

TESIS

**PENGARUH BETON SERAT YANG MENGGUNAKAN BENTONIT
TERHADAP KEKUATAN PELAT PERKERASAN KAKU**

***INFLUENCE OF FIBER CONCRETE WITH BENTONITE ON RIGID
PAVEMENT STRENGTH***

RIZQURRACHMAN



PROGRAM PASCA SARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

**PENGARUH BETON SERAT YANG MENGGUNAKAN BENTONIT
TERHADAP KEKUATAN PELAT PERKERASAN KAKU**

***INFLUENCE OF FIBER CONCRETE WITH BENTONITE ON RIGID
PAVEMENT STRENGTH***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan Oleh

RIZQURRACHMAN

PROGRAM PASCA SARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2014

TESIS

PENGARUH BETON SERAT YANG MENGGUNAKAN BENTONIT TERHADAP KEKUATAN PELAT PERKERASAN KAKU

Disusun dan diajukan oleh

RIZQURRACHMAN

Nomor Pokok P2302210008

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 3 Desember 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,



Dr. Rudy Djamaluddin, ST.M.Eng.

Ketua



Ir. Sakti Adji Adisasmata, M.Eng. Sc. Ph.D.

Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,




Dr. Rudy Djamaluddin, ST.M.Eng

Direktur Program Pascasarjan
Universitas Hasanudin,




Prof. Dr. Ir. Mursalim.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Rizqurrachman

Nomor Mahasiswa : P230 221 0008

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, November 2013

Yang menyatakan

Rizqurrachman

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan selesainya hasil penelitian ini.

Gagasan yang melatari tulisan ini timbul dari permasalahan bahwa penggunaan beton sebagai bahan konstruksi semakin meningkat, khususnya pada perkerasan jalan. Penulis bermaksud menyumbangkan beberapa konsep terkait penggunaan serat baja dalam teknologi beton.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, yang berkat bantuan berbagai pihak, maka tesis ini selesai pada waktunya. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Rudi Djamaluddin, ST. M.Eng sebagai Ketua Komisi Penasihat dan Ir. Sakti Adji Adisasmita, Msi.,M.EngSc.,Ph.D sebagai anggota Komisi Penasehat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap pelaksanaan penelitian ini, pelaksanaan penelitiannya sampai dengan penulisan tesis ini.
2. Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng, Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, MT dan Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid, MT sebagai dewan penguji yang telah memberikan dorongan, arahan dan bimbingan.
3. Ir. H. Faisal Lukman, MT dan Ir. H. Andi Syahrial Muhammad., M.Eng sebagai pimpinan di Dinas Bina Marga Provinsi Sulawesi Selatan atas segala bantuan dan dorongan moril.

4. dr. Wahida Masrah teman setia yang selalu mendampingi dalam penyusunan tesis ini
5. Kedua orang tua tersayang Prof. Dr. H. M. Wasir Thalib, Ms dan Dra Hj. Ummu Kalsum yang tiada henti-hentinya memberikan doa, bantuan moril dan dukungan setiap saat.
6. Teman-teman dari Pasca Sarjana Unhas dan Dinas Bina Marga yang menyediakan waktu untuk bekerja sama..

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak luput dari kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu penulis tetap mengharap sumbangan pemikiran agar tesis ini mendekati sempurna.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan Rahmat-Nya kepada kita sekalian, dan Tesis ini dapat memberikan manfaat.

Makassar, Desember 2013

Rizqurrachman

ABSTRAK

RIZQURRACHMAN. *Pengaruh Beton Serat Yang Menggunakan Bentonit terhadap Kekuatan Pelat Perkerasan Kaku* (dibimbing oleh Rudi Djamaluddin dan Sakti Adji Adisasmita).

Penelitian ini bertujuan 1) Menganalisis pengaruh bentonit terhadap mutu beton serat pada umur 3, 7 dan 28 hari, 2) Menganalisis karakteristik deformasi lapisan perkerasan kaku pada lapisan subgrade dari pusat beban.

Penelitian ini meliputi pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan agregat halus, pengujian kuat tekan dan pengujian pembebanan pada lapisan perkerasan kaku. Uji model perkerasan kaku 80 x 120 cm dengan tebal 10 cm. Variasi penambahan bentonit sebagai pengganti pasir adalah 0%, 3%, 6% dan 9%. Sedangkan untuk pembebanan perkerasan kaku digunakan 2 variasi, yaitu bentonit 0% dan bentonit 3%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bentonit pada beton serat mengalami penurunan pada kuat tekan, dimana persentase penurunan kuat tekan pada umur 3 hari dengan penambahan bentonit 3%, 6% dan 9% adalah 6,22%, 9% dan 14,27%. Pada umur 7 hari persentase penurunan kuat tekan 4,65%, 6,01% dan 9,92% sedangkan pada umur 28 hari 3,29%, 5,52% dan 8,90%. Nilai kuat lentur yang diperoleh untuk betonserat tanpa bentonit sebesar 51,32 kg/cm³ dan beton serat dengan penambahan bentonit 3%, 6% dan 9% sebesar 50,18 kg/cm³, 48,05 kg/cm³, 46,67 kg/cm³. Sementara pada pengujian pembebanan terhadap pelat perkerasan kaku deformasi terkecil terjadi pada pelat yang menggunakan bentonit 0%.

Kata kunci : Beton serat, Bentonit, Perkerasan Kaku



ABSTRACT

RIZQURRACHMAN (Influence of fiber concrete with Bentonite on Rigid pavement Strength by Rudy Djamaluddin and Sakti Adji Adisasmita)

The purposes of this study are to analyze the effect of bentonite on quality of fiber concrete at 3, 7 and 28 days and to analyze the characteristic of rigid pavement deformation on subgrade layer from load center

This research contains examining the characteristics of coarse aggregate, fine aggregate compressive strength and loading test on rigid pavement. Dimension of Rigid pavement model is 80 cm width, 120 cm length and 10 cm in high. Bentonite addition instead of sand are 0%, 3%, 6% and 9%. For loading test of rigid pavement use two variations, namely bentonite 0% and bentonite 3%

The results showed that the addition of bentonite in concrete fibers causes a decrease in the compressive strength of concrete, in which the percentage decrease in compressive strength at the age of 3 days with the addition of bentonite 3%, 6% and 9% was 6.22%, 9% and 14.27%. At the age of 7 days the percentage decrease in compressive strength 4.65%, 6.01% and 9.92%, while at 28 days 3.29%, 5.52% and 8.90%. Flexural strength values obtained for concrete fiber without bentonite was 51.32 kg/cm³ and fiber concrete with the addition of bentonite 3%, 6% and 9% are 50.18 kg/cm³, kg/cm³ 48.05, 46.67 kg / cm³. On Loading Test of the rigid pavement slab, the smallest deformation occurs on the plate using bentonite 0%.

Keywords: fiber concrete, bentonite, rigid pavementords



DAFTAR ISI

	Halam
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Perkerasan Kaku	6
B. Kerusakan Pada Perkerasan Kaku	16

C.	Bahan Penyusun Beton	19
D.	Beton Serat	30
E.	Bentonit	34
F.	Penelitian Terdahulu	40
G.	Kerangka Pikir	42
III.	METODOLOGI PENELITIAN	
A.	Umum	43
B.	Lokasi dan Waktu	43
C.	Data dan Sampel	44
D.	Alat dan Bahan	44
E.	Pemeriksaan Bahan	46
F.	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	47
G.	Pengujian Slump	49
H.	Pembuatan Benda Uji	50
I.	Perawatan Benda Uji	52
J.	Pengujian Benda Uji	53
K.	Pengambilan Data	58
L.	Alur Penelitian	58
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
A.	Pemeriksaan Bahan	60
B.	Komposisi Campuran Beton	65
C.	Slump	67
D.	Pengujian Kuat Tekan	70

E.	Pengujian Kuat Lentur	74
F.	Pengujian Daya Dukung Tanah	76
G.	Karakteristik Deformasi Lapisan Perkerasan Kaku	81
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
A.	Kesimpulan	94
B.	Saran	95
	DAFTAR PUSTAKA	97
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Susunan oxida semen portland	20
2.	Syarat gradasi agregat kasar (<i>British Standard</i>)	24
3.	Batas gradasi agregat halus (SK.SNI T-15-1990-03)	27
4.	Jenis-jenis serat dan sifat-sifat fisiknya	34
5.	Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam Bentonit	37
6.	Cadangan Bentonit di Sulawesi Selatan	40
7.	Daftar alat-alat penelitian	45
8.	Jumlah benda uji kubus	51
9.	Hasil rekapitulasi pemeriksaan karakteristik agregat kasar	61
10.	Hasil rekapitulasi pemeriksaan karakteristik agregat halus	62
11.	Hasil pengujian Bentonit	63
12.	Hasil pengujian serat baja	64
13.	Komposisi campuran beton	65
14.	Hasil pengujian slump	68
15.	Hasil pengujian kuat tekan beton	70
16.	Persentase penurunan kuat tekan rata-rata terhadap beton serat	73
17.	Hasil pengujian CBR	77
18.	Hasil pengujian CBR lapangan tanah asli	78
19.	Berat material benda uji pelat	82
20.	Deformasi elastis perkeraan kaku pada pondasi elastic	86

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Tipikal struktur perkerasan beton semen	7
2.	Penyebaran beban pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku	8
3.	Hubungan antara CBR dan modulus reaksi tanah dasar	10
4.	Modulus reaksi tanah dasar	12
5.	Hubungan beban, deformasi dan modulus reaksi tanah dasar	12
6.	Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton	14
7.	Bentonit	35
8.	Lokasi Tambang Bentonit di Desa Karama Kab. Jeneponto	39
9.	Kerangka Pikir	42
10.	Pengukuran nilai slump	50
11.	Penempatan dial	58
12.	Bagan Alir Penelitian	59
13.	Hubungan nilai slump dengan kadar Bentonit	69
14.	Histogram perbandingan kuat tekan beton dengan kadar Bentonit	71
15.	Hubungan kuat lentur beton serat dengan kadar Bentonit	75
16.	Hubungan penurunan terhadap beban tanah asli	78

17.	Kurva hubungan CBR dengan modulus reaksi tanah dasar	80
18.	Model Penempatan dial	81
19.	Deformasi selab untuk pelat beton serat tanpa Bentonit	84
20.	Deformasi selab untuk pelat beton serat dengan Bentonit 3%	84
21.	Deformasi perkerasan kaku pada subgrade pondasi elastis.	86
22.	Deformasi Elastis dengan CBR 5,82% untuk beton serat tanpa Bentonit	88
23.	Deformasi Elastis dengan CBR 5,82% untuk beton serat Bentonit 3%	88
24.	Lendutan yang terjadi pada potongan memanjang A-A	91
25.	Lendutan yang terjadi pada potongan melintang B-B	91

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	halaman
1. Hasil Pengujian	100
2. Dokumentasi Penelitian	122

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas permukaan beton
ASTM	<i>American Standard Test Material</i>
B	Berat contoh kondisi SSD di dalam air
b	Lebar tampang lintang patah arah horizontal
BLp	Berat lapangan pasir
BLk	Berat lapangan kerikil
Bp	Berat piknometer berisi air
BSN	Badan standar nasional
C	berat contoh kering di udara
CBK	Campuran Beton Kurus
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
C ₂ S	Dicalcium Silikat
C ₃ A	Tricalcium Aluminate
C ₃ S	Tricalcium Silikat
D	Berat kering (setelah dioven)
δ	Deformasi
et al.	Et alii, dan kawan-kawan
FAS	Faktor air semen
F _{cf}	Kuat lentur beton
F'c	Kuat tekan

F'_{cr}	Kuat tekan target
F_k	Modulus halus butir kerikil
F_p	Modulus halus butir pasir
h	Lebar tampang patah arah vertikal
K	Mutu beton
k	Modulus reaksi tanah dasar
M	Margin
MHB	Modulus Halus Butir
No	Nomor
SK SNI	Standar Konstruksi Standar Nasional Indonesia
SSD	<i>Saturated Surface Dry</i>
S_r	Standar deviasi
P	Beban
PC	<i>Portlad Cement</i>
PCC	<i>Portland cement concrete</i>
Pd.T	Pedoman Teknis
PU	Pekerjaan Umum
σ	Tegangan
W	Berat air
W_1	Berat kontainer
W_2	Berat kontainer + kerikil
W_s	Kadar semen
W_a	Kadar air bebas

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Transportasi merupakan sektor tersier, yaitu sektor yang menyediakan jasa pelayanan kepada sektor-sektor lain (pertanian, perindustrian, perdagangan, pertambangan, pendidikan, kesehatan dan lainnya) karena sektor-sektor lain tersebut membutuhkan jasa transportasi untuk mengangkut barang (bahan baku dan hasil produksi) dari tempat asal ke tempat tujuan. Adanya permintaan jasa transportasi dari sektor-sektor lain menyebabkan timbulnya penyediaan jasa transportasi. Jadi kapasitas transportasi harus disediakan secara cukup memadai agar mampu melayani pengembangan kegiatan sektor lain, yang tentunya juga membutuhkan pembangunan struktur perkerasan jalan sehingga perlu pertimbangan khusus dalam melakukan perencanaan, utamanya untuk meningkatkan daya tahan terhadap retak dan deformasi permanen.

Saat ini perkembangan transportasi terutama untuk mobilitas penduduk dan kendaraan dari tahun ke tahun terus meningkat. Oleh karena itu sekarang ini sering kita jumpai banyak proyek pembangunan dan peningkatan jalan dan salah satu jenis perkerasan yang banyak digunakan adalah perkerasan jalan beton semen portland atau lebih sering disebut perkerasan kaku atau juga disebut *rigid pavement*.

Salah satu cara untuk memperbaiki karakteristik beton adalah dengan menambahkan serat kedalam campuran beton. Baik untuk meningkatkan kuat tekan, kuat tarik ataupun kuat lentur. Serat yang biasa digunakan seperti besi, baja, ijuk, fiberglass dan lain sebagainya. Hasil penelitian tentang penggunaan serat sudah terbukti memperbaiki karakteristik beton. Pada perencanaan perkerasan kaku tidak mengutamakan kuat tekannya akan tetapi yang lebih diutamakan adalah kuat lenturnya. Karena perkerasan rigid sifatnya kaku maka dia harus mampu menahan lenturan-lenturan dari beban roda kendaraan

Sejumlah laporan riset dan penggunaan praktis beton serat menunjukkan bahwa untuk peningkatan kemampuan konstruksi umumnya digunakan serat baja berukuran makro dengan panjang sekitar 2 cm atau lebih. Penggunaan serat baja modern dengan berbagai bentuk permukaan kasar ujung berangkuar, bergelombang dan beberapa bentuk lain terbukti sangat efektif meningkatkan kemampuan lentur, daktilitas ketahanan menahan retak. Adanya penambahan serat baja pada beton dapat memperbaiki kekuatan pada beton yaitu terjadi peningkatan mutu pada kuat lentur dan kuat tekan beton yang menggunakan bendrad sebagai serat (Akbar dkk, 2008). Penambahan fiber baja 1% dari berat semen kedalam beton dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 4-7% dari beton normal dan meningkatkan kuat lentur sebesar 20-30% dari beton normal (Sukoyo, 2011).

Di sisi lain, peningkatan pembangunan di bidang infrastruktur khususnya jalan beton yang kian pesat menuntut ketersediaan bahan dasar konstruksi sehingga kita dituntut untuk dapat memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia. Salah satu contoh yaitu pemanfaatan Bentonit untuk konstruksi perkerasan kaku. Bentonit sebagai bahan tambang memberikan alternative dalam penggunaannya sebagai material penyusun campuran beton.

Bentonite merupakan sumberdaya bahan galian non logam. Cadangan Bentonit di Indonesia diperkirakan lebih dari 380 juta ton yang tersebar di pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan Tengah, dan Sulawesi Selatan. Sedangkan cadangan Bentonit di Sulawesi Selatan juga melimpah dan tersebar di beberapa kabupaten seperti Takalar, Gowa, Jeneponto, Pinrang, Wajo, Enrekang dan Tana Toraja. Bentonit adalah salah satu jenis lempung yang sebagian besar terdiri dari mineral monmorilonit dan sebagian kecil mineral beideit serta beberapa mineral yang berupa feldspar, kuarsa, dan mineral bijih (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara). Diharapkan Bentonit dapat menjadi bahan alternative pengganti material yang keberadaannya semakin mahal dan langka ataupun sebagai bahan tambah dalam pekerjaan konstruksi beton.

Dari Permasalahan ini sehingga perlu dilakukan penelitian pengaruh beton serat yang menggunakan Bentonit terhadap kekuatan pelat perkerasan kaku.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh Bentonit terhadap mutu beton serat pada umur 3, 7, dan 28 hari.
2. Bagaimana karakteristik deformasi dan perilaku lapisan perkerasan kaku pada lapisan subgrade dari pusat beban.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah::

1. Menganalisis pengaruh Bentonit terhadap mutu beton serat pada umur 3, 7 dan 28 hari.
2. Menganalisis karakteristik deformasi dan perilaku lapisan perkerasan kaku pada lapisan subgarade dari pusat beban.

D. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman dan pengetahuan mengenai potensi yang dimiliki Bentonit sebagai sumber daya bahan non logam.

2. Dapat dijadikan sebagai bahan acuan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan deformasi perkerasan kaku yang menggunakan beton serat.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah sesuai yang diharapkan, maka penelitian dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Mutu Beton yang direncanakan adalah K 300 (menurut standar Bina marga)
2. Material yang digunakan:
 - a. Semen Tonasa
 - b. Kawat Bendrad dengan diameter 0.8 mm dengan panjang 50 mm.
 - c. Bentonit di ambil dari Desa Karama Kabupaten Jeneponto
 - d. Material agregat kasar dan agregat halus berasal dari sungai Bili-Bili Kecamatan Moncong Loe Kabupaten Gowa.
3. Konsentrasi serat baja 1 % dari berat semen.
4. Dalam penelitian ini dilakukan variasi penggantian bentonit 3%, 6% dan 9% terhadap agregat halus.
5. Evaluasi kinerja campuran dilaksanakan di laboratorium..
6. Analisis kimia dan biaya tidak diteliti.

BAB II

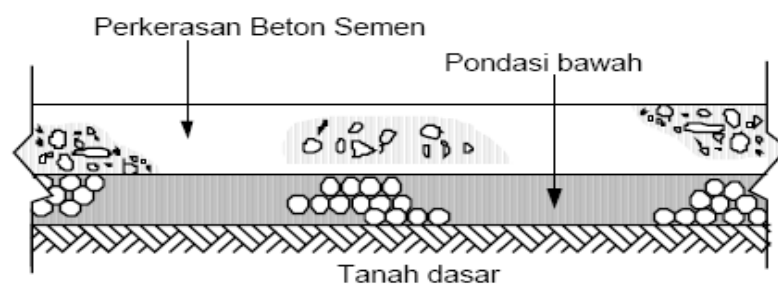
TINJAUAN PUSTAKA

C. Perkerasan Kaku

Rigid Pavement atau Perkerasan Kaku adalah suatu susunan konstruksi perkerasan di mana sebagai lapisan atas digunakan pelat beton yang terletak di atas pondasi atau di atas tanah dasar pondasi atau langsung di atas tanah dasar (subgrade). Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban ke bidang tanah dasar yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton sendiri.

Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan. Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton semen adalah kekuatan beton itu sendiri. Adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya. Lapis pondasi bawah jika digunakan di bawah plat beton

karena beberapa pertimbangan, yaitu antara lain untuk menghindari terjadinya pumping, kendali terhadap sistem drainase, kendali terhadap kembang susut yang terjadi pada tanah dasar dan untuk menyediakan lantai kerja. Tipikal untuk struktur perkerasan beeton dapat dilihat pada Gambar 1.



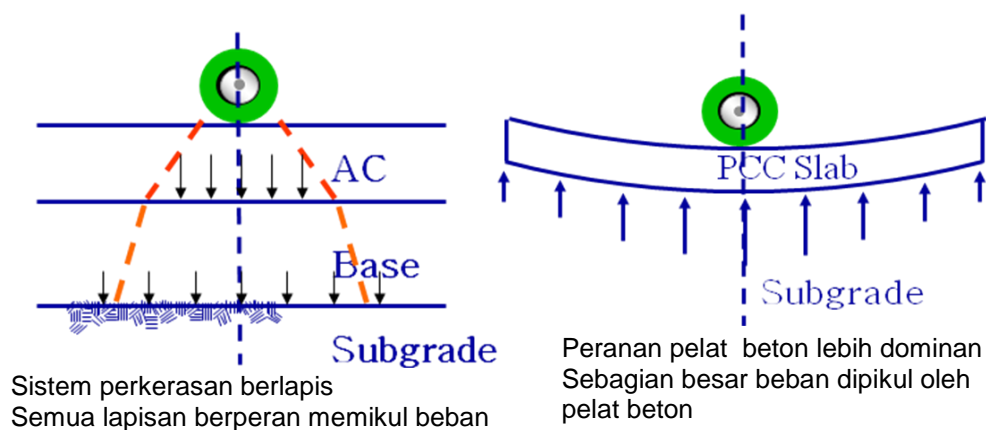
Gambar 1. Tipikal struktur perkerasan beton semen

Jenis Perkerasan kaku adalah, yaitu:

1. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan
2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan
3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan
4. Perkerasan beton semen dengan tulangan serat baja (fiber)
5. Perkerasan beton semen pratekan

Pada Perkerasan kaku, daya dukung diperoleh dari pelat beton. Sifat daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan.

Perkerasan kaku mempunyai sifat yang berbeda dengan perkerasan lentur. Pada perkerasan kaku daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Peranan pelat beton lebih dominan karena sebagian besar beban dipikul oleh pelat beton, sedangkan pada perkerasan lentur semua lapisan berperan memikul beban dimana lapisan perkerasan lentur terdiri dari lapis permukaan berupa campuran aspal, lapis pondasi atas dan bawah serta tanah dasar Hal ini terkait dengan sifat pelat beton yang cukup kaku, sehingga dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan – lapisan di bawahnya, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyebaran beban pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku (Zhou, 2006)

1. Tanah dasar (*subgrade*)

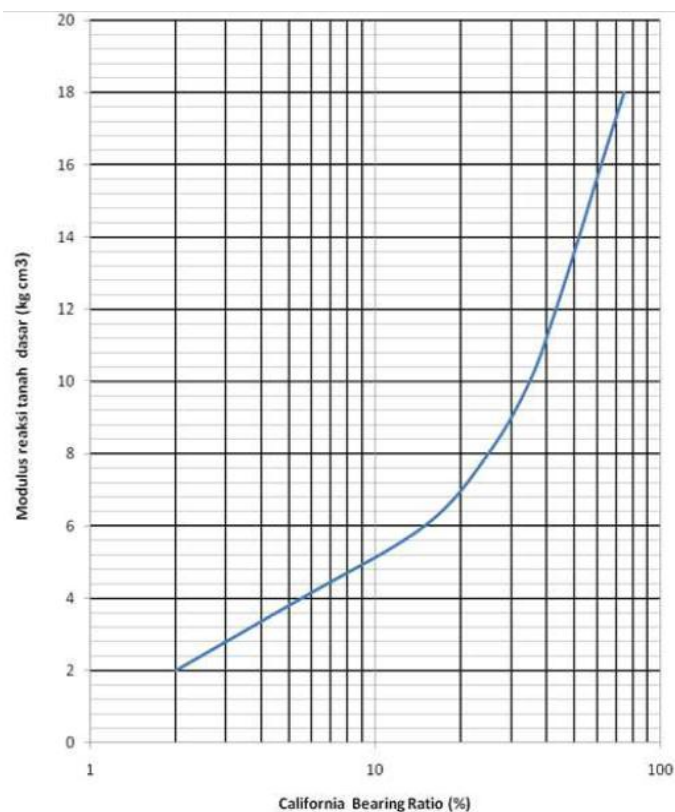
Dalam struktur perkerasan beton semen, tanah dasar hanya dipengaruhi tegangan akibat beban lalu lintas dalam jumlah relatif kecil, akan tetapi daya dukung tanah dan keseragaman tanah dasar sangat

mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan kaku. Tanah dasar adalah bagian dari permukaan badan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi di atasnya yaitu konstruksi perkerasan. Tanah dasar ini berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang telah disalurkan/disebarkan oleh konstruksi perkerasan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyiapan tanah dasar (*subgrade*) adalah lebar, kerataan, kemiringan melintang keseragaman daya dukung dan keseragaman kepadatan.

Daya dukung atau kapasitas tanah dasar pada konstruksi perkerasan kaku yang umum digunakan adalah CBR dan modulus reaksi tanah dasar (k). Nilai daya dukung tanah atau kekuatan tanah yang diukur dengan pengujian CBR yang diwujudkan dalam bentuk persen hasil perbandingan antara beban yang diperlukan untuk menembus suatu jenis bahan terhadap beban yang diperlukan untuk menembus beban standart. Kekuatan dan keawetan konstruksi jalan sangat tergantung dari sifat dan daya dukung tanah dasar. Dari bermacam-macam cara pemeriksaan untuk menentukan kekuatan tanah dasar yang umum dipakai adalah dengan metode *California Bearing Ratio* (CBR). CBR diperoleh dari hasil pemeriksaan contoh tanah yang telah dipersiapkan di laboratorium atau langsung di lapangan.

Daya dukung tanah dasar pada konstruksi perkerasan beton semen ditentukan berdasarkan nilai CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau Laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989. Apabila

tanah mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2%, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5%. Bila dibandingkan fungsi tanah dasar pada perkerasan lentur, secara relatif fungsi tanah dasar pada perkerasan kaku (beton semen) tidak terlalu menentukan dalam arti kata bahwa perubahan besarnya daya dukung tanah dasar tidak terlalu berpengaruh terhadap ketebalan pelat beton. Sementara hubungan antara CBR dan modulus reaksi tanah dapat dilihat pada Gambar 3.



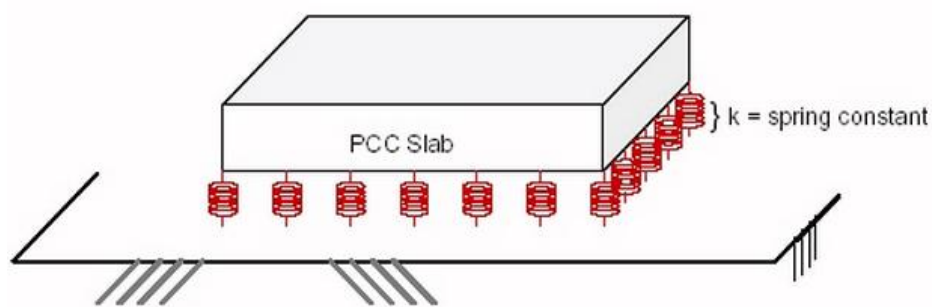
Gambar 3. Hubungan antara CBR dan modulus reaksi tanah dasar

Dapat disimak bahwa Road Note 29 (TRLL-UK) dinyatakan bahwa untuk tanah dasar dengan nilai CBR 2% sampai 15% tebal pelat beton dinyatakan sama tebal. Daya dukung tanah dasar pada konstruksi perkerasan beton semen, ditentukan berdasarkan nilai CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1744-1989. Apabila tanah mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2%, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus.

Kekuatan tanah dasar pada struktur perkerasan kaku dinyatakan dengan modulus reaksi tanah dasar (k) melalui pengujian *plate bearing*. Sebagai nilai wakil, maka nilai k standar tidak harus sama dengan nilai k yang digunakan dalam proses desain struktur perkerasan dan juga tidak harus selalu sama dengan data hasil pengukuran langsung pada struktur perkerasan eksisting. Ada empat nilai k standar yang disyaratkan, yaitu:

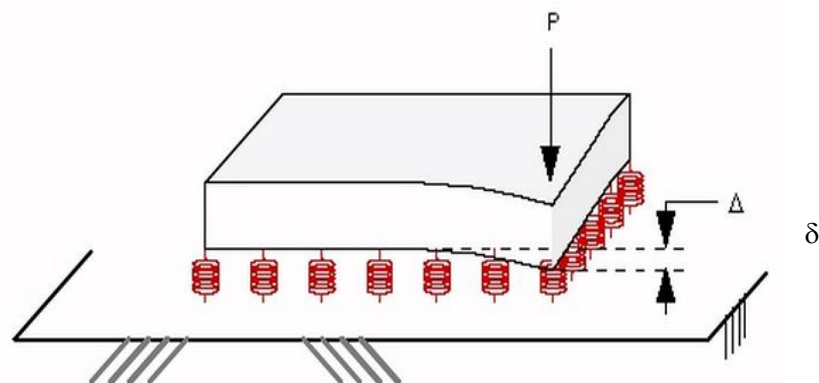
- 1) Kategori tinggi (kode A) dengan nilai k standar = 150 MN/m³ yang mewakili rentang nilai $k > 120$ MN/m³.
- 2) Kategori sedang (kode B) dengan nilai k standar = 80 MN/m³ yang mewakili rentang nilai $k = 60 \div 120$ MN/m³.
- 3) Kategori rendah (kode C) dengan nilai k standar = 40 MN/m³ yang mewakili rentang nilai $k = 25 \div 60$ MN/m³.
- 4) Kategori sangat rendah (kode D) dengan nilai k standar = 20 MN/m³ yang mewakili rentang nilai $k \leq 25$ MN/m³.

Modulus reaksi tanah dasar merupakan estimasi kapasitas dukung lapisan dibawah pelat beton pada perkerasan kaku. Modulus reaksi tanah dasar awalnya di kembangkan oleh Westergaard pada tahun 1920 yang menyatakan nilai k sebagai konstanta pegas pada model dukungan atau tumpuan di bawah pelat beton seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Modulus reaksi tanah dasar (Zhou, 2006)

Tekanan reaktif untuk melawan beban adalah sebanding dengan deformasi pada pegas (yang menunjukkan deformasi pada pelat beton) dan nilai k , sebagaimana digambarkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan beban, deformasi, dan modulus reaksi tanah dasar (Zhou, 2006)

2. Lapis pondasi (*subbase*)

Lapis pondasi ini terletak di antara tanah dasar dan pelat beton semen mutu tinggi. Sebagai bahan *subbase* dapat digunakan *unbound granular* (sirtu) atau *bound granular* (*CTSB, cement treated subbase*). Pada umumnya fungsi lapisan ini tidak terlalu struktural, maksudnya keberadaan dari lapisan ini tidak untuk menyumbangkan nilai struktur perkerasan beton semen. Fungsi utama dari lapisan ini adalah sebagai lantai kerja yang rata dan *uniform*. Apabila *subbase* tidak rata, maka pelat beton juga tidak rata. Ketidakrataan ini dapat berpotensi sebagai *crack inducer*.

Hanya ada satu lapis pondasi, yaitu lapis pondasi bawah. Karenanya dapat juga langsung disebut sebagai lapis pondasi. Pada umumnya fungsi lapis pondasi bawah (*sub-base*) untuk struktur perkerasan kaku, tidak berfungsi terlalu structural, dalam arti kata keberadaannya tidak untuk menyumbangkan nilai struktur terhadap tebal pelat beton. Menyediakan *sub-base* dengan harapan berinteraksi dengan *sub-grade* dalam usaha mengurangi tebal pelat beton adalah tidak ekonomis (Technical Note 45, CCA = *Cement and Concrete Association of Australia*).

Lapis pondasi pada perkerasan kaku mempunyai fungsi utama sebagai lantai kerja yang rata dan uniform, disamping fungsi lain sebagai berikut :

- 1) Mengendalikan kembang dan susut tanah dasar

2) Mencegah intrusi dan pemompoan pada sambungan retakan dan tepi-tepi pelat

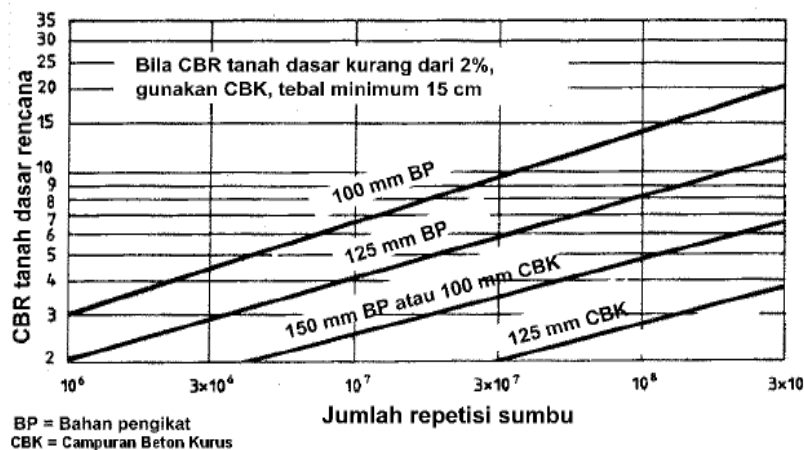
3) Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.

Permukaan lapis pondasi yang tidak rata, akan menyebabkan ketidakrataan pelat beton, yang dapat memicu timbulnya keretakan pelat.

Lapis pondasi bawah terdiri dari :

a) Pondasi bawah dengan mineral berbutir lepas (*unbound granular*), dapat juga berupa sirtu. Ketebalan minimum lapis pondasi bawah untuk tanah dasar dengan CBR minimum 5% adalah 15 cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah adalah 100%, sesuai SNI 03-1743-1989.

b) Pondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) atau *unbound granular subbase*, dikenal dengan nama CTSB (*Cement Treated Subbase*). Bahan pengikat dapat ditentukan dari jumlah repetisi beban seperti Gambar 6.



Gambar 6. Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton

3. Elemen pelat beton

Pelat beton terbuat dari beton semen mempunyai mutu tinggi, yang dicor setempat diatas pondasi bawah. Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30 –50 kg/cm²).

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik lentur beton dapat didekati dengan persamaan berikut:

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam MPa} \quad (1)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \quad (2)$$

Dengan pengertian:

f_c' : kuat tekan beton karakteristik 28 hari

f_{cf} : Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm²)

K : Konstanta, 0,7 untuk agregat tidak pecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (*steel fibre*) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Elemen pelat beton dibuat dari bahan biasa dipergunakan untuk konstruksi beton seperti semen, air dan agregat.

B. Kerusakan Pada Perkerasan Kaku

Tipe kerusakan yang umum terjadi pada perkerasan kaku dapat dikelompokkan dalam beberapa tipe kerusakan yang sejenis berdasarkan model kerusakan. Identifikasi masing-masing tipe kerusakan adalah sebagai berikut:

- 1) Deformasi (*deformation*) adalah penurunan permukaan perkerasan sebagai akibat terjadinya retak atau pergerakan diantara slab. Tipe kerusakan yang tergolong deformasi adalah :
 - a) Ambblas (*depression*): adalah penurunan permanen permukaan slab dan umumnya terletak di sepanjang retakan atau sambungan, kerusakan ini dapat menimbulkan terjadinya genangan air dan seterusnya masuk melalui sambungan atau retakan.
 - b) Patahan (*faulting*): adalah kerusakan yang ditandai dengan terjadinya perbedaan elevasi antara slab, akibat penurunan pada sambungan atau retakan.
 - c) Pemompaan (*Pumping*): adalah fenomena, dimana air atau lumpur keluar (terpompa) melalui sambungan atau retakan yang ditimbulkan oleh defleksi slab akibat beban lalu lintas. Pemompaan dapat mengurangi daya dukung perkerasan karena timbulnya rongga di bawah slab.
 - d) Rocking : adalah fenomena, dimana terjadi pergerakan vertical pada sambungan atau retakan, rocking dapat

disebabkan oleh pemompaan. Keberadaan rocking agak sulit diamati secara visual, akan tetapi dapat dirasakan bila kendaraan melintas diatas slab yang mengalami rocking.

2) Retak (*crack*) adalah retak pada perkerasan kaku mempunyai bentuk yang bermacam-macam, mulai dari retak tunggal sampai retak yang saling berhubungan. umumnya tipe retak yang terjadi adalah :

- a) Retak Blok (*block crack*): adalah retak saling berhubungan yang membentuk rangkaian blok berbentuk segi empat dan umumnya ukuran blok lebih besar dari 1 m.
- b) Retak sudut (*corner crack*): adalah yang memotong secara diagonal dari tepi atau sambungan memanjang ke sambungan melintang.
- c) Retak diagonal (*diagonal crack*): adalah retak yang tidak berhubungan dan garis retakannya memotong slab.
- d) Retak memanjang (*longitudinal crack*): adalah retak yang tidak berhubungan dan merambat kearah memanjang slab.
- e) Retak melintang (*transverse crack*): adalah retak yang tidak berhubungan dan merambat kearah melintang slab.
- f) Retak tidak beraturan (*meandering crack*): adalah retak yang tidak berhubungan, polanya tidak beraturan, dan umumnya merupakan retak tunggal

- 3) Kerusakan pengisi sambungan (*joint seal defects*): merupakan kerusakan yang terjadi pada pengisi sambungan slab yang disebabkan oleh pengausan dan pelapukan bahan pengisi, kualitas bahan pengisi yang rendah, dan terlalu sedikit atau tidak cukup bahan pengisi dalam sambungan
- 4) Gompal (*spalling*): adalah pecah yang umumnya terjadi pada bagian tepi permukaan slab, sambungan, sudut atau retakan
- 5) Penurunan bagian tepi slab (*edge drop-off*): adalah penurunan yang terjadi pada bahu yang berdekatan dengan tepi slab.
- 6) Kerusakan tekstur permukaan (*surface texture defect*) adalah kerusakan atau keausan yang berkaitan dengan kualitas beton, kerusakan ini dapat dikelompokkan menjadi :
 - 7) Lubang (*pothole*) adalah pelepasan mortar dan agregat pada bagian permukaan perkerasan yang membentuk cekungan dengan kedalaman lebih dari 15 mm dan tidak memperlihatkan pecahan-pecahan yang bersudut seperti pada gompal. Kedalamannya dapat berkembang dengan cepat dengan adanya air.

C. Bahan Penyusun Beton

1. Semen

Semen adalah perekat hidrolis yang berarti bahwa senyawa-senyawa yang terkandung di dalam semen tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan. Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu: 1). Semen non-hidrolik dan 2). Semen hidrolik. Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air. Contoh semen hidrolik antara lain semen portland, semen pozzolan, semen alumina, semen terak, semen alam dan lain-lain. Lain halnya dengan semen hidrolik, semen non hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non hidrolik adalah kapur (Mulyono, 2003).

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok

yang berfungsi sebagai pengisi. (Tjokrodimulyo, 1992). Susunan kimia dari semen dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1. Susunan oksida semen portland

Oksida	% rata-rata
Kapur (CaO)	31 - 57
Silika (SiO ₂)	22 - 29
Alumunia (Al ₂ O ₃)	5,2 – 8,8
Besi (Fe ₂ O ₃)	1,5 – 3,2
Magnesia (MgO)	1,5 – 2,2
Sulfur (SO ₃)	2

Sumber: Try Mulyono (2003)

Pada umumnya semen berfungsi untuk:

- 1) Bercampur dengan untuk mengikat pasir dan kerikil agar terbentuk beton.
- 2) Mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat.

Senyawa-senyawa kimia dari semen portland adalah tidak stabil secara termodinamis, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Untuk membentuk produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen adalah berbeda-beda, maka sifat-sifat hidrasi masing-masing komponen perlu dipelajari.

1. *Tricalcium Silikat (C3S) = 3CaO.SiO₂*. Senyawa ini mengalami hidrasi yang sangat cepat yang menyebabkan pengerasan awal, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat air tanah, oleh perubahan volume kemungkinan mengalami retak-retak.

2. *Dicalcium Silikat (C2S)* = $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, kualitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.
3. *Tricalcium Aluminate (C3A)* = $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.
4. *Tetracalcium Aluminoferrit (C4Af)* = $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}_3$. Adanya senyawa Aluminoferrit kurang penting karena tidak banyak berpengaruh terhadap kekuatan dari sifat semen.

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya. semen portland di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut:

- a) Jenis I adalah semua semen portland untuk tujuan umum, biasa tidak memerlukan sifat-sifat khusus misalnya, gedung, trotoar, jembatan, dan lainlain.
- b) Jenis II semen portland yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang dan ketahanan terhadap sulfat lebih baik,

penggunaannya pada pir (tembok di laut dermaga), dinding tahan tanah tebal dan lain-lain.

- c) Jenis III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan dicapai umumnya dalam satu minggu. Umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus cepat dipakai.
- d) Jenis IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum.
- e) Jenis V adalah semen portland tahan sulfat, dipakai untuk beton dimana menghadapi aksi sulfat yang panas. Umumnya dimana tanah atau air tanah mengandung sulfat yang tinggi.

Sedangkan menurut SNI 15-7064-2004, semen Portland komposit (PCC) terbuat dari bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak (klinker) semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blast founance slag) pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen Portland komposit. Semen ini dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen batu khusus seperti beton pracetak, beton pratekan,

panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya (Wihardi Tjaronge, 2012)

2. Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, yang mencapai 70%-75% dari volume beton, sehingga agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis.

a. Karakteristik agregat.

Menurut Mulyono (2003), karakteristik agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Sifat fisik dan mekanis (karakteristik) agregat yang digunakan Indonesia harus memenuhi syarat SII 0052-80, "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton" dan ketentuan yang diberikan oleh ASTM C-33-82, "*Standard Specification for Concrete Agregates*".

Sedangkan Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bendungan dan lainnya. Agregat halus biasa dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan dengan kerikil, split, atau batu pecah.

b. Agregat kasar.

Menurut ASTM C33 agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4,75 mm (saringan no.4). Dalam pelaksanaannya tidak semua kerikil dapat digunakan sebagai agregat

kasar dalam campuran beton. Hal ini disebabkan karena ada syarat-syarat tertentu yang harus dipenuhi oleh kerikil atau batu pecah yang menentukan layak tidaknya agregat tersebut untuk digunakan sebagai campuran beton. Pada Tabel 2 merupakan syarat gradasi agregat kasar.

Tabel 2. Syarat gradasi agregat kasar (*British Standard*)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan		
	Berat butir maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: Tri Mulyono (2003)

- Modulus halus butir (HMB).

Modulus kehalusan butir (*Fineness Modulus*) atau F_k agregat kasar dapat dihitung dengan:

$$F_k = \frac{\% \text{ tinggal kumulatif } \geq \text{ saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \quad (3)$$

Spesifikasi modulus halus butir agregat kasar menurut ASTM yaitu 5,5% – 8,5%.

- Absorpsi dan berat jenis (*appesific gravity*) agregat kasar.

Dalam (SNI 1969:2008) kapasitas absorpsi dan berat jenis agregat kasar dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Absorpsi} = \frac{(A - C)}{C} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Berat jenis kering (SSD)} = \frac{A}{(A - B)} \quad (5)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{C}{(C - B)} \quad (6)$$

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{C}{(A - B)} \quad (7)$$

A adalah berat contoh kondisi SSD di udara (gram), B adalah berat contoh kondisi SSD di dalam air (gram) dan C adalah berat contoh kering di udara (gram). Spesifikasi agregat untuk beton normal menurut ASTM adalah berat jenis agregat kasar yaitu 1,60–3,20 kg/liter dan absorpsi pada nilai 0,2 – 4,0%.

- Berat volume agregat kasar.

Berat volume agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$\text{Berat volume agregat} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (8)$$

Dimana; W_1 adalah berat kontainer (kg), V adalah volume kontainer (cm^3), W_2 adalah berat kontainer + kerikil (kg). Spesifikasi berat volume agregat kasar menurut ASTM yaitu 1,6 – 1,9 kg/liter.

- Kadar air agregat kasar

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(C - D)}{C} \quad (9)$$

Dimana, C adalah berat basah (kondisi lapangan), D adalah berat kering (setelah dioven). Spesifikasi kadar air agregat kasar menurut ASTM yaitu 0,5% - 2,0%.

- Persentase keausan

$$\text{Persentase Keausan} = \frac{(A - B)}{A} \times 100\% \quad (10)$$

A adalah berat kering bersih (gram), B adalah berat setelah tes abrasi (gram). Spesifikasi keausan agregat beton menurut ASTM yaitu 15%-50%.

- Kadar lumpur

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(A - B)}{A} \times 100\% \quad (11)$$

A adalah berat kering bersih, B adalah berat kering sebelum dicuci. Kadar lumpur agregat beton menurut spesifikasi ASTM yaitu 0,2%-1,0%.

c. Agregat halus.

Agregat halus menurut ASTM C33 adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,75 mm, modulus halus butir 2,3 sampai 3,1, kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron, dalam persen berat maksimum untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3% sedangkan untuk beton jenis lainnya sebesar 5% selain itu juga bahan ini harus memiliki kadar zat organik yang tidak mengasikkan warna yang lebih tua dibanding warna standar jika dicampur dengan larutan natrium sulfat. Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4,75 mm dibagi lagi menjadi dua: yang berdiameter antara 4,75-40 mm disebut

kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar. Agergat yang digunakan dalam pencampuran beton harus dengan spesifikasi sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

- Gradasi agregat halus.

Batas Gradasi agregat halus Menurut SK.SNI T-15-1990-03 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas gradasi agregat halus (SK.SNI T-15-1990-03)

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
	60-95	75-100	85-100	95-100
2,4	30-70	55-90	75-100	90-100
	15-34	35-59	60-79	80-100
1,2	5-20	8-30	12-40	15-50
	0-10	0-10	0-10	0-15
0,3				
0,15				

Sumber: Tri Mulyono (2003)

Daerah gradasi I = pasir kasar, daerah gradasi II = pasir agak kasar, Daerah gradasi III = pasir halus, Daerah gradasi IV= Pasir agak halus.

- Modulus halus butir (MHB)

Modulus kehalusan butir (*Fineness Modulus*) agreagat halus dihitung dengan rumus:

$$F_p = \frac{\% \text{ tinggal kumulatif } \geq \text{ saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \quad (12)$$

Dimana, F_p adalah modulus kehalusan pasir. Syarat modulus halus butir (MHB) untuk beton menurut ASTM yaitu 2,20% – 3,10%. MHB 2,5 s/d 3,0 disarankan untuk beton mutu tinggi (Larrard, 1990)

- Berat jenis (*specific gravity*)

$$\text{Berat jenis curah dalam air} = \frac{E}{B + D - C} \quad (13)$$

$$\text{Berat jenis curah (SSD)} = \frac{B}{B + D - C} \quad (14)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{E}{E + D - C} \quad (15)$$

B adalah berat contoh kondisi SSD (gram), C adalah berat piknometer + air + contoh SSD (gram), D adalah berat piknometer + air, E adalah berat contoh kering di udara. Syarat berat jenis agregat halus menurut ASTM yaitu 1.60 – 3.2 kg/liter.

- Absorpsi (penyerapan air)

$$\text{Absorpsi} = \frac{B - E}{E} \times 100\% \quad (16)$$

B adalah berat contoh kondisi SSD (gram), E adalah berat contoh kering di udara. (gram). Syarat absorpsi (penyerapan) menurut ASTM 0,2% – 2,0%.

- Berat volume.

$$\text{Berat volume agregat} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (17)$$

W_1 adalah berat kontainer (kg), V adalah volume kontainer (cm^3), W_2 adalah berat kontainer + pasir (kg). Spesifikasi agregat kasar menurut ASTM C29 yaitu 1,6 – 1,9 kg/liter.

- Kadar air.

$$\text{Kadar air} = \frac{(C - D)}{C} \times 100\% \quad (18)$$

C adalah berat basah (kondisi lapangan), D adalah berat kering (setelah dioven). Spesifikasi kadar air agregat menurut ASTM yaitu 3% - 5%.

- Kadar lumpur.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(A - B)}{A} \times 100\% \quad (19)$$

A adalah berat kotor kering, B adalah berat bersih kering. Kadar lumpur agregat beton menurut spesifikasi ASTM yaitu 0,2%-6,0%.

3. Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan yang lemah.

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sugai, danau, telaga, kolam, situ dan lainnya), air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

- 1) Sifat *workability* adukan beton.
- 2) Besar kecilnya nilai susut beton
- 3) Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu.
- 4) Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (Tjokrodimulyo, 1992) :

- a) Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gr/ltr.
- b) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
- c) Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
- d) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

D. Beton Serat

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (*fibre*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Karena ditambah serat, maka menjadi suatu bahan komposit yaitu beton dan serat. Serat dapat berupa asbestos, gelas / kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan seperti rami, ijuk. Maksud utama penambahan serat kedalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah. Kuat tarik yang sangat rendah berakibat beton mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi lebih tahan retak. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitas.

Penambahan serat baja pada beton tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan tapi terbukti dapat meningkatkan kekuatan lentur pada beton. Pada beton diperkuat secara beban dan deformasi dialihkan kepada serat. Dengan serat kuat tegar, sejumlah fraksi volume minimum tertentu akan tercapai peningkatan sifat serta kekuatan statis dan dinamis. Dalam pemakaiannya, hal yang menjadi pembatas adalah masalah harga, karena sampai saat ini harga serat masih mahal. Namun demikian karena kebutuhan, maka beton serat sudah sering dipakai pada (Ananta Ariatama, 2007) :

- a) Lapisan perkerasan jalan dan lapangan udara, untuk mengurangi retak dan mengurangi ketebalannya.

- b) Jalan plaza tol
- c) Putaran dan pemberhentian bus.

Penggunaan serat pada adukan beton pada intinya memberikan pengaruh yang baik yaitu dapat memperbaiki sifat beton antara lain dapat meningkatkan daktilitas dan kuat lentur beton. Retak-retak yang membawa keruntuhan pada struktur beton biasanya dimulai dari retak rambut (*micro crack*).

Peningkatan kuat tekan fiber antara 0,8% sampai dengan 6% dari hasil penelitian tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu besar terhadap beton normal namun setelah tercapainya tegangan maksimum beton fiber masih dapat mempertahankan tegangan sebesar 55% dari tegangan maksimum meskipun telah terjadi regangan (deformasi) yang cukup besar, ini menunjukkan bahwa beton fiber bersifat daktail. Pada beton diperkuat serat beban dan deformasi dialihkan kepada serat. Dengan serat kuat tegar, sejumlah fraksi volume minimum tertentu akan tercapai peningkatan sifat serta kekuatan statis dan dinamis. Pada prinsipnya serat berfungsi sebagai penahan retak, mengurangi penyebaran retak dan kemudian mentrasfer sifat getas beton ke dalam suatu komposit yang kuat dengan daya tahan terhadap retak yang besar, peningkatan daktilitas dan keretakan lanjutan sebelum runtuh (Arafat Akbar dan Zica Bayu Setiadi, 2008).

Secara umum penambahan fiber dapat meningkatkan kuat tarik beton, dimana serat pada beton dapat menghambat gaya tarik belah

dikaitkan dengan susunannya yang acak. Sehingga untuk membelah/menghancurkan beton tersebut akan dibutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan apabila tanpa fiber. Dari hasil pengujian terhadap benda–benda uji disimpulkan dengan adanya serat pada beton dapat mencegah retak-retak rambut menjadi retakan yang lebih besar. Dengan penambahan serat pada adukan beton ternyata dapat meningkatkan ketahanan terhadap daktilitas, beban kejut (*impact resistance*) dan kuat desak. Tingkat perbaikannya tidak kalah dengan hasil–hasil yang dilaporkan diluar negeri dengan menambahkan *steel fiber* yang asli (Sukoyo, 2011)

Dalam proses penambahan serat dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

- a) Proses kering yaitu penambahan serat ke dalam campuran beton sebelum ditambah air.
- b) Proses basah yaitu penambahan serat ke dalam campuran beton setelah ditambahkan air.

Beberapa hal yang perlu mendapat perhatian khusus pada beton fiber ini adalah masalah *fiber dispersion* atau teknik pencampuran adukan agar fiber yang ditambahkan dapat tersebar merata dengan orientasi yang *random* dalam beton dan masalah kelecakan (*workability*) adukan. Secara umum dapat dijelaskan bahwa dengan memodifikasikan proporsi adukan adalah memperkecil diameter maksimum agregat. Dan memodifikasi teknik pencampuran adukan (*mixing technique*) maka masalah *fiber*

dispersion dapat diatasi. Untuk masalah *workability*, secara umum dapat pula dikatakan bahwa *workability* akan menurun seiring dengan makin banyaknya prosentase fiber yang ditambahkan dan makin besarnya rasio kelangsingan fiber. Jenis-jenis serat dapat dilihat pada Tabel 4.

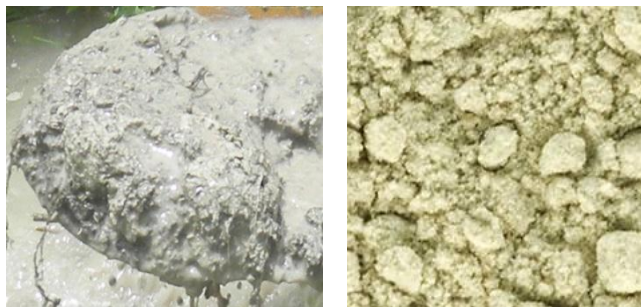
Tabel 4. Jenis-jenis serat dan sifat-sifat fisiknya

Jenis Serat	Tegangan tarik (N/mm ²)	Kemampuan Mulur (%)	Spesific Gravity
Acrylic	210-420	25 - 45	1.10
Asbestos	560-985	0.6	3.20
Catton	420-700	3 – 10	1.5
Glass	1050-3870	1,5 – 3,5	2.5
Nylon	780-850	16 – 20	1.1
Polyster	750-880	11 – 13	1.4
Polythelene	-700	10	0.95
Polypropoline	560-780	25	0.90
Rayon	420-360	10 – 25	1.5
Steel	280-420	0.5 - 25	7.8

Sumber : M. L. Gambhir, hal 215

E. Bentonit

Bentonit adalah *clay* yang sebagian besar terdiri dari montmorillonit dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspars, dan mineral lainnya. Montmorillonit merupakan bagian dari kelompok *smectit* dengan komposisi kimia secara umum $(\text{Mg,Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Mineral monmorillonit terdiri dari partikel yang sangat kecil sehingga hanya dapat diketahui melalui studi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Nama monmorilonit itu sendiri berasal dari Perancis pada tahun 1847 untuk penamaan sejenis lempung yang terdapat di Monmorilonit Prancis yang dipublikasikan pada tahun 1853 – 1856. Bentuk visual bentonit dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Bentonit

Sebelum digunakan dalam berbagai aplikasi, bentonit harus diaktifkan dan diolah terlebih dahulu. Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk aktivasi bentonit, yaitu :

- a) Secara Pemanasan. Pada proses ini, bentonit dipanaskan pada temperatur 300-350°C untuk memperluas permukaan butiran Bentonit.
- b) Secara Kontak Asam. Tujuan dari aktivasi kontak asam adalah untuk menukar kation Ca⁺ yang ada dalam Ca-bentonit menjadi ion H⁺ dan melepaskan ion Al, Fe, dan Mg dan pengotor-pengotor lainnya pada kisi-kisi struktur, sehingga secara fisik bentonit tersebut menjadi aktif. Untuk keperluan tersebut asam sulfat dan asam klorida adalah zat kimia yang umum digunakan. Selama proses *bleaching* tersebut, Al, Fe, dan Mg larut dalam larutan, kemudian terjadi penyerapan asam ke dalam struktur Bentonit, sehingga rangkaian struktur mempunyai area yang lebih luas.

Berdasarkan tipenya, bentonit dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu Na-bentonit dan Ca-bentonit.

1. Na-bentonit

Na-bentonit memiliki daya mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam keadaan kering berwarna putih atau krem, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Na-bentonit dimanfaatkan sebagai bahan perekat, pengisi, lumpur bor, sesuai sifatnya mampu membentuk suspensi koloidal setelah bercampur dengan air.

2. Ca-bentonit

Tipe Bentonit ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air, tetapi secara alami setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Dalam keadaan kering berwarna abu-abu, biru, kuning, merah, coklat. Ca-bentonit banyak dipakai sebagai bahan penyerap. Dengan penambahan zat kimia pada kondisi tertentu, Ca-bentonit dapat dimanfaatkan sebagai bahan lumpur bor setelah melalui pertukaran ion, sehingga terjadi perubahan menjadi Na-bentonit dan diharapkan menjadi peningkatan sifat reologi dari suspensi mineral tersebut. Kegunaan lain dari Ca-bentonit sebagai bahan penyerap, industry farmasi, zat pemutih (penghilang warna), sebagai perekat pasir dalam pengecoran baja dan lain-lain. (<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/bentonit>).

Unsur-unsur kimia Na-bentonit dan ca-bentonit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam Bentonit

Komposisi kimia	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO ₂	61,3-61,4	62,12
Al ₂ O ₃	19,8	17,33
Fe ₂ O ₃	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na ₂ O	2,2	0,50
K ₂ O	0,4	0,55
H ₂ O	7,2	7,22

Sumber : Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Prop. Sulawesi Selatan

Secara umum asal mula terjadinya endapan Bentonit ada 4, yaitu ;

- 1) Terjadi karena Proses Pelapukan Batuan. Faktor utama yang menyebabkan pelapukan batuan adalah komposisi kimiawi mineral batuan induk, dan kelarutannya dalam air. Mineral-mineral utama dalam pembentukan Bentonit adalah plagioklas, kalium-feldspar, biotit, muskovit, serta sedikit kandungan senyawa alumina dan ferromagnesia. Secara umum, faktor yang mempengaruhi pelapukan batuan ini adalah iklim, jenis batuan, relief, dan tumbuh-tumbuhan yang berada di atas bantuan tersebut.
2. Terjadi karena Proses Hidrotermal di Alam. Proses batuan mempengaruhi alternasi yang sangat lemah, sehingga mineral-mineral yang kaya akan magnesium, seperti biotit cenderung membentuk mineral klorit. Kehadiran unsur-unsur logam alkali dan alkali tanah (kecuali kalium), mineral mika, ferromagnesia, feldspar, dan plagioklas pada umumnya akan membentuk monmorilonit, terutama disebabkan karena adanya unsur magnesium. Larutan hidrotermal merupakan larutan yang bersifat asam dengan kandungan klorida, sulfur, karbon dioksida, dan silika. Larutan alkali ini selanjutnya akan terbawa keluar dan bersifat basa, dan akan tetap bertahan selama unsur alkali tanah tetap terbentuk sebagai akibat penguraian batuan asal dan adanya unsur alalkali tanah akan membentuk bentonit.

3. Terjadi karena Proses Transformasi. Proses transformasi (pengabuan) abu vulkanis yang mempunyai komposisi gelas akan menjadi mineral lempung yang lebih sempurna, terutama pada daerah danau, lautan, dan cekungan sedimentasi. Transformasi dari gunung berapi yang sempurna akan terjadi apabila debu gunung berapi diendapkan dalam cekungan seperti danau dan air. Bentonit yang terjadi akibat proses transformasi pada umumnya bercampur dengan sedimen laut lainnya yang berasal dari daratan, seperti batu pasir dan danau.
4. Terjadi karena Proses Pengendapan Batuan. Proses pengendapan bentonit secara kimiawi dapat terjadi sebagai endapan sedimen dalam suasana basa (alkali), dan terbentuk pada cekungan sedimen yang bersifat basa, dimana unsur pembentuknya antara lain: karbonat, silika, fosfat, dan unsur lainnya yang bersenyawa dengan unsur aluminium dan magnesium (Supeno, M. 2009).

Pada Gambar 8 merupakan lokasi cadangan bentonit di Kabupaten Jenepono dan cadangan bentonit di Sulawesi selatan dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 8. Lokasi tambang Bentonit di Desa Karama Kab. Jeneponto

Tabel 6. Cadangan Bentonit di Sulawesi Selatan

LOKASI	CADANGAN
Kab. Takalar (<i>Laikang</i>)	8.000.000 m ³
Kab. Gowa (<i>Danau Mawang</i>)	12.000.000 ton
Kab. Jeneponto	20.000.000 ton
Kab. Pinrang	10.000.000 ton
Kab. Wajo	<i>Belum diketahui</i>
Kab. Enrekang	<i>Belum diketahui</i>
Kab. Tanatoraja	<i>Belum diketahui</i>

Sumber : Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Prop. Sulawesi Selatan. (2006)

F. Penelitian Terdahulu

1. Muhammad Ilham Mustari (2011)

Dalam penelitian *Studi Kuat Lentur Beton Pada Perkerasan Kaku Dengan Penambahan Serat Fiberglass Pada Beton Normal*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat *fiberglass* kedalam beton dapat meningkatkan nilai lenturnya akan tetapi penambahan terlalu banyak serat kedalam beton juga mengurangi kuat lentur beton. Jadi nilai optimum kuat lentur terjadi pada penambahan serat *fiberglass* sebesar 0.1% dengan mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 12.05% dari beton normal. Dengan adanya peningkatan kekuatan lentur tersebut memberikan gambaran bahwa pada penambahan serat *fiberglass* kedalam beton memberikan pengaruh terhadap peningkatan dan penurunan kuat lentur beton.

2. Arafat Akbar dan Zico Bayu Setiadi (2008)

Dalam penelitian *Kuat Lentur dan Geser Balok Beton Yang Menggunakan Bendrad Sebagai Serat*. Penambahan serat baja pada balok beton terbukti berpengaruh terhadap pola retak. Penambahan serat baja 1,5% juga menambah kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik, modulus elastisitas dan kuat geser.

3. Mage Haris Wahyudi (2008)

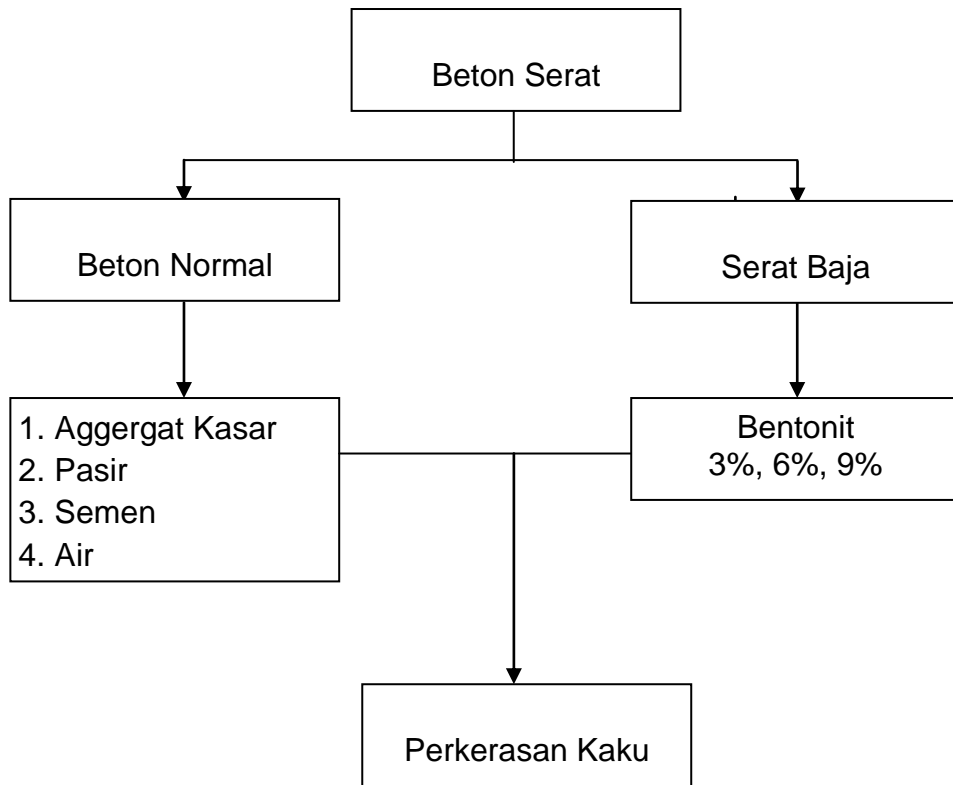
Penelitian yang berjudul studi penelitian *Pengaruh Penambahan Bentonite pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*. Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan bentonite, pada kuat tekan akan mengalami kenaikan pada dosis penambahan 2% - 4% dan turun pada penambahan lebih dari 6 %.

4. M.Syafri R

Penelitian yang berjudul *Studi Perkerasan Kaku (RIGID PAVEMENT) Tanpa Tulangan Menggunakan Kaolin Sebagai Bahan Tambah*. Dari penelitian diperoleh bahwa kuat desak beton yang tertinggi terdapat pada Campuran Beton penggantian Kaolin 0% yaitu sebesar Beton penggantian Kaolin 10% yaitu sebesar 30,27 MPa . Bahwa dengan penggantian 10% Kaolin mempunyai kuat desak lebih rendah dibandingkan dengan beton normal.

G. Kerangka Pikir

Berdasarkan pada latar belakang bahwa beton serat adalah beton yang terdiri dari beton normal ditambahkan serat, dimana pada penelitian ini serat yang digunakan adalah serat baja. Beton normal sendiri terdiri dari bahan dasar semen, agregat dan air. Tujuan ditambahkan Bentonit sebagai pengganti sebagian agregat halus diharapkan dapat melahirkan kekuatan pelat pada perkerasan kaku. Bagan alir pada kerangka pikir dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Kerangka Pikir