jalan tol, tanah merupakan material penting untuk pekerjaan timbunan. Setiap pembangunan proyek jalan tol pasti melakukan pekerjaan tanah, baik pengerukan tanah maupun timbunan tanah. Tanah merupakan material alami yang ada di bumi yang sangat penting dalam bidang Ilmu Teknik Sipil. Banyak pekerjaan konstruksi yang sangat membutuhkan tanah dalam pekerjaannya, yaitu sebagai pondasi pendukung konstruksi bangunan, jalan (*subgrade*), bendungan.

Tanah mempunyai karakteristik mengandung air dan menyerap air, dari sifat inilah tanah untuk pekerjaan timbunan tidak pada kadar air yang optimum. Air yang terkandung dalam tanah tersebut sangat mempengaruhi kemampuan daya dukung tanah, kandungan air dalam tanah ini harus dikendalikan, hal ini dikarenakan untuk menjaga kelembapan tanah tetap seimbang (Oglesby dan Hicks, 1996).

Kondisi kelembapan tanah yang seimbang dapat mempengaruhi kekuatan dan daya dukung tanah sebagai dasar konstruksi. Pada kondisi tertentu, kelembapan tanah yang tidak seimbang dapat mengganggu dan merusak lapisan tanah itu sendiri. hal ini makin diperkuat dengan pengujian CBR Lapangan pada *Top Subgrade* yang nilainya kurang dari 6%. Tentu hal ini tidak sesuai dengan spesifikasi jalan tol dan dapat menyebabkan ketidakstabilan daya dukung tanah. Umumnya, dalam masalah ini digunakan solusi dengan mengganti tanah atau melakukan pemadatan ulang sampai hasil tes tersebut lebih dari 6%. Ditambah cuaca yang tidak mendukung, solusi ini dapat memakan waktu dan biaya operasional, dan dapat diperparah dengan operasional yang tidak maksimal dapat merusak struktur lapisan perkerasan yang berada diatas tanah.

Dalam masalah ini Direktorat Jendral Bina Marga membuat solusi dalam surat edar nomor BM 0603 – Db/849 tahun 2021 poin 3.a. tentang Perkerasan Jalan Tol di Indonesia, bahwa dengan menambah lapisan *capping layer* (lapisan penopang) dengan menggunakan material berbutir pilihan (*granular selected*) dengan dasar material berbutir guna meningkatkan daya dukung tanah dan memperkuat lapisan diatas tanah tersebut.

Pada penelitian ini menentukan material berbutir dari *quarry* Batang Serangan Ex KSU memenuhi spesifikasi untuk dasar material yang akan digunakan sebagai lapisan penopang yang akan diuji laboratorium tanah PT. Utama Karya pada Proyek Jalan Tol Ruas Indrapura – Kuala Tanjung.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari latar belakang, masalah - masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Pengujian di laboratorium untuk menentukan sifat fisik *granular selected*;
2. Pengujian di laboratorium untuk menentukan sifat fisik *granular selected*;
3. Hasil dari pengujian di laboratorium memenuhi syarat yang sesuai dengan spesifikasi umum bina marga tahun 2018:
4. Faktor lingkungan dan kondisi operasional di sekitar ruas jalan tol tersebut dapat memengaruhi nilai CBR dan kinerja lapisan penopang:
5. Solusi lain selain penggunaan lapisan penopang untuk mengatasi lemahnya tanah dasar dan timbunan pada struktur perkerasan jalan.

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian apa saja di laboratorium untuk menentukan sifat fisik *granular selected*?
2. Pengujian apa saja di laboratorium untuk menentukan sifat mekanik *granular selected*?
3. Apakah hasil dari pengujian di laboratorium memenuhi syarat yang sesuai dengan spesifikasi umum bina marga tahun 2018?

1.4 Rumusan masalah

1. Pengujian apa saja di laboratorium untuk menentukan sifat fisik *granular selected*?
2. Pengujian apa saja di laboratorium untuk menentukan sifat mekanik *granular selected*?
3. Apakah hasil dari pengujian di laboratorium memenuhi syarat yang sesuai dengan spesifikasi umum bina marga tahun 2018?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan sifat fisik material berbutir di laboratorium dari *Quarry* Batang Serangan Ex PT. KSU;
2. Menentukan sifat mekanik material berbutir di laboratorium dari *Quarry* Batang Serangan Ex PT. KSU;
3. Menentukan hasil pengujian di laboratorium material berbutir dari *Quarry* Batang Serangan Ex PT. KSU telah memenuhi syarat spesifikasi umum bina marga 2018 sebagai material berbutir pilihan.

1.6 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan pada laboratorium tanah PT. Hutama Karya yang bertempat di Jl. Lintas Sumatera, Sipare-Pare, Kec. Air Putih, Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara.

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat menjadikan solusi pada pekerjaan timbunan yang mengalami masalah pada waktu pekerjaan dan kadar air optimum tanah yang tidak sesuai dengan spesifikasi;
2. Sebagai bahan untuk kelanjutan penelitian dalam bahan material.

1.8 Metodologi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

a. Studi Lapangan

Merencanakan dan menyiapkan bahan dan tempat dalam penelitian ini;

b. Studi Literatur

Studi literatur adalah metode pengumpulan dan penelaah data informasi yang relevan dari buku-buku, laporan-laporan, jurnal-jurnal, dan catatan-catatan yang berhubungan dengan *granular selected*, *capping layer*, CBR Laboratorium dan aspek yang terkait dengan penelitian;

c. Pengambilan Data

Melakukan pengujian guna mencari data penelitian di laboratorium yang telah dipersiapkan sebelumnya;

d. Pengolahan dan Evaluasi Data

Menganalisa data yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan sebelumnya dimana data tersebut akan dievaluasi dan dihubungkan dengan persyaratan teknis yang ada pada SNI yang berlaku;

e. Kesimpulan

Menyimpulkan temuan penelitian yang telah diuji dan memberikan ringkasan tentang material tersebut apakah sesuai dengan persyaratan dan spesifikasi sebagai lapisan penopang (*capping layer*).

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

(Braja M.Das, 1995) Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah pada umumnya dapat berupa kerikil, pasir, lanau, atau lempung tergantung dari partikel tanah yang paling mendominasi.

(Bowles, 1984) menyatakan bahwa tanah merupakan campuran dari partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai dengan 300 mm, sedangkan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, disebut dengan kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai dengan 150 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai dengan 5 mm.
- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai dengan 0,0074 mm.
- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Dalam teknik sipil tanah digunakan untuk sebagai bahan pendukung pondasi bangunan pada berbagai macam pekerjaan konstruksi, seperti gedung, jalan raya, bandara, dan lain sebagainya.

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan sebuah subjek yang dinamis yang mempelajari struktur dari sistem klasifikasi tanah, definisi dari kelas-kelas yang digunakan untuk penggolongan tanah, kriteria yang menentukan penggolongan tanah, hingga penerapannya di lapangan.

2.1.2.1 Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Setelah beberapa kali perbaikan, saat ini yang berlaku adalah yang diajukan oleh *Commite On Classification Of Materials For Subgrade And Granular Type Road Of The High Way Research Board* tahun 1945.

Pada klasifikasi ini, tanah dibagi menjadi 7 (tujuh) kelompok, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir kasar dimana 35% atau kurang melalui ayakan No. 200. Tanah yang mana 35% atau lebih melalui ayakan No.200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Umumnya tanah yang masuk klasifikasi ini adalah lumpur atau lempung.

Klasifikasi ini didasarkan atas kriteria-kriteria berikut ini:

a. Ukuran butir

Kerikil : butiran yang lolos ayakan 3 in (75 mm) dan tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm)

b. Plastisitas

Disebut lumpur, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas = 10 atau kurang.

Disebut lempung, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas = 11 atau lebih.

c. Batu (*Boulders*) yang ukurannya lebih besar dari 75 mm, tidak digolongkan dalam klasifikasi ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Berbutir Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (%lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Maks 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang belanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

(Sumber: M.Braja Das, 1995)

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Lanau – Lempung Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah Lanau – Lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7A-7-5*A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

(Sumber: M.Braja Das, 1995)

2.1.2.2 Klasifikasi Tanah USCS

Klasifikasi tanah pada bidang keteknikan yang paling sering di gunakan adalah klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS). Klasifikasi USCS memiliki tiga kelompok utama, yaitu tanah dengan ukuran partikel kasar (mengandung pasir dan kerikil), partikel halus (tanah lempung dan liat), dan tanah dengan kadar organik tinggi (semisal tanah gambut). Metode klasifikasi tanah dengan menggunakan USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode klasifikasi tanah yang cukup banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Klasifikasi ini diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan direvisi pada tahun 1952 oleh The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation.

Pada prinsipnya menurut metode ini, ada 2 pembagian jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah digolongkan dalam butiran kasar jika lebih dari 50% tertahan di atas saringan no. 200. Sementara itu tanah digolongkan berbutir halus jika lebih dari 50% lolos dari saringan no. 200.

Tanah yang digunakan untuk pengujian Batas Cair (*LL*) dan Indeks Plastisitas (*PI*) harus lolos saringan No. 40.

Selanjutnya klasifikasi yang lebih detail lagi dapat menggunakan table USCS berikut ini. Beberapa simbol berikut ini sering digunakan dalam klasifikasi metode USCS.

- a. Jenis Tanah:
 - G : *Gravel* (Kerikil)
 - S : *Sand* (Pasir)
 - M : *Silt* (Lanau)
 - C : *Clay* (Lempung)
- b. Jenis Gradasi:
 - W : *Well Graded* (Bergradasi Baik),
 - P : *Poorly Graded* (Bergradasi Buruk)
- c. Konsistensi Plastitas:
 - H : *High Plasticity* (Plastisitas Tinggi),
 - L : *Low Plasticity* (Plastisitas Rendah)

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200	Kerikil 50% Atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir- lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
			SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung.
			CL Lempung organik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung bekerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (lean clays)
OL Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays)	
		OH Lempung anorganik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

(Sumber: M.Braja Das, 1995)

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai CBR

CBR	General Rating	Uses	Classification System	
			USCS	AASHTO
0 – 3	Very Poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Poor To Fair	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 – 50	Good	Base, Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GI	A1B, A2-5, A3, A2-6
>50	Exelent	Base, Subbase	GW, GM	A1A, A2-4, A3

(Sumber: M.Braja Das, 1995)

2.2 Timbunan

Timbunan adalah suatu cara atau metode beserta materialnya yang digunakan dalam pekerjaan tanah yang bertujuan untuk menyetarakan atau leveling suatu elevasi tanah. Timbunan terbagi dalam 2 jenis yaitu, timbunan biasa dan timbunan pilihan.

2.2.1 Timbunan Biasa

Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari bahan galian tanah atau bahan galian batu yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan sebagai bahan yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen seperti yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi.

Bahan yang dipilih sebaiknya tidak termasuk tanah yang berplastisitas tinggi, yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut (SNI-03-6797-2002 (AASHTO M145-91(2012))) atau sebagai CH menurut (*Unified* atau *Casagrande Soil Classification System*). Bila penggunaan tanah yang berplastisitas tinggi tidak dapat dihindarkan, bahan tersebut harus digunakan hanya pada bagian dasar dari timbunan atau pada penimbunan kembali yang tidak memerlukan daya dukung atau kekuatan geser yang tinggi. Tanah plastis tersebut sama sekali tidak boleh digunakan pada 30 cm lapisan langsung di bawah bagian dasar perkerasan atau bahu jalan atau tanah dasar bahu jalan.

Sebagai tambahan, timbunan untuk lapisan ini bila diuji dengan SNI 1744 : 2012, harus memiliki nilai CBR tidak kurang dari karakteristik daya dukung tanah dasar yang diambil untuk rancangan dan ditunjukkan dalam Gambar atau tidak kurang dari 6% jika tidak disebutkan lain (CBR setelah perendaman 4 hari bila dipadatkan 100 % berat kering maksimum (MDD) seperti yang ditentukan oleh SNI 1742 : 2008). (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Bahan untuk timbunan biasa tidak boleh dari bahan galian tanah yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: Tanah yang mengandung organik seperti jenis tanah OL, OH dan PT dalam sistem USCS serta tanah yang mengandung daun – daunan, rumput-rumputan, akar, dan sampah. (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

2.2.2 Timbunan pilihan

Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai Timbunan Pilihan bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud di mana bahan-bahan ini telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh Pengawas Pekerjaan. Seluruh timbunan lain yang digunakan harus dipandang sebagai timbunan biasa (atau drainase porous bila ditentukan atau disetujui sebagai hal tersebut sesuai dengan Seksi 2.4 dari Spesifikasi ini). (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau batu yang memenuhi semua ketentuan di atas untuk timbunan biasa dan sebagai tambahan harus memiliki sifat-sifat tertentu yang tergantung dari maksud penggunaannya, seperti diperintahkan atau disetujui oleh Pengawas Pekerjaan. Dalam segala hal, seluruh timbunan pilihan harus, bila diuji sesuai dengan SNI 1744 : 2012, memiliki CBR paling sedikit 10% setelah 4 hari perendaman bila dipadatkan sampai 100% berat kering maksimum sesuai dengan SNI 1742 : 2008.

Bahan timbunan pilihan yang digunakan pada lereng atau pekerjaan stabilisasi timbunan atau pada situasi lainnya yang memerlukan kuat geser yang cukup, bilamana dilaksanakan dengan pemadatan kering normal, maka timbunan pilihan dapat berupa timbunan batu atau kerikil lempungan bergradasi baik atau lempung pasiran atau lempung berplastisitas rendah.

2.3 Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai secara bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan (SK SNI T-15-1991-03). Selain sebagai bahan campuran beton, agregat juga dipakai sebagai material untuk lapis drainase, lapis pondasi, lapis penopang (*capping layer*), dan material berbutir kembali (*granular backfill*).

Agregat yang merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang memberikan sifat struktural dan memberikan kontribusi sebesar 90 – 95 % terhadap berat atau 70 – 85 % terhadap volume dari struktur perkerasan jalan, oleh sebab itu sifat agregat sangat mempengaruhi kinerja pada perkerasan. Semua agregat adalah poros, porositas agregat adalah besarnya persentase ruang - ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada agregat. Akibat dari porositas ini maka air akan meresap masuk kedalam agregat, Penyerapan air oleh agregat sukar untuk dihilangkan walaupun melalui proses pengeringan sehingga dapat memengaruhi stabilitas dan kekuatan baik dalam beton, aspal maupun struktur lapisan yang menggunakan agregat tersebut.

Sebagai material penting dalam pembangunan baik konstruksi maupun jalan, agregat mempunyai sifat mekanik dan sifat fisik, Sifat Mekanik adalah sifat dari agregat dalam merespons beban yang bekerja dan deformasi yang terjadi, sifat-sifat tersebut meliputi: kekakuan, kekuatan, elastisitas, keuletan, kelunakan, ketangguhan, serta kelenturan. Serta sifat fisik meliputi: ukuran, massa jenis, struktur, kebersihan, gradasi (susunan ukuran butir), ketahanan agregat, porositas, tekstur permukaan, daya serap air, dan berat jenis.

2.3.1 Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) adalah hasil dari desintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang dihasilkan oleh stone crusher dengan ukuran butiran antara 4,76 mm – 150 mm.

Umumnya agregat kasar memenuhi syarat :

1. Hasil uji dengan goresan batang tembaga bagian yang lemah maksimum 5%.

2. Angka kehalusan (Fineness Modulus) untuk *Coarse Aggregate* antara 6 - 7,5.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton seperti zat yang bersifat alkali.
4. Agregat kasar harus lulus uji tes kekerasan dengan bejana pengujian Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
5. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat kering dan apabila melampaui maka agregat harus dicuci.
6. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang tidak beropri.

Umumnya agregat kasar dibagi beberapa jenis:

1. Batu pecah alami, yaitu agregat kasar yang diperoleh dari batuan cadas atau batu pecah alami yang digali.
2. Kerikil alami, yaitu agregat kasar berupa kerikil yang diperoleh dari proses pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir secara alami.
3. Agregat kasar buatan, yaitu agregat yang diperoleh dari hasil buatan berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.
4. Agregat yang digunakan untuk pelindung nuklir, yaitu agregat kasar dengan bobot yang berat dan dapat berupa baja pecah, magnetit, limonit, dan barit.

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasikan alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 5 mm (lolos saringan no. 4). Agregat halus yang biasa digunakan dalam proyek konstruksi berupa pasir alam dari disintegrasi alami dari batuan-batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh *stone crusher*.

Umumnya agregat halus memenuhi syarat :

1. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering. Jika melebihi agregat harus dicuci.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak dan hal ini harus dibuktikan dengan percobaan warna dari ABRAM-HARDER dengan larutan NaOH 3%.

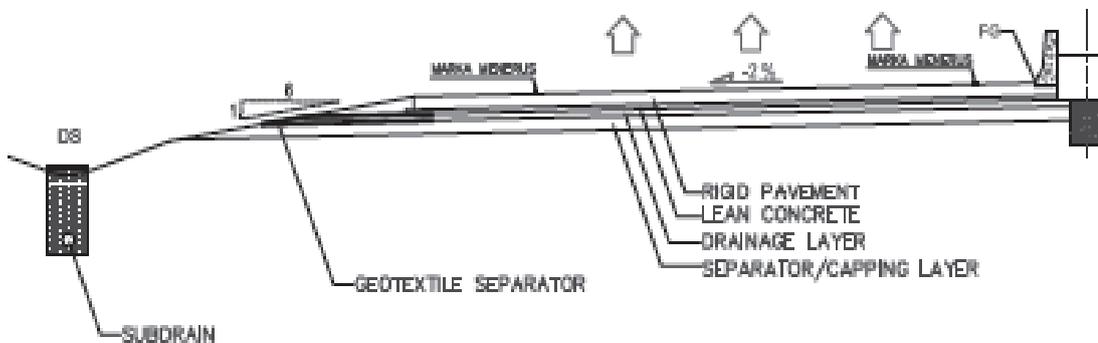
3. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam, keras, dan bersifat kekal atau tidak hancur oleh pengaruh temperature dan cuaca.
4. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Coarse Sand* antara 3,2 - 4,5.
5. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Fine Sand* antara 2,2 - 3,2.

2.4 Lapis Penopang (*Capping layer*)

Lapisan penopang (*capping layer*) merupakan lapisan meterial berbutir atau lapisan timbunan pilihan yang digunakan sebagai lapis pondasi bawah dan berfungsi untuk menimalisir efek dari tanah dasar yang lemah terhadap struktur perkerasan. Lapisan penopang merupakan lapisan *sub-base*, yang artinya lapisan ini berada diatas tanah timbunan dan dibawah lapisan perkerasan yang bertujuan menyebar beban dari struktur perkerasan jalan dan menyerap air tanah yang berlebih agar tidak merusak struktur lapisan perkersana jalan tersebut.

Pada surat edaran Direktorat Jendral Bina Marga Nomor BM 0603 – Db/849 tahun 2021 poin 3. a. tentang Perkerasan Jalan Tol di Indonesia, menyebutkan bahwa dengan melakukan *capping layer* (lapisan penopang) dengan menggunakan granular selected guna meningkatkan daya dukung tanah.

Timbunan Pilihan atau granular selected harus digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah dasar pada lapisan penopang (*capping layer*) dan jika diperlukan di daerah galian. Timbunan Pilihan harus digunakan sebagai lapisan penopang (*capping layer*) pada tanah lunak yang mempunyai CBR lapangan kurang 2,5% yang tidak dapat ditingkatkan dengan pemadatan atau stabilisasi. (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)



Gambar 2.1 Desain Potongan Melintang Jalan Tol

Sumber : Bima Marga Tahun 2021

Dari gambar 2.1, lapis penopang atau *capping layer* harus dilakukan dengan tebal 15cm jika nilai CBR Lapangan tanah timbunan lebih dari 6% dan jika nilai CBR Lapangan kurang dari 6% maka harus dilakukan dengan tebal 30cm. dan dalam pelaksanaan lapisan ini harus dilapisi dengan Geotekstil Separator.

Geotekstil separator adalah lembaran sintetis yang tipis, fleksibel, dan berpori yang digunakan untuk mencegah pencampuran antara tanah dengan agregat penutupnya (lapis pondasi bawah, lapis pondasi, timbunan pilihan dan sebagainya). Geotekstil yang fungsinya sebagai pemisah (separator) jika terjadi ketidakstabilan tanah atau penurunan tanah, tanah tidak bercampur dengan lapisan penopang yang dapat mengganggu kegunaan lapisan penopang itu sendiri.

Timbunan pilihan yang digunakan sebagai lapis penopang untuk perbaikan tanah dapat dihampar dalam satu atau beberapa lapis yang harus dipadatkan. Tingkat pemadatan harus cukup agar pemadatan pada timbunan pilihan selanjutnya sepenuhnya tertimbun dengan baik.

Material timbunan pilihan yang digunakan merupakan material berupa kerikil pecah, batu, pasir alam atau campuran yang baik dari kombinasi material – material tersebut.

Tabel 2.5 Gradasi Material Berbutir

Ukuran Ayakan		Berat yang Lolos (%)
ASTM	mm	
4"	100	100
No.4	4,75	25 - 90
No.200	0,075	0 – 10

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

2.5 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah metode pengujian pengelompokan besar butir agregat kasar dan halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan ukuran saringan. Hasil analisa saringan tersebut dilakukan untuk mengetahui batas gradasi, dan jumlah persentase butiran agregat tersebut. Hasil analisis saringan tersebut digambarkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Metode pengujian ini mencakup jumlah dan jenis agregat yang persyaratannya tercantum benda uji disiapkan berdasarkan standar yang berlaku dan terkait kecuali apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

Gradasi berdasarkan ukuran agregat merupakan hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan timbunan dilapangan.

Hasil pengujian analisis saringan agregat dapat digunakan antara lain :

1. Penyelidikan *quarry* agregat;
2. Perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton;
3. Perencanaan campuran dan pengendalian perkerasan aspal.

2.6 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan yang nilai-nilai tersebut adalah tanpa dimensi (SNI 1970:2008). Dalam lapisan penopang (*capping layer*), nilai berat jenis tidak menjadi tolak ukur utama dalam menentukan material yang sesuai sebagai material utama lapisan penopang namun pengujian tetap dilakukan untuk mencari sifat fisik agregat yang dapat berpengaruh saat penimbunan dilapangan nantinya.

Dalam mencari berat jenis agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus, berat jenis dibagi menjadi 3 macam berat jenis dan penyerapan, yaitu sebagai berikut:

1. Berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*)

Berat jenis bulk adalah rasio dari berat agregat di udara terhadap volume agregat permeable, termasuk rongga udara permeable dan impermeable, dibagi dengan berat isi air (pada temperatur yang sama).

2. Berat jenis permukaan januh (*surface saturated dry spesific gravity*)

Berat jenis kering permukaan adalah berat jenis yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan.

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis semu adalah perbandingan dari berat benda uji di udara terhadap volume benda uji impermeable, dibagi dengan berat isi air (pada temperatur yang sama).

4. Penyerapan air

Penyerapan air dari agregat merupakan penambahan berat pada agregat akibat air yang meresap ke pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar agregat. Penyerapan dinyatakan dalam persentase terhadap berat keringnya (dioven pada temperatur $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama ± 12 jam)

2.7 Batas – Batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

G. Djatmiko Soedarmo & S.J. Edy Purnomo (1997) menyatakan bahwa batas cair dan batas plastis tidak secara langsung memberi angka-angka yang dapat dipakai dalam perhitungan perencanaan, yang diperoleh dari percobaan batas-batas Atterberg ini adalah suatu gambaran secara garis besar sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu kekuatannya/daya dukungnya rendah, pemampatan (*compressibility*) tinggi dan sulit memadatkannya.

Silvia Sukirman (1992) menyatakan bahwa tanah berbutir halus lebih ditentukan oleh sifat plastisitas tanahnya, sehingga pengelompokan tanah berbutir halus dilakukan berdasarkan ukuran butir dan sifat plastisitas tanahnya. Tanah berplastisitas tinggi mempunyai daya dukung yang kurang baik dan peka terhadap perubahan yang terjadi.

Menurut Atterberg (1911), cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*LL*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas plastis biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948).

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*PL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas Susut (*SL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.

2.8 Pemasatan Tanah

Pemasatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara namun tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini (Craig, 1994).

Pada awal proses pemasatan, berat volume tanah kering (γ_d) bertambah seiring dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol ($w=0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d).

Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemasatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (γ_d) juga bertambah. Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu saat kadar air optimum, kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air pada saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmaks}) disebut kadar air optimum (Sumber: Hardiyatmo, 2004).

2.8.1 Pemasatan Standar

Alat pematat berupa silinder (*mold*) yang mempunyai diameter 10,2 cm dan tinggi 11,6 cm. Tanah di dalam mold dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam 3 (tiga) lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan.

Dalam SNI 1742 : 2008, peralatan yang digunakan berupa cetakan diameter 101,60 mm mempunyai kapasitas $943 \text{ cm}^3 \pm 8 \text{ cm}^3$ dengan diameter dalam

101,60 mm \pm 0,41 mm dan tinggi 116,43 mm \pm 0,13 mm dan cetakan diameter 152,40 mm mempunyai kapasitas 2124 \pm 21 cm³ dengan diameter dalam 152,40 mm \pm 0,66 mm dan tinggi 116,43 mm \pm 0,13 mm. Tanah dalam cetakan dipadatkan dengan alat penumbuk, terdapat 2 alat menumbuk yaitu :

A. Alat Penumbuk Tangan (Manual)

Dengan massa 2,495 kg \pm 0,009 kg dan mempunyai permukaan berbentuk bundar dan rata, diameter 50,80 mm \pm 0,25 mm.

B. Alat Penumbuk Mekanis

Dilengkapi alat pengontrol tinggi jatuh bebas 305 mm \pm 2 mm di atas permukaan tanah yang akan dipadatkan dan dapat menyebarkan tumbukan secara merata di atas permukaan tanah. Alat penumbuk harus mempunyai massa 2,495 kg \pm 0,009 kg dan mempunyai permukaan tumbuk berbentuk bundar dan rata, berdiameter 50,80 mm \pm 0,25 mm.

2.8.2 Pemadatan Modifikasi

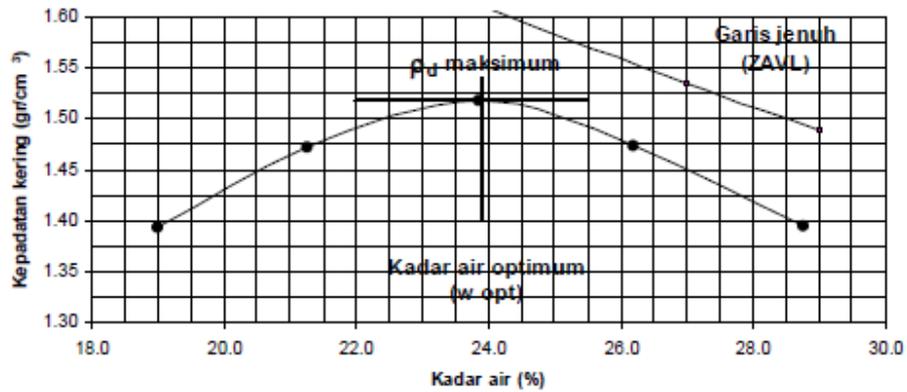
Dalam SNI 1743-2008, pemadatan modifikasi atau modified proctor menggunakan alat pemadat berupa silinder (*mold*) yang mempunyai diameter 152,40 mm dengan kapasitas 2124 \pm 21 cm³ dengan diameter dalam 152,40 \pm 0,66 mm dan tinggi 116,43 \pm 0,13 mm yang berisi base plate yang mempunyai diameter 5,08cm (untuk CBR Lab). Tanah yang dipadatkan dalam 5 (lima) lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 atau 56 kali pukulan. Tanah dalam cetakan dipadatkan dengan alat penumbuk, terdapat 2 alat menumbuk yaitu :

A. Alat penumbuk tangan (manual).

Dengan massa 4,536 kg \pm 0,009 kg dan mempunyai permukaan berbentuk bundar dan rata, diameter 50,80 \pm 0,25 mm. Dengan jatuh bebas setinggi 457 mm \pm 2 mm di atas permukaan tanah yang akan dipadatkan.

B. Alat Penumbuk Mekanis

Dilengkapi alat pengontrol tinggi jatuh bebas 457 mm \pm 2 mm di atas permukaan tanah yang akan dipadatkan dan dapat menyebarkan tumbukan secara merata di atas permukaan tanah. Alat penumbuk harus mempunyai massa 4,536 kg \pm 0,009 kg dan mempunyai permukaan tumbuk berbentuk bundar dan rata, berdiameter 50,80 mm \pm 0,25 mm.



Grafik 2.1 Grafik Hubungan Berat Kering Dengan Kadar Air

(Sumber: SNI 1743:2008)

Grafik kurva diatas merupakan grafik dari hasil perhitungan berat kering, kadar air, dan berat kering jenuh pada pengujian pemadatan. Grafik tersebut akan menentukan berat kering maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) dan kurva berat kering jenuh atau *zero air void* (ZAV) akan membentuk garis yang tidak menyinggung kurva manapun dikarenakan hasil semu atau mustahil.

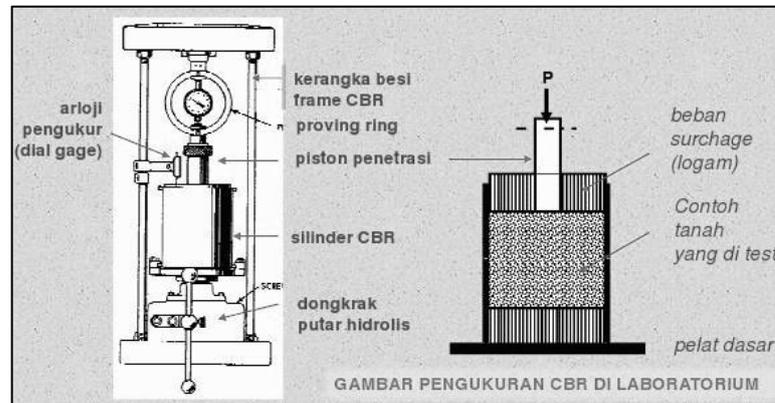
2.9 Laboratory California Bearing Ratio (CBR Laboratorium)

Berdasarkan SNI 1744-2012 tentang Metode Uji CBR Laboratorium, *California Bearing Ratio* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu beban terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR akan digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material lapis tanah dasar, fondasi bawah, dan termasuk material yang didaur ulang untuk perkerasan jalan dan lapangan terbang. Nilai CBR yang diperoleh dapat digunakan sebagai salah satu parameter desain perkerasan.

CBR laboratorium dapat disebut juga CBR rencana titik. Tanah dasar yang diperiksa merupakan jalan baru yang berasal dari tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% berat maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan.

Oleh karena itu, nilai CBR laboratorium adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuat dan mewakili keadaan tanah tersebut setelah

dipadatkan. Pengujian CBR laboratorium dilakukan menggunakan alat yang mempunyai piston dengan luas 1.935 mm² dan kecepatan gerak vertikal ke bawah 1,27 mm/menit serta *Proving Ring* yang digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*).



Gambar 2.2 Perangkat Uji CBR Laboratorium

(Sumber: Rekayasa Perkerasan Jalan, Dr. Ir. Erizal, Magr. Institut Pertanian Bogor)

Tabel 2.6 Tabel Waktu Dan Penurunan Dial

Waktu (menit)	Penurunan (inci)
0,32	0,0125
0,64	0,025
1,27	0,050
1,91	0,075
2,54	0,100
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

(Sumber: SNI 1744-2012)

Tabel 2.6 menunjukkan waktu penurunan dalam bentuk inci, penurunan *dial* tersebut diikuti dengan penaikan beban yang diteima pada benda uji. Singkatnya semakin lama waktu penurunan pada *dial* maka semakin besar beban

yang diteima pada benda uji. Data penurunan waktu dan beban yang sudah dibaca dari alroji pengukur akan dihitung untuk mencari nilai CBR.

Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,1''} = \frac{A}{3000} \times 100\%$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,2''} = \frac{B}{4500} \times 100\%$$

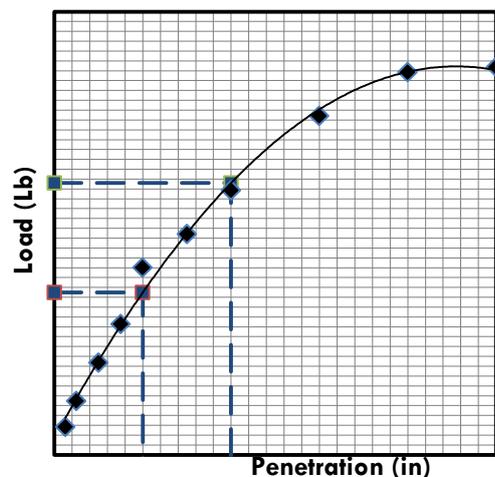
Dimana :

A = pembacaan alroji pada saat penetrasi 0,1”

B = pembacaan alroji pada saat penetrasi 0,2”

Setelah didapatkan nilai CBR dari penetrasi 0,1” dan 0,2” dari 3 tumbukan yang berbeda, nilai tersebut digambarkan pada grafik kurva antara penetrasi dengan beban dari nilai CBR dari penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2”.

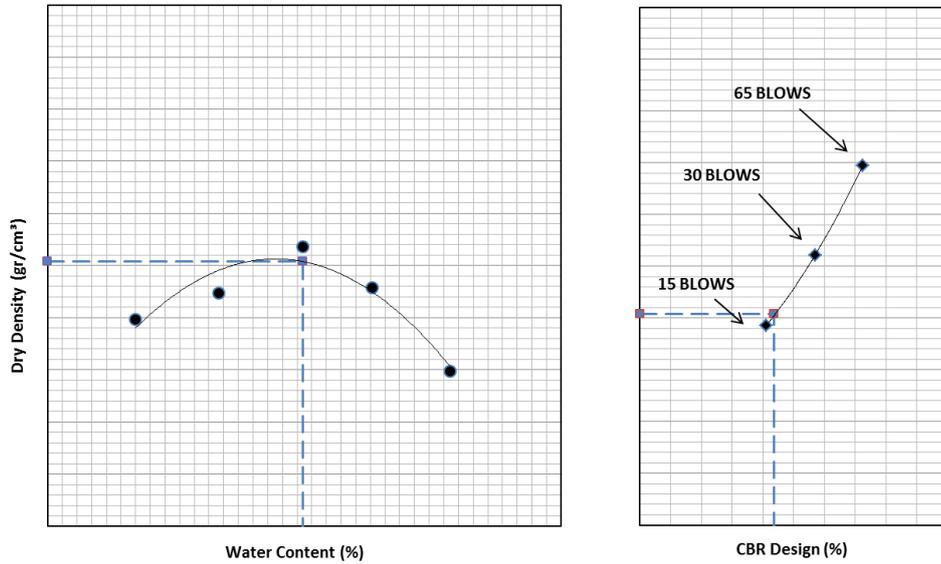
Dalam pembacaan awal beban, beban meningkat tidak sebanding dengan peningkatan penetrasi sehingga kurva yang diperoleh cenderung berbentuk cekung. Untuk mendapatkan kurva hubungan antara beban dan penetrasi yang benar, koreksi kurva yang berbentuk cekung tersebut sampai mendekati bentuk kurva standar dengan mengatur dan memperpanjang bagian garis lurus dari kurva dan penetrasi yang deperoleh ke bawah sampai memotong sumbu X atau absis.



Grafik 2.2 Grafik Hubungan Penetrasi Dengan Beban

(Sumber: Data Hasil Penelitian)

Nilai CBR desain ditentukan dari 95% nilai berat kering maksimum dari pengujian pematatan. Dari nilai tersebut ditarik garis lurus menuju grafik nilai CBR sampai bertemu atau menyinggung grafik kurva lalu mengatur atau memperpanjang garis lurus ke bawah sampai memotong sumbu X atau absis.



Grafik 2.3 Grafik Nilai CBR Desain

(Sumber: Data Hasil Penelitian)