

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 Djameluddin 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

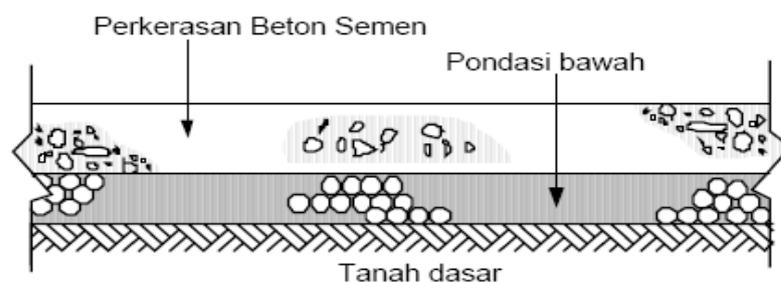
TINJAUAN PUSTAKA

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.



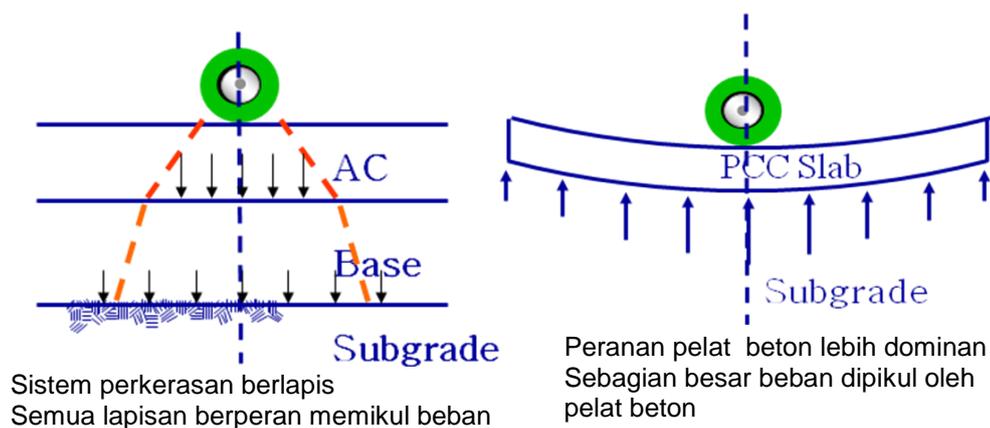
Gambar 1. Tipikal struktur perkerasan beton semen

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*)

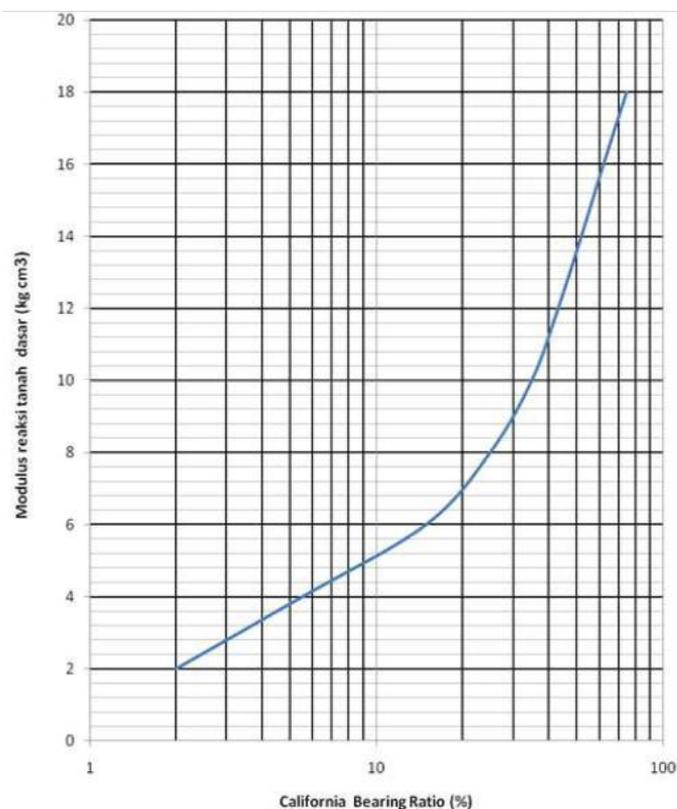
Dalam struktur perkerasan beton semen, tanah dasar hanya dipengaruhi tegangan akibat beban lalu lintas dalam jumlah relatif kecil, akan tetapi daya dukung tanah dan keseragaman tanah dasar sangat

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.



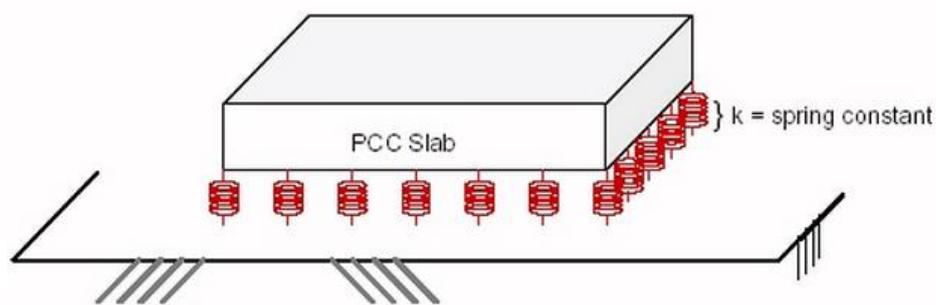
Gambar 3. Hubungan antara CBR dan modulus reaksi tanah dasar

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:

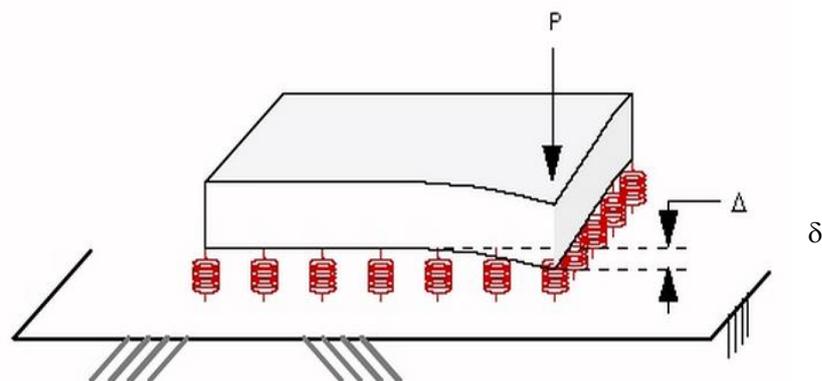
- 1) Kategori tinggi (kode A) dengan nilai k standar = 150 MN/m³ yang mewakili rentang nilai $k > 120$ MN/m³.
- 2) Kategori sedang (kode B) dengan nilai k standar = 80 MN/m³ yang mewakili rentang nilai $k = 60 \div 120$ MN/m³.
- 3) Kategori rendah (kode C) dengan nilai k standar = 40 MN/m³ yang mewakili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

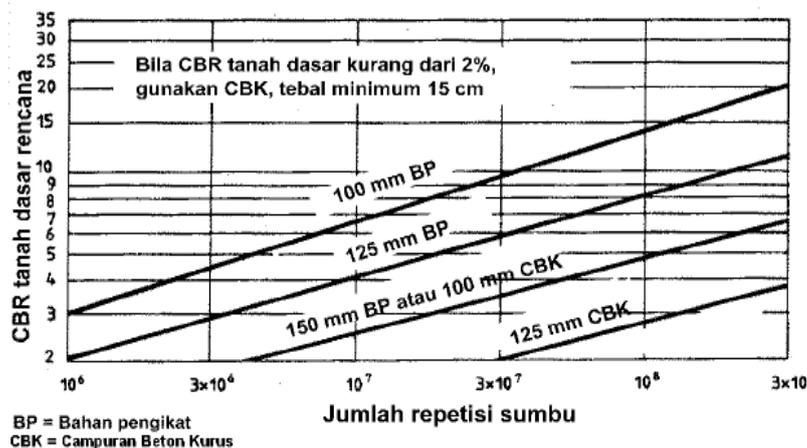
3) Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.

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 Alumate (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. *Tetracalsium Aluminoforit (C4Af)* = $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}_3$. Adanya senyawa Aluminoforit 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)

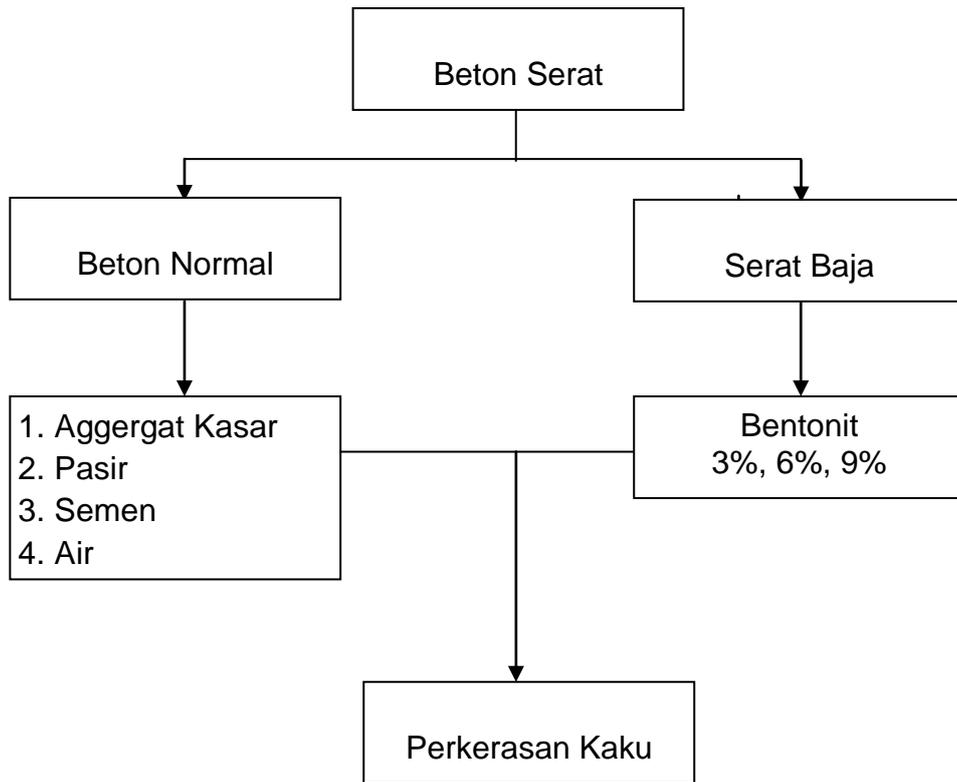
Penelitian yang berjudul studi penelitian *Pengaruh Penambahan Bentonite pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*. Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan bentonite, pada kuat tekan akan mengalami kenaikan pada dosis penambahan 2% - 4% dan turun pada penambahan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

BAB III

METODE PELAKSANAAN PENELITIAN

A. Umum

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan kajian pengaruh beton serat yang menggunakan Bentonit terhadap kekuatan perkerasan kaku. Penelitian yang di Laboratorium Bidang dan Pengembangan Teknologi Binamarga Provinsi Sulawesi Selatan melakukan perancangan campuran beton (*mix design*) dengan metode SNI 03-2834-2002 yang dimuat pada pedoman Tata Cara Rancangan Campuran Beton. Metode pengujian agregat mengacu pada ASTM C33 “*Standard Test Method For Compressive Cylindrical Concrete Spesimens*” (ASTM, 1993). Sementara pengujian kuat tekan dilakukan dengan metode SNI 03-1974-1990 dan pengujian kuat tarik lentur dengan metode SNI 03-4431-1997.

B. Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bidang dan Pengembangan Teknologi Dinas Binamarga Provinsi Sulawesi Selatan selama 2 bulan. Sementara penyusunan laporan dilakukan kurang lebih 2 bulan.

C. Data dan Sampel

1. Data

Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer yakni data yang dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian penelitian dan analisis. Data primer tersebut yaitu; nilai karakteristik karakteristik agregat kasar dan agregat halus (modulus halus butir, berat jenis, berat volume, kadar air, kadar lumpur dan lempung, dan kekerasan agregat), kuat tekan rata-rata dari mutu beton yang dihasilkan serta data dari kuat tarik lentur. Sementara data sekunder adalah data dari lembaga kerkaitan atau hasil penelitian terdahulu yang diantaranya adalah data geologi dari penelitian terdahulu.

2. Sampel

Material agregat kasar dan agregat halus berasal dari sungai Bili-Bili Kecamatan Moncong Loe Kabupaten Gowa sedangkan Bentonit diambil dari Desa Karama Kabupaten Jeneponto. Sementara benda uji beton kubus dibuat dengan target kuat tekan K 300.

D. Alat dan Bahan

Untuk kemudahan dalam melaksanakan proses penelitian diperlukan alat-alat dan bahan sebagai berikut:

1. Alat

Untuk meringankan pekerjaan dalam penelitian ini, maka diperlukan alat-alat yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Daftar alat-alat penelitian

No.	Alat	Kegunaan
1.	Cetakan silinder	Mencetak sampel dalam penelitian.
2.	Oven	Pengirangan agregat.
3.	Piring logam uji	Menampung agregat di oven.
4.	Mesin siever	Pengayakan mekanik.
5.	Ayakan	Penyaringan agregat
6.	Timbangan	Menimbang bahan-bahan
7.	Gelas ukur	Menakar air
8.	Ember	Menampung agregat
9.	Kerucut Abrams	Pengujian slump
10.	Mesin listrik (molen)	Pencampuran adukan beton
11.	Sekop	Mengaduk agregat
12.	Kaliper	Mengukur benda uji
13.	Mesin uji desak	Tes desak beton
14.	Loading test	Tes Deformasi
15.	Kolam penampung	Menjaga kelembaban beton/perawatan
16.	benda uji & karung	beton

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Agregat kasar (batu pecah) dari Desa Bili-Bili.
- 2) Agregat halus (pasir) dari Desa Bili-Bili.

- 3) Semen yang digunakan adalah Portland Composite Cement (PCC) merek Tonasa.
- 4) Bentonit yang diperoleh di Kabupaten Jeneponto. Bentonit yang digunakan secara praktis, yaitu tanpa melalui pemanasan terlebih dahulu. Sebelum digunakan Bentonit tersebut dikeringkan hingga kadar air berkurang, kemudian dihaluskan. Setelah itu Bentonit dimasukkan bersamaan kedalam campuran Beton
- 5) Serat Baja (Steel fiber)
- 6) Air dari Laboratorium Bidang dan Pengembangan Teknologi Dinas Binamarga Provinsi Sulawesi Selatan.

E. Pemeriksaan Bahan

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian sebagai berikut:

- 1) Persiapan bahan dan peralatan yang akan digunakan.
- 2) Pemeriksaan agregat halus (pasir) yaitu:
 - a. Analisa saringan / gradasi.
 - b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
 - c. Pemeriksaan berat volume.
 - d. Pemeriksaan kadar air.
 - e. Pemeriksaan kadar lumpur dan lempung.
 - f. Pemeriksaan kadar organik.
- 3) Pemeriksaan agregat kasar (batu pecah) yaitu:

- a. Analisa saringan / gradasi.
- b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
- c. Pemeriksaan berat volume.
- d. Pemeriksaan kadar air.
- e. Pemeriksaan Kadar lumpur dan lempung.
- f. *Abrasion test* / uji kekerasan (keausan).

F. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Langkah - langkah mix design dengan metode SNI-03-2834-2002 tentang Tata Cara Rancangan Campuran Beton :

- 1) Penetapan target standar deviasi (S_r , kg/cm²). Nilai S_r diambil sesuai dengan kuat karakteristik beton rencana dan tergantung dari tingkat pelaksanaan.
- 2) Menghitung besarnya margin (M).
- 3) $M = 1,64 \times s_r$ jika $S_r < 4 \text{ Mp}$.
 $M = 2,64 \times s_r$ jika $s_r > 4 \text{ Mp}$ Dalam perencanaan mix design pada penelitian ini digunakan $M = 1,64$ karena $s_r = 1 \text{ Mpa}$
- 4) Menghitung kuat tekan rata-rata (f'_{cr})
- 5) Penetapan tipe agregat
 - a. Agregat halus = Pasir Alami
 - b. Agregat kasar = Batu pecah
- 6) Penetapan faktor air semen (f_{as}).
- 7) Penetapan slump (mm)

8) Penetapan kadar air bebas (kg/m^3 beton)

a. Kadar air bebas = W_f → jika pasir + kerikil

b. Kadar air bebas = $(2/3 \times W_f) + (1/3 \times W_c)$, jika pasir+batu pecah

9) Penetapan kadar semen (kg/m^3 beton)

$$\frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air semen}} \quad (20)$$

10) Penetapan perkiraan berat jenis spesifik gabungan, Berat jenis spesifik gabungan =

$$(a\% \times \text{B.J. spesifik pasir}) + (b\% \times \text{B.J spesifik kerikil}) \quad (21)$$

Dimana :

a = prosentase penggabungan agregat halus (penggabungan).

b = prosentase penggabungan agregat kasar (penggabungan)

11) Perkiraan berat volume beton segar (basah)

12) Penetapan porsi agregat

$$\text{Berat agregat halus (A)} = a\% \times (D - W_s - W_a) \quad (22)$$

$$\text{Berat agregat kasar (B)} = b\% \times (D - W_s - W_a) \quad (23)$$

Dimana :

a = prosentase penggabungan agregat halus (pasir)

b = prosentase penggabungan batu pecah (kerikil)

D = berat volum beton segar (kg/m^3)

W_s = kadar semen (kg/m^3 beton)

W_a = kadar air bebas (kg/m^3 beton)

A = Berat agregat halus kondisi SSD (kg/m^3)beton

B = Berat agregat kasar kondisi SSD (kg/m^3)beton

13) Hasil rancang campuran beton teoritis

Air = $W_a \text{ kg/m}^3$ beton

Semen = $W_a \text{ kg/m}^3$ beton

Pasir = $A \text{ kg/m}^3$ beton

Batu pecah = $B \text{ kg/m}^3$ beton

14) Koreksi campuran beton dengan cara eksak (rasional)

Rumus umum :

$$BL = \frac{B_{SSD}}{(1+R\%) + (1-W\%)} \quad (24)$$

Dengan memakai indeks p untuk pasir dan k batu pecah, maka diperoleh koreksi secara acak sebagai berikut :

$$BL_p = \frac{B_{SSD}}{(1+R_p \%) + (1-W_p \%)} \quad (25)$$

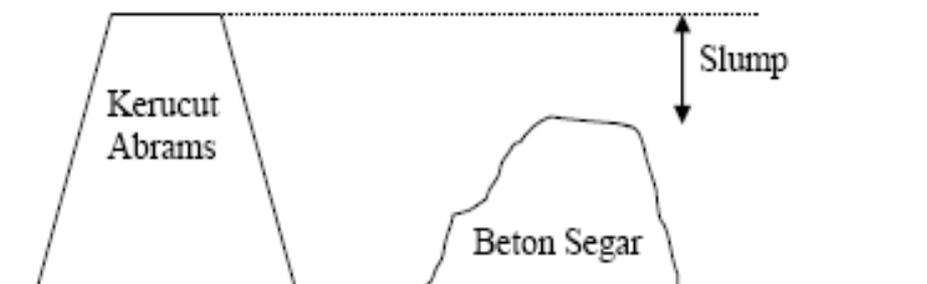
$$BL_k = \frac{B_{SSD}}{(1+R_k \%) + (1-W_k \%)} \quad (26)$$

$$\text{Air} = W_a + (B_{SSD}-BL_p) + (B_{SSD}.K-BL_k) \quad (27)$$

G. Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan kerucut Abrams, pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat workabilitas (kemudahan dalam pengerjaan) dari campuran beton yang telah dibuat. Tabung

kerucut Abrams bagian dalam dibasahi dengan air dan disiapkan di atas plat baja. Beton segar dimasukkan ke dalam tabung kerucut dan setiap 1/3 volumenya ditusuk-tusuk 25 kali dengan penumbuk baja sampai isi kerucut Abrams penuh. Beton diratakan permukaannya dan didiamkan selama 0,5 menit, selanjutnya corong kerucut diangkat pelan-pelan secara vertikal tanpa ada gaya horisontal. Tabung kerucut diletakkan di sebelahnya, pengukuran *slump* dilakukan dari bagian tertinggi beton segar sampai ujung atas kerucut Abrams. Model pengukuran slump dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengukuran nilai slump

H. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan campuran beton dalam penelitian ini berpedoman pada SK-SNI T-28-1991-03 tentang cara pengadukan dan pengecoran beton. Pembuatan campuran dilakukan dengan molen. Cara pembuatan campuran dimulai dari persiapan bahan dan alat sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan material pada saat perhitungan campuran beton (*Mix Design*). Pelaksanaan pengecoran siap dilaksanakan. Beton

yang telah memenuhi persyaratan tersebut ditumpahkan pada bak penampungan adukan beton dan ditampung dengan ember untuk dibawa ke tempat cetakan

Pada penelitian ini dibuat 36 buah benda uji berbentuk kubus dengan menggunakan cetakan kubus 15 x 15 x 15 cm, 4 buah balok berukuran 15 x 15 x 60 cm dan 2 buah benda uji berbentuk pelat 80 x 120 x 10 cm.

Pada Tabel 8 jumlah benda uji kubus dan keterangan penamaan sampel benda uji. BS: Beton Serat, BS1: Beton Serat Bentonit 3%, BS2: Beton Serat Bentonit 6% dan BS3: Beton Serat bentonit 9%.

Tabel 8. Jumlah benda uji kubus

Umur pengujian(hari)	Kode sampel	Bentonit (%)	Jumlah benda uji	Ukuran benda uji (cm)
3, 7 dan 28	BS	0 %	9	15 x 15 x 15
	BS 1	3%	9	15 x 15 x 15
	BS 2	6%	9	15 x 15 x 15
	BS 3	9%	9	15 x 15 x 15
Jumlah benda uji			36	

Proses pembuatan benda uji kubus, balok dan pelat beton, yaitu:

- 1) Melakukan penimbangan bahan-bahan, seperti semen, pasir, kerikil sesuai dengan kebutuhan rencana campuran adukan beton,

- 2) Memasukkan semen, pasir, kerikil, air sedikit demi sedikit ke dalam molen, dilanjutkan dengan menghidupkan molen,
- 3) Saat molen mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar 45° , agar terjadi adukan beton yang merata,
- 4) Setelah adukan beton terlihat merata, kemudian dituang secukupnya dan dilakukan pengujian nilai *slump* dengan menggunakan kerucut Abrams,
- 5) Mempersiapkan cetakan-cetakan yang akan dipakai untuk mencetak benda uji dengan terlebih dahulu diolesi dengan oli,
- 6) Mengeluarkan adukan beton dari molen, dan ditampung pada talam,
- 7) Memasukkan adukan beton ke dalam cetakan dengan memakai cetok, sambil ditusuk-tusuk supaya tidak keropos.
- 8) Adukan yang telah dicetak diletakkan di tempat yang terlindung dari sinar matahari dan hujan, didiamkan selama ± 24 jam,
- 9) Cetakan dapat dibuka dengan memberikan kode atau keterangan pada beton.

I. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji ini bertujuan agar permukaan beton segar selalu lembab hingga beton dianggap cukup keras. Kelembaban ini dijaga untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Beberapa cara yang dapat dipergunakan untuk merawat beton :

- 1) Meletakkan beton segar didalam ruangan yang lembab.
- 2) Meletakkan beton segar dalam genangan air atau perendaman.
- 3) Menyelimuti permukaan beton segar dengan karung basah.
- 4) Menyirami permukaan beton segar secara teratur.

Untuk penelitian ini dipakai benda uji pada umur 3, 7 dan 28 hari dengan meletakkan beton segar dalam genangan air atau perendaman.

J. Pengujian Benda Uji

1. Kuat tekan

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh nilai kuat tekan. Pengujian dilakukan setelah benda uji mencapai umur 3, 7 dan 28 hari. Untuk mendapatkan benda uji harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut.

- 1) Pembuatan dan pematangan benda uji.
- 2) Benda uji yang telah mencapai umur dipersiapkan.
- 3) Ditimbang untuk mendapatkan data berat kubus beton dalam keadaan kering.
- 4) Mengukur dimensi benda uji menggunakan kaliper.
- 5) Meletakkan benda uji pada mesin uji desak yang diletakkan secara vertical untuk uji desak dengan cara peletakan secara simetris.
- 6) Nyalakan mesin uji desak dengan tekanan yang dinaikkan secara berangsur-angsur dengan kecepatan 0.05"/menit tiap detik.

- 7) Pembebanan dilakukan sampai benda uji tidak kuat lagi menahan tekanan dan retak atau hancur.
- 8) Mencatat regangan, khususnya untuk pengujian kuat desak hingga mencapai pembebanan maksimal.

Untuk mendapatkan hasil nilai kuat tekan digunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (28)$$

2. Kuat tarik lentur

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat lentur beton normal guna keperluan perencanaan dan pelaksanaan. Beban untuk pengujian kuat lentur beton memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- 1) Benda uji dibuat dengan penampang bujur sangkar dengan ukuran lebar 15 cm, tebal 15 cm, panjang 60 cm.
- 2) Menyiapkan benda uji
- 3) Ukur dan catat panjang benda uji pada keempat rusuknya.
- 4) Buat garis-garis melintang sebagai tanda dan petunjuk titik perletakan, titik pembebanan, dan garis sejauh 5% dari jarak bentang diluar titik perletakan.
- 5) Tempatkan benda uji yang sudah selesai diukur, ditimbang dan diberi tanda pada tumpuan pada tempat yang tepat dengan kedudukan sisi atas benda uji pada waktu pengecoran berada dibagian samping alat penekan.

- 6) Ditimbang untuk mendapatkan data berat kubus beton dalam keadaan kering.
- 7) Atur pembebanan dan skala pembacaannya.
- 8) Siapkan mesin tekan beton
- 9) Pasang 2 buah perletakan dengan lebar bentang sebesar 3 kali titik pembebanan dan pasang alat pembebanan sehingga mesin tekan beton berfungsi menjadi alat uji lentur.
- 10) Atur pembebanan dan skala pembacaannya.
- 11) Siapkan formulir uji untuk mencatat jarak rata-rata antara tampang lintang yang patah.

Untuk mendapatkan nilai kuat lentur digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{3 P.a}{b.h^2} \cdot (\text{kg/cm}^2) \quad (29)$$

3. Pengujian CBR lapangan

Pengujian CBR ini dilakukan dengan metode SNI 03-1744-1989 tentang pengujian CBR lapangan. 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. Pengujian dilakukan setelah tanah dipadatkan dengan tumbukan yang telah ditentukan. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan alat yang akan dipergunakan
- 2) Letakan keping pemberat diatas permukaan benda uji seberat minimal 4,5 kg atau 10 lb atau sesuai dengan perkerasan.
- 3) Untuk benda uji yang direndam, beban harus sama dengan beban yang dipergunakan waktu perendaman. Pertama, letakan keping pemberat 2,27 kg atau 5 lb untuk mencegah mengembangnya permukaan benda uji pada bagian lubang keping pemberat. Pemberatan selanjutnya dipasang setelah torak disentuhkan pada permukaan benda uji.
- 4) Kemudian atur torak penetrasi pada permukaan benda uji sehingga arloji beban menunjukkan beban permulaan sebesar 4,5 kg atau 10 lb. Pembebanan permulaan ini diperlukan untuk menjamin bidang sentuh yang sempurna antara torak dengan permukaan benda uji. Kemudian arloji penunjuk beban dan arloji pengukur penetrasi di-nol-kan.

- 5) Berikan pembebanan dengan teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit atau 0,05"/menit. Catat beban maksimum dan penetrasinya bila pembebanan maksimum terjadi sebelum penetrasi 12,5 mm atau 0,50".
- 6) Keluarkan benda uji dari cetakan dan tentukan kadar air dari lapisan atas benda uji setebal 25,4 mm atau 1".
- 7) Bila diperlukan kadar air rata-rata maka pengembalian benda uji untuk kadar air dapat diambil dari seluruh kedalaman.

4. Pengujian pelat

Pelat beton didudukkan pada konstruksi subgrade. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut.

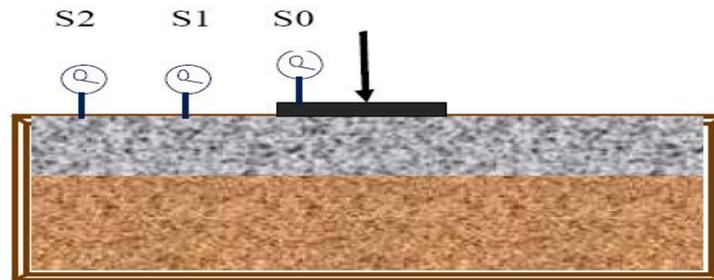
Alat yang digunakan :

- a) Satu set alat uji beban (alat pompa hidrolis, piston penetrasi, dial beban)
- b) Plat berdiameter 30 cm.
- c) Dial deformasi sebanyak 3 buah.
- d) Balok acuan.

Prosedur pelaksanaan :

- 1) Pasang alat uji pembebanan diatas kontruksi perkerasan kaku dimana piston penekan tepat berada ditengah piringan plat.
- 2) Pasang dial sebanyak 3 buah. Atur penempatan dial, sehinga sejajar dan memiliki jarak yang sama satu sama lain. Jarak

dial S0 dari pusat beban adalah 5 cm, jarak dial S1 dari pusat beban 15 cm dan jarak dial S2 dari pusat beban 30 cm. Penempatan dial dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Penempatan dial

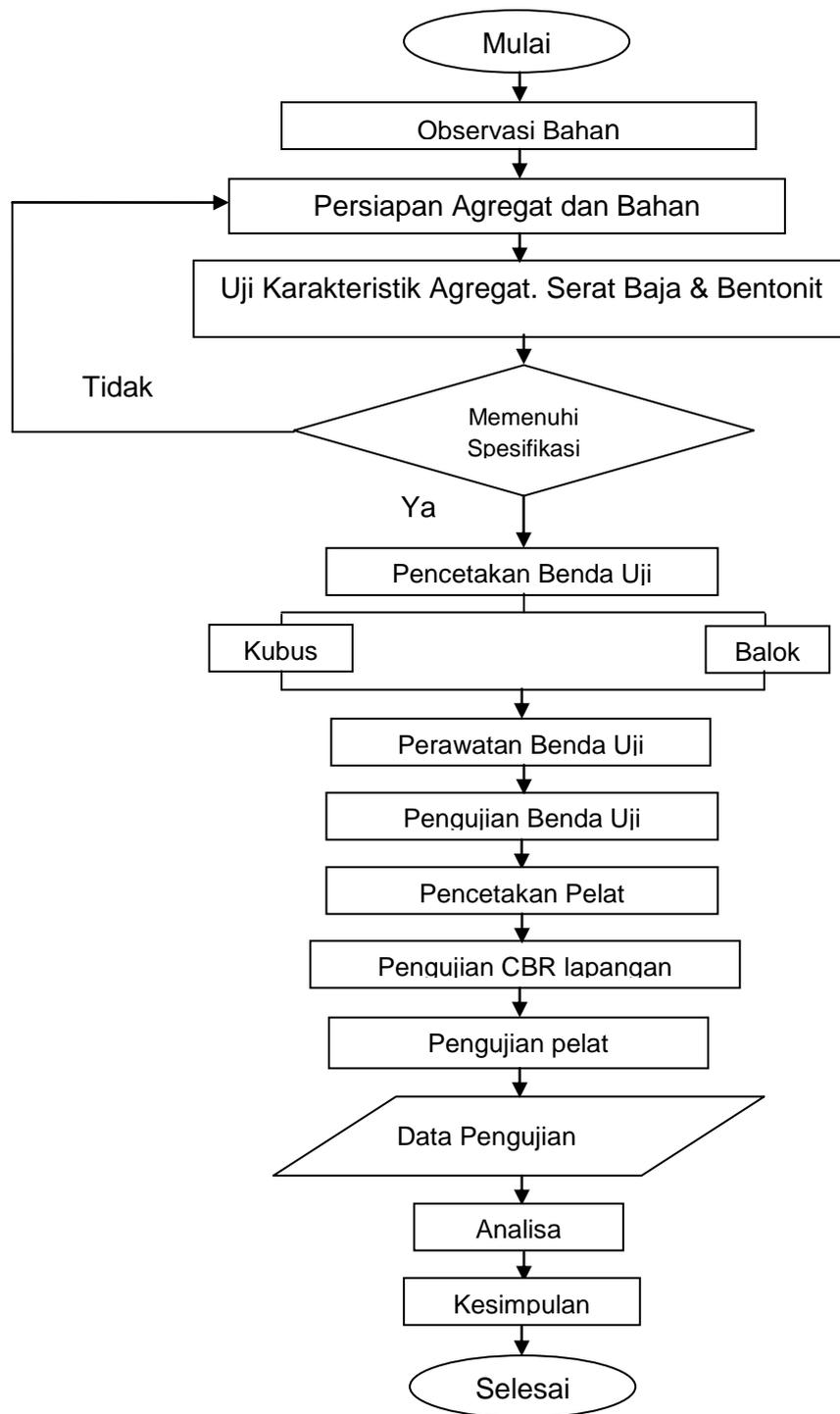
- 3) Berikan terlebih dahulu beban awal sebesar 0,1 kN. Lalu nakan ketiga dial deformasi. Catat deformasi yang terjadi pada pembebanan 5; 10; 15; 20; 25; dan 30 kN.

K. Pengambilan Data

Data yang diambil adalah data primer yang diambil dari berbagai pengujian yaitu; pengujian material, pengujian kuat tekan, modulus elastisitas beton beban dan uji deformasi dengan parameter beban, *settlement* yang terjadi dan jarak dial.

L. Alur Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini secara garis besar disajikan dalam bagan alir penelitian seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Bagan Alir Penelitian

B A B IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemeriksaan Bahan

Untuk pemeriksaan material dilakukan di Laboratorium Bidang Pengujian dan Pengembangan Teknologi Dinas Binamarga Propinsi Sulawesi Selatan. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar (batu pecah) dan agregat halus (pasir) yang sumber materialnya berasal dari Bili-Bili Kabupaten Gowa sedangkan bahan tambah Bentonit dari Desa Karama Kabupaten Jeneponto.

1. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah. Pemeriksaan karakteristik agregat kasar dilakukan berdasarkan stándar ASTM C33. Adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan adalah pemeriksaan kadar lumpur yang diperoleh sebesar 0,93%, berat volume dalam kondisi lepas sebesar 1,60 kg/ltr, kondisi padat 1,73 kg/ltr, pemeriksaan keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles adalah 24,2 %, pemeriksaan kadar air sebesar 0,84%, pemeriksaan absorption 2,46 %. Berat jenis spesifik; berat jenis (bulk) diperoleh 2,51, berat jenis semu diperoleh 2,67, berat jenis kering permukaan diperoleh 2,57 dan modulus kekasaran diperoleh 6,59. Untuk hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil rekapitulasi pemeriksaan karakteristik agregat kasar

No.	Jenis Pemeriksaan	Interval	Hasil Pengujian	Ket
1.	Kadar lumpur	Maks 1%	0,93%	Memenuhi
2.	Keausan	Maks 50%	24,2%	Memenuhi
3.	Kadar air	0,5% - 2%	0,84 %	Memenuhi
4.	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/ltr	1,60	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/ltr	1,73	Memenuhi
5.	Absorpsi	Maks 4%	2,46 %	Memenuhi
6.	Berat jenis spesifik			
	a. Berat jenis bulk	1,6 - 3,3	2,51	Memenuhi
	b. Berat jenis semu	1,6 - 3,3	2,67	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,57	Memenuhi
7.	Modulus kehalusan	6,0 – 7,1	6,59	Memenuhi

Dari hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini, secara keseluruhan memenuhi standar yang disyaratkan dalam pengujian mutu agregat, karena dari semua jenis pemeriksaan masuk dalam interval yang dipersyaratkan. Oleh karena itu maka agregat kasar yang didapatkan dari Bili-Bili Kabupaten Gowa layak digunakan untuk pencampuran beton.

2. Agregat halus

Pemeriksaan agregat halus dilakukan berdasarkan standar ASTM. Jenis pemeriksaan adalah pemeriksaan kadar lumpur diperoleh 3,37%, pemeriksaan kadar organik adalah No.1, pemeriksaan kadar air diperoleh

5,62%, berat volume dalam kondisi lepas diperoleh 1,46 kg/ltr, kondisi padat 1,66 kg/ltr, pemeriksaan absorption diperoleh 3,36%. Berat jenis spesifik; berat jenis (bulk) diperoleh 2,53, berat jenis semu diperoleh 2,77, berat jenis kering permukaan diperoleh 2,62 dan modulus kehalusan diperoleh 2,31. Hasil rekapitulasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil rekapitulasi pemeriksaan karakteristik agregat halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Interval	Hasil Pengujian	Ket
1	Kadar lumpur	Maks 5%	3,37 %	Memenuhi
2	Kadar organic	< No. 3	No. 1	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 6 %	5,62 %	Memenuhi
4	Berat volume			
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/ltr	1,46	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/ltr	1,66	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 4%	3,36 %	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik			
	a. Berat jenis bulk	1,6 - 3,3	2,53	Memenuhi
	b. Berat jenis semu	1,6 - 3,3	2,77	Memenuhi
	c. Bj kering permukaan	1,6 - 3,3	2,62	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,31	Memenuhi

Dari hasil pemeriksaan agregat halus pada Tabel 10 menunjukkan keseluruhan dari jenis pengujian memenuhi standar yang disyaratkan dalam pengujian mutu agregat. Agregat halus yang berasal dari Bili-Bili kabupaten Gowa ini layak digunakan untuk pencampuran beton. Agregat kasar dan agregat halus ini merupakan hasil yang diolah pada unit pemecah batu (*Stone crusher*) perusahaan milik PT. Tri Star Mandiri.

3. Bentonit

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik berat jenis dari Bentonit. Hasil pengujian berat jenis bentonit diperoleh seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil pengujian Bentonit

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Berat Jenis SSD	2,71

Dari hasil pengujian pada Tabel 11 memperlihatkan berat jenis bentonit diperoleh 2,71. Berdasarkan pembagian tanah berdasarkan Berat jenis tanah maka dapat diketahui Bentonit type tanah dengan berat jenis antara 2,70 – 2,80 masuk dalam kategori type Lempung Inorganik (*Inorganic Clay*).

4. Serat baja

Serat baja merupakan salah satu dari serat/fiber yang digunakan dalam beton serat. Dari hasil pengujian serat baja diperoleh hasil seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil pengujian serat baja

No	Karakteristik Serat Baja	Hasil Pengujian
1.	Diameter	0,8 mm
2.	Berat Jenis	7,15 t/m ³
3.	Kuat Tarik	110 kg/cm ²

Pada Tabel 12 memperlihatkan diameter serat baja adalah 0.8 mm. Berat jenis 7,15 t/m³ dan kuat tarik 110 kg/cm². Serat baja yang digunakan adalah baja yang berjenis bendrad atau kawat bendrad yang dipotong seragam dengan panjang 5 cm.

Serat baja dalam beton berfungsi untuk mencegah terjadinya keretakan lebih awal. Serat Baja yang memiliki kuat tarik yang tinggi diharapkan mampu memberikan bantuan kekuatan pada beton yang memiliki kuat tarik lentur yang rendah. Dalam penelitian ini konsentrasi serat yang digunakan adalah 1% dari berat semen.

B. Komposisi Campuran Beton

Komposisi campuran untuk beton normal adalah air 191 liter/m³, semen 440,5 kg/m³, agregat halus 530 kg/m³ dan agregat kasar 1188 kg/m³. Sedangkan komposisi untuk campuran beton serat yang menggunakan bentonit 3%, 6% dan 9% dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Komposisi campuran beton

Bahan Beton	Berat Kg/m ³	Rasio Terhadap Jumlah Semen
Beton Serat		
Air	191	0,43
Semen	440,5	1
Agregat halus (pasir)	530	1,2
Agregat kasar (kerikil)	1189	2,70
Serat Baja 1%	4,4	0,01
Beton Serat Bentonit 3%		
Air	191	0,43
Semen	440,5	1
Agregat halus (pasir)	514	1,17
Agregat kasar (kerikil)	1189	2,49
Bentonit	15,9	0,04
Serat Baja 1%	4,4	0,01
Beton Serat Bentonit 6%		
Air	191	0,43
Semen	440,5	1
Agregat halus (pasir)	498,4	1,13
Agregat kasar (kerikil)	1189	2,70
Bentonit	31,8	0,07
Serat Baja 1%	4,4	0,01
Beton Serat Bentonit 9%		
Air	191	0,43
Semen	440,5	1
Agregat halus (pasir)	482,55	1,10
Agregat kasar (kerikil)	1189	2,70
Bentonit	47,7	0,11

Tabel 13 memperlihatkan bahwa komposisi campuran yang akan digunakan untuk beton serat adalah air 191 liter/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 0,43. Semen 440,5 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1. Agregat halus (pasir) adalah 530 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1,2. Agregat kasar (batu pecah) adalah 1189 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 2,7. Sedangkan serat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1% dari berat semen yang diperoleh 4,4 kg/m³.

Tabel 13 juga memperlihatkan bahwa komposisi campuran yang digunakan untuk beton serat dengan kadar Bentonit 3% adalah air 191 liter/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 0,43. Semen 440,5 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1. Agregat halus (pasir) adalah 514 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1,17. Agregat kasar (batu pecah) adalah 1189 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 2,7. Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1% dari berat semen yang diperoleh 4,4 kg/m³. Sedangkan Bentonit yang digunakan 3% dari berat agregat halus yang diperoleh 15,8 kg/m³.

Komposisi campuran untuk beton serat dengan kadar Bentonit 6% adalah air 191 liter/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 0,43. Semen 440,5 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1. Agregat halus (pasir) adalah 498,4 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1,13. Agregat kasar (Batu pecah) adalah 1189 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 2,7. Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1% dari berat semen yang diperoleh 4,4 kg/m³. Sedangkan Bentonit yang digunakan 3% dari berat agregat halus yang diperoleh 31,8 kg/m³.

Komposisi campuran untuk beton serat dengan kadar Bentonit 9% adalah air 191 liter/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 0,43. Semen 440,5 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1. Agregat halus (pasir) adalah 482,55 kg/m³ dan rasio terhadap jumlah semen adalah 1,10 dan agregat kasar kerikil adalah 1189 kg/m³ dan rasio

terhadap jumlah semen adalah 2,7. Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1% dari berat semen yang diperoleh $4,4 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan Bentonit yang digunakan 3% dari berat agregat halus yang diperoleh $47,7 \text{ kg/m}^3$.

Dari Tabel 13 komposisi masing-masing variasi beton yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan Bentonit dalam campuran beton mengurangi berat agregat halus, karena bahan tambah bentonit digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus.

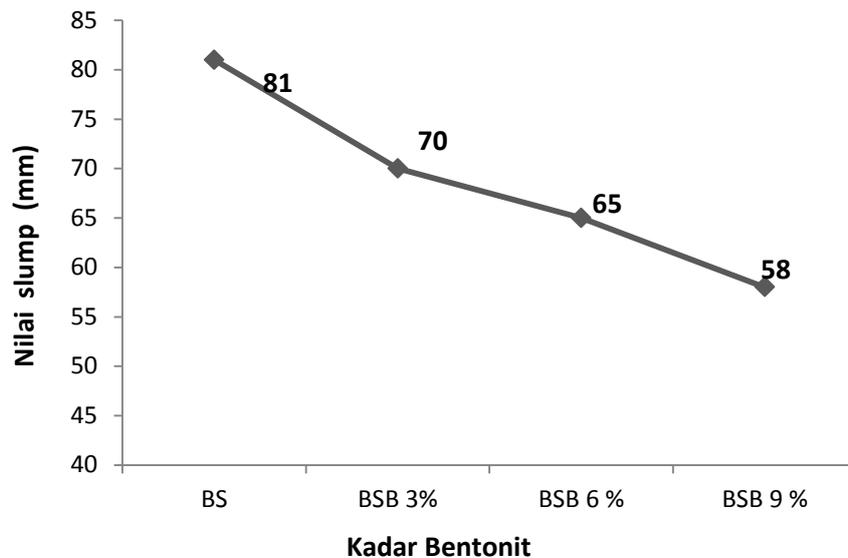
C. Slump

Pengukuran slump digunakan sebagai alat untuk mengukur konsistensi dan kemudahan pekerjaan (*workability*) beton di lapangan. *Workability* merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pematatannya. Dalam merancang suatu campuran beton, tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*) ditetapkan dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh pengerjaan beton yang mudah dituangkan dan dipadatkan. Sebagaimana diketahui bahwa pengukuran slump merupakan alat untuk mengukur konsistensi dan kemudahan pekerjaan di lapangan. Hasil pengujian slump pada penelitian ini dapat dilihat seperti pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil pengujian slump

No	Presentase Bentonit	Waktu Campur (menit)	Slump Rencana (mm)	Slump Lapangan (mm)
1	Beton Serat	± 4	60-100	81
2	Beton Serat Bentonit 3 %	± 4	60-100	70
3	Beton Serat Bentonit 6 %	± 4	60-100	65
4	Beton Serat Bentonit 9 %	± 4	60-100	58

Dari Tabel 14 memperlihatkan bahwa nilai slump rata-rata yang diperoleh mengalami penurunan, semakin besar kadar penambahan Bentonit nilai slump yang didapat menurun tanpa adanya penambahan air. Hal ini disebabkan karena bentonit merupakan material lempung yang mempunyai daya sifat menyerap air. Dalam perencanaan campuran beton dilakukan slump rencana 60-100 mm. Nilai slump pada beton serat tanpa menggunakan bentonit diperoleh 81 mm, nilai slump beton serat dengan bentonit 3% diperoleh 70 mm, nilai slump beton serat dengan bentonit 6% diperoleh 65 mm sedangkan nilai slump beton serat dengan bentonit 9% diperoleh 58 mm. Beton serat yang menggunakan Bentonit 9% tidak memenuhi dalam slump rencana. Beton serat yang menggunakan Bentonit 9% tidak memenuhi dalam slump rencana Untuk grafik hubungan nilai slump dengan kadar bentonit dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan nilai slump dengan kadar Bentonit

Dari grafik pada Gambar 13 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan kadar bentonit maka nilai slump yang dihasilkan semakin menurun. Sebagaimana diketahui bahwa nilai slump yang rendah menunjukkan sifat pekerjaan (*workability*) yang sulit. Artinya semakin banyak kadar Bentonit maka *workability* semakin sulit. Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton, makin cair adukan makin mudah cara pengerjaanya.

D. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan setelah benda uji telah berumur 3, 7, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton sesuai yang direncanakan. Pengujian kuat tekan beton diperoleh dari hasil terhadap benda uji kubus. Pengujian

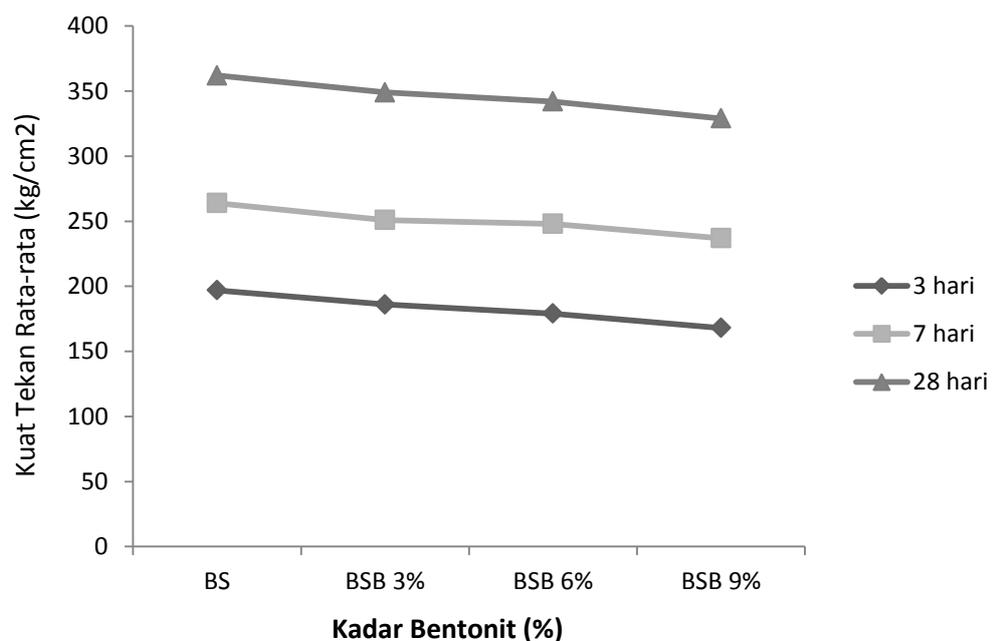
ini dilakukan terhadap 4 variasi beton. Yaitu beton serat tanpa menggunakan bentonit (BS), beton serat dengan tambahan bentonit 3% (BSB3%), beton serat dengan bentonit 6% (BSB6%) dan beton serat dengan bentonit 9% (BSB%). Hasil yang diperoleh pada pengujian kuat tekan dengan nilai faktor air semen 0,42 dapat dilihat seperti pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Umur (hari)	Kadar Bentonit (%)	Nilai Faktor Air Semen	Kuat tekan rata-rata (Kg/cm ²)
1	3			197
2	7	0	0,42	264
3	28			362
4	3			186
5	7	3	0,42`	251
6	28			349
7	3			179
8	7	6	0,42	248
9	28			342
10	3			168
11	7	9	0,42	237
12	28			329

Pada Tabel 15 menunjukkan bahwa penambahan Bentonit terhadap beton serat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan. Kuat tekan rata-rata yang diperoleh dari masing-masing variasi pada umur 3, 7, dan 28 hari dengan nilai faktor air semen yang sama memperlihatkan bahwa semakin bertambahnya kadar bentonit nilai kuat tekan semakin menurun. Beton serat dengan kadar bentonit 9% memperoleh nilai kuat tekan yang terendah.

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi bahan tambah Bentonit sebagai pengganti sebagian dari agregat halus di tunjukkan dengan histogram perbandingan kuat tekan pada umur 3,7 dan 28 pada Gambar 14.



Gambar 14. Kurva grafik perbandingan kuat tekan beton dengan kadar Bentonit

Dari Gambar 14 merupakan perbandingan kuat tekan rata-rata dengan kadar Bentonit. Terlihat bahwa kuat tekan rata-rata benda uji yang menggunakan bentonit sebagai bahan pengganti sebagian pasir semakin menurun dari beton serat. Nilai kuat tekan mengalami penurunan akibat bertambahnya kadar Bentonit. Nilai faktor air semen dari Tabel 17 yang digunakan adalah sama. Penurunan nilai kuat tekan dikarenakan Bentonit yang mengandung kapur menyebabkan disintegrasi (perpecahan) dengan semen setelah timbul ikatan. Senyawa Bentonit yang bersifat lempung dapat membentuk lapisan lumpur akibat pencampuran air selama proses pengecoran. Pencampuran air menyebabkan Bentonit tidak terhidrasi. Hal ini menyebabkan ikatan pasta terhadap agregat melemah sehingga mekanisme peningkatan kekuatan beton yang mengandalkan ikatan diantara unsur penyusunnya tidak terjadi secara optimal.

Dalam penelitian ini kuat beton yang direncanakan adalah K 300 untuk beton normal. Dengan adanya penambahan bahan serat baja 1% yang digunakan dalam pencampuran beton, maka dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Ini terlihat dari nilai kuat tekan yang diperoleh. Nilai beton serat yang diperoleh pada umur 28 hari sebesar 362 kg/cm^2 atau mengalami peningkatan 21% dari kuat tekan beton yang direncanakan. Sedangkan nilai yang diperoleh untuk beton serat dengan penambahan bentonit 3%, 6% dan 9% sebesar 349 kg/cm^2 , 342 kg/cm^2 dan 329 kg/cm^2 dengan peningkatan 16%, 14% dan 10% dari kuat tekan yang

direncanakan. Dari hasil ini dapat dibuktikan bahwa dengan adanya penambahan serat baja dalam campuran beton maka terjadi peningkatan dalam nilai kuat tekan. Dalam penelitian ini penambahan serat baja disebut beton serat.

Dari data penelitian pada Tabel 17 dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton pada umur 3, 7 dan 28 hari yang menggunakan bentonit mengalami penurunan nilai kuat tekan terhadap beton serat (tidak menggunakan bahan Bentonit). Benda uji beton serat tanpa menggunakan Bentonit memperoleh nilai kuat tekan yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi yang menggunakan Bentonit 3%, 6%, dan 9%. Pada variasi Bentonit 3%, 6% dan 9% pada umur 3 hari terhadap beton serat penurunannya mencapai 6,22%, 9,05% dan 14,27%. Pada umur 7 hari terhadap beton serat penurunannya mencapai 4,65%, 6,01% dan 9,92%. Pada umur 28 hari terhadap beton serat penurunannya mencapai 3,29%, 5,52% dan 8,90%. Persentase penurunan kuat tekan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Persentase penurunan kuat tekan rata-rata terhadap beton serat

Umur	Kuat tekan rata-rata	kuat tekan rata-rata	kuat tekan rata-rata
	Bentonit 3%	Bentonit 6%	Bentonit 9%
3	5,58	9,14	14,72
7	4,92	6,06	10,23
28	3,59	5,52	9,12

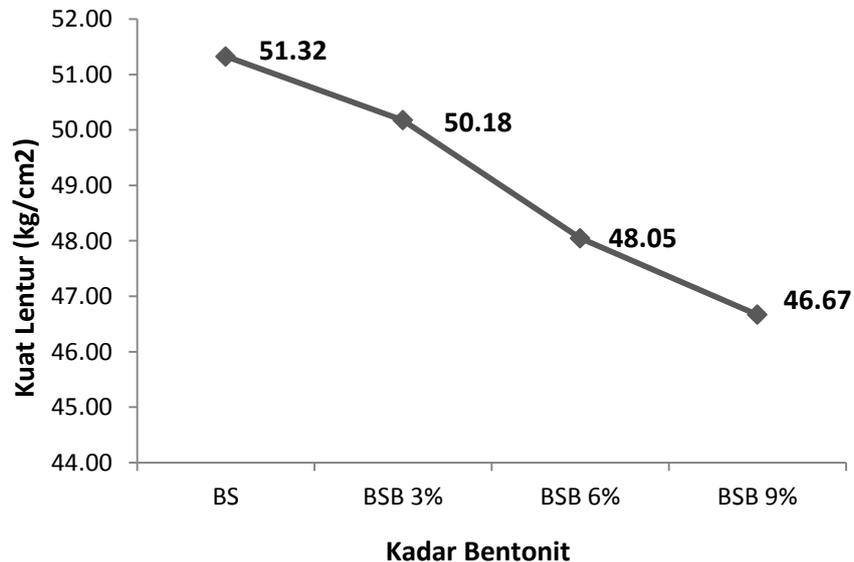
Dari Tabel 16 di atas memperlihatkan bahwa pengaruh bentonit terhadap beton serat pada umur 3 hari persentase penurunan kuat tekannya lebih besar dibandingkan pada umur 7 dan 28 hari. Hal ini disebabkan karena bentonit bersifat lempung yang mengandung kadar kapur. Kadar kapur dalam bentonit cenderung memperlambat pengikatan.

Benda uji pada umur 3 hari masih mengandung kadar air yang mana apabila bereaksi dengan kapur akan memperlambat proses pengerasan beton. Kapur yang termasuk semen non hidrolis tidak dapat mengikat dan mengeras dalam air. Sedangkan benda uji pada umur 28 hari pada campuran sudah bereaksi dengan semen dalam proses pengerasan beton seiring dengan berkurangnya kadar air. Oleh karena itu pada umur 28 hari persentase penurunan lebih kecil karena proses pengikatan sudah terjadi dengan baik walaupun tidak dapat meningkatkan kinerja dari kuat tekan beton.

E. Pengujian Kuat Lentur

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan dua titik pembebanan, yang besarnya secara tipikal sekitar 30-50 kg/cm². Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 50-55 kg/cm². Adanya bahan serat dalam campuran beton dapat

memperkuat nilai kuat lentur dari beton normal. Metode yang digunakan dalam pengujian ini sesuai dengan SNI 03-4431-1997. Hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Hubungan kuat lentur beton dengan kadar Bentonit

Pada Gambar 15 merupakan grafik hubungan antara kuat lentur beton serat dengan kadar Bentonit. Pada Gambar memperlihatkan bahwa penambahan kadar Bentonit terhadap beton serat mempunyai pengaruh terhadap nilai kuat tekan, semakin banyak kadar Bentonit yang ditambahkan maka nilai yang dihasilkan semakin menurun. Nilai kuat lentur beton serat yang tidak menggunakan bentonit diperoleh 51,32 kg/cm². Pada variasi bentonit 3%, 6%, 9% diperoleh nilai kuat lentur 50,18 kg/cm², 48,05 kg/cm², 46,67 kg/cm².

Berdasarkan nilai kuat lentur yang diperoleh dalam penelitian ini, maka beton serat yang tidak menggunakan Bentonit dan beton serat yang

menggunakan bentonit 3% memenuhi standar yang digunakan sebagai perencanaan perkerasan kaku. Sedangkan beton serat yang menggunakan bentonit 6% dan 9% tidak memenuhi standar yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku, karena nilai kuat lentur yang diperoleh tidak sampai 50 kg/cm².

F. Pengujian Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dapat diketahui dari nilai pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) dan nilai modulus reaksi tanah (k).

1) Uji CBR lapangan

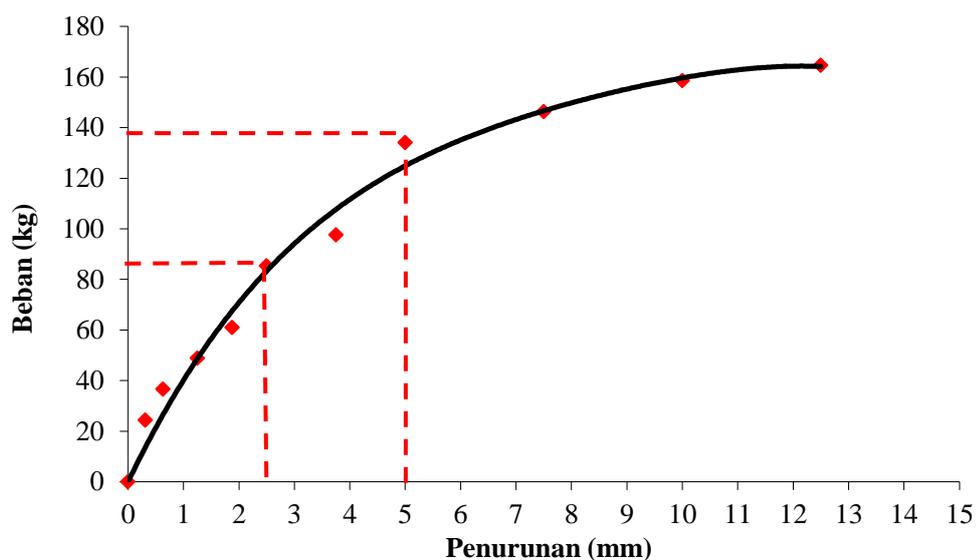
Pengujian CBR ini dilakukan dengan metode SNI 03-1744-1989 tentang pengujian CBR. Berdasarkan dari pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Hasanuddin maka nilai daya dukung tanah atau kekuatan tanah yang diukur diwujudkan dalam bentuk persen hasil dari perbandingan antara beban yang diperlukan untuk menembus suatu jenis bahan terhadap beban yang diperlukan untuk menembus beban standar. Untuk selanjutnya maka hasil dari pengujian CBR dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil pengujian CBR

Waktu (menit)	Penurunan (mm)	Pembacaan Dial	Beban (lbs)	Beban (kg)
0.25	0.313	2	48.7	24,4

0.5	0.625	3	73.1	36,6
1	1.250	4	97.5	48,7
1.5	1.875	5	121.8	60,9
2	2.500	7	170.6	85,3
3	3.750	8	195.1	97,5
4	5.000	11	268.1	134,1
6	7.500	12	292.5	146,4
8	10.000	13	316.9	158,4
10	12.500	13.5	329.1	164,5

Tabel 17 merupakan data dari hasil pengujian CBR yang dilakukan. Yang mana pada percobaan ini pembacaan dial dilakukan sebanyak 10 kali dengan memperhatikan waktu dan kecepatan penetrasi yang telah ditentukan. Pembebanan dilakukan secara teratur pada penetrasi 0,313 mm, 0,625 mm, 1,25 mm, 1,875 mm, 2,5 mm, 3,75 mm, 5 mm, 7,5 mm, 10 mm dan 12,5 mm. Penurunan akibat pembebanan yang terbaca pada dial belum dikonversi dengan nilai kalibrasi alat yang digunakan. Setelah dikalibrasi maka nilai beban yang diperoleh pada 10 kali pembacaan adalah 48,7 lbs, 73,1 lbs, 97,5 lbs, 121, 8 lbs, 170,6 lbs, 195,1 lbs, 268,1 lbs, 292,5 lbs, 316,9 lbs dan 329,1 lbs. Nilai beban yang diperoleh pada Tabel 19 diplot dalam grafik hubungan beban dengan penurunan tanah asli dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Hubungan penurunan terhadap beban tanah asli

Gambar 16 merupakan hubungan antara penurunan tanah asli. Dimana beban diperoleh dari hasil pembacaan dial yang telah dikalikan dengan nilai kalibrasi alat CBR. Dari grafik memperlihatkan bahwa penurunan 2,5 mm diperoleh beban 171 lbs dan penurunan 5 mm diperoleh 268 lbs. Untuk mendapatkan nilai CBR rata-rata dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Hasil pengujian CBR lapangan tanah asli

Penurunan (mm)	Beban (lbs)	CBR (%)	Rata
2,5	171	5,69	5,82%
5	268	5,96	

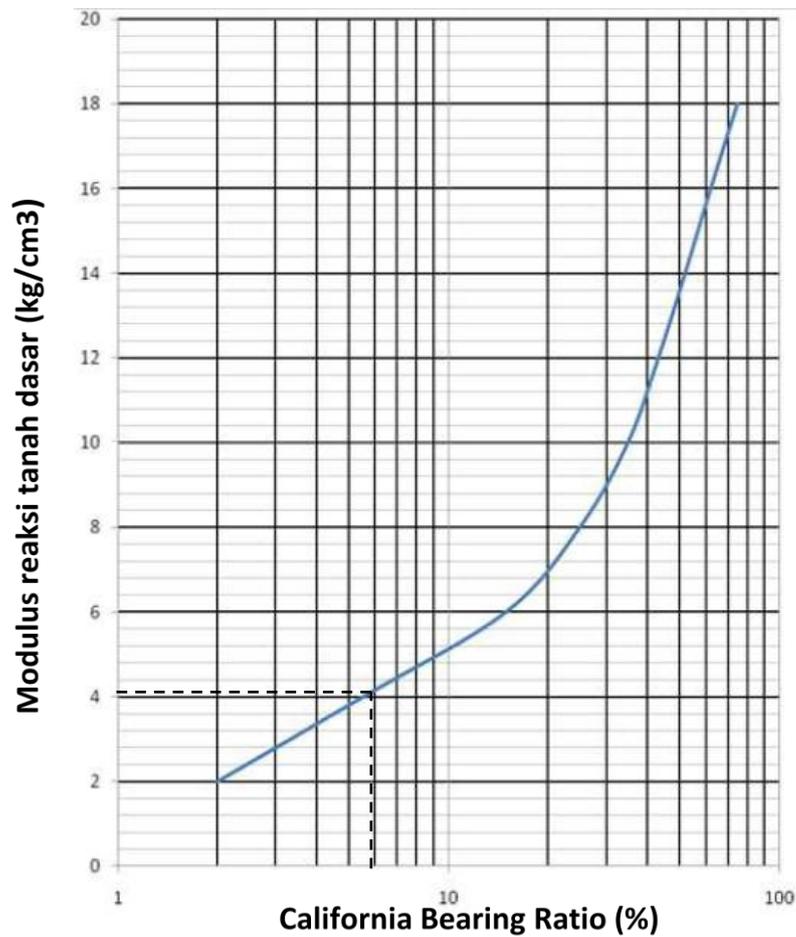
Dalam menentukan nilai CBR rata-rata diambil pada penurunan 2,5 mm dan 5 mm. Dari Tabel 18 memperlihatkan bahwa penurunan 2,5 mm dengan diperoleh beban 171 lbs dengan nilai CBR 5,69%. Sedangkan pada penurunan 5 mm diperoleh beban 256 lbs dengan nilai CBR 5,96%. Nilai CBR rata-rata diperoleh 5,82%.

Berdasarkan nilai daya dukung suatu bahan jalan akan dipengaruhi oleh kualitas tanah, ikatan antara butir dan kepadatannya. Bahan keras dan kuat artinya tidak mudah dihancurkan dan menjadi butir-butir yang lebih kecil atau berubah bentuk akibat adanya pengaruh beban. Makin besar harga CBR tanah/bahan, makin besar kemampuannya untuk mendukung beban kendaraan tanpa mengalami deformasi yang berarti.

Analisa Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR lapangan sesuai dengan SNI 03- 1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton krus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %. Dengan demikian nilai CBR 5,82% yang didapatkan dari hasil pengujian layak digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku tanpa harus menggunakan campuran beton krus sesuai dengan standar perencanaan pekerasan beton semen.

2) Nilai modulus reaksi tanah

Untuk mendapatkan nilai modulus reaksi tanah (k) dilakukan dengan metode Pengujian *Plate Bearing Test* dan metode teoritis standar Bina Marga. Metode teoritis nilai modulus reaksi tanah (k) ditentukan dari nilai CBR tanah dasar dengan menggunakan kurva hubungan antara nilai CBR dan k sebagaimana terlihat terlihat seperti pada Gambar 17.



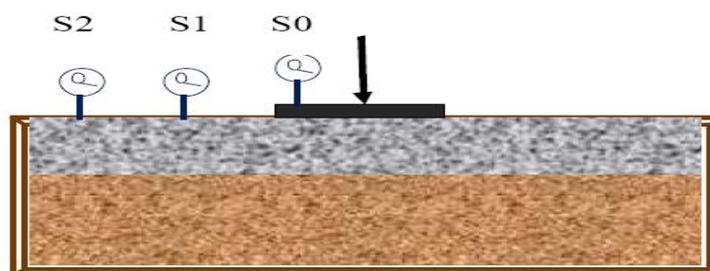
Gambar 17. Kurva hubungan CBR dengan modulus reaksi tanah dasar

Gambar 17 merupakan kurva hubungan antara CBR dan modulus reaksi tanah. Dari Gambar secara teoritis nilai modulus reaksi tanah (k) dapat ditentukan dari nilai CBR tanah dasar berdasarkan dari petunjuk perkerasan kaku Bina Marga. Dari percobaan CBR yang telah dilakukan diperoleh nilai rata-rata sebesar 5,82%. Nilai tersebut diplot pada kurva yang menghubungkan antara CBR dan modulus reaksi tanah dan di dapatkan nilai k sebesar 4,05 kg/cm³. Tebal lapis tambahan perkerasan

beton semen di atas perkerasan lentur dihitung dengan cara yang sama seperti perhitungan tebal pelat beton semen pada perencanaan baru.

Analisa dalam perencanaan permukaan jalan raya, kita perlu tahu kapasitas daya dukung tanah di bawahnya. CBR test dilakukan di lapangan untuk melayani tujuan ini. Hasil dari pengujian dapat digunakan sebagai parameter desain.

G. Karakteristik Deformasi Lapisan Perkerasan Kaku



Gambar 18. Model penempatan dial

Pada Gambar 18 perletakan dial penurunan diletakkan pada 3 titik pengamatan, dial I (S0), dial II (S1) dan dial III (S2). Jarak dial S0 dari pusat beban adalah 5 cm, jarak dial S1 dari pusat beban 15 cm dan jarak dial S2 dari pusat beban 30 cm. Pengujian perkerasan kaku atau pengujian pelat dilakukan setelah masa pemeliharaan (*curing*) 28 hari dan pemadatan tanah asli (subgrade) yang telah di tes CBR lapangan.

Pengujian ini dilakukan 2 pelat, yaitu pelat beton serat dengan kadar bentonit 0%, dan beton serat dengan kadar bentonit 3%, dengan alasan diambil 2 terbaik dari masing-masing variasi. Penentuan dimensi

pelat uji diambil dari dimensi perselab beton pada perkerasan kaku asli di lapangan, yaitu 2,4m x 3,6m x 0,3m. Dengan melakukan proporsional maka didapatkan model untuk pelat uji 0,8m x 1,2m x 0,1m dengan ketebalan subgrade 20 cm. Berat material untuk benda uji pelat dapat dilihat pada Tabel 19.

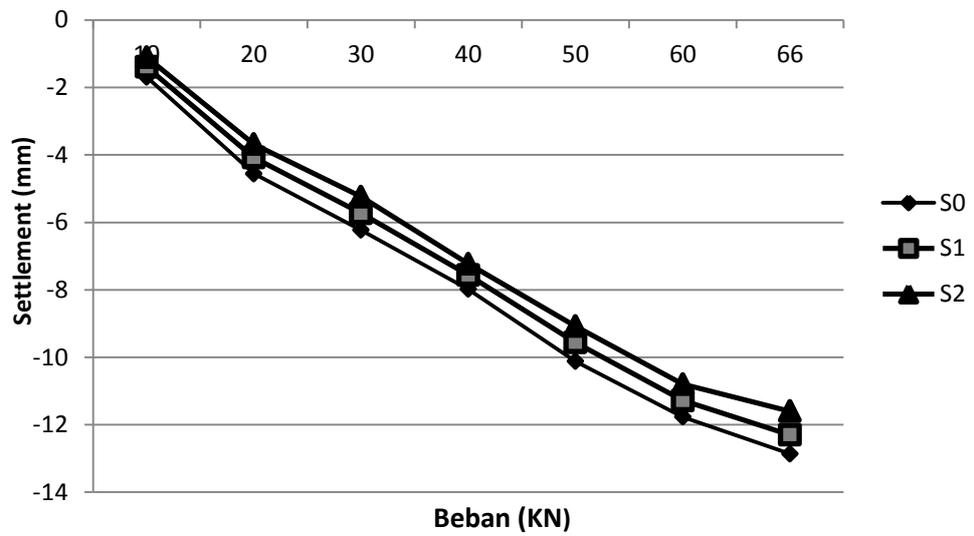
Tabel 19. Berat material benda uji pelat

No	Presentase Bentonit (%)	Air (kg)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Kerikil (kg)	Serat (kg)	Bentonit (kg)
1	Beton Serat (0%)	15,95	48,89	42,29	118,5	0,42	-
2	Beton Serat Bentonit 3%	15,94	47,43	42,29	118,5	0,42	1,47
	Total	31,89	96,32	84,58	237	0,84	1,47

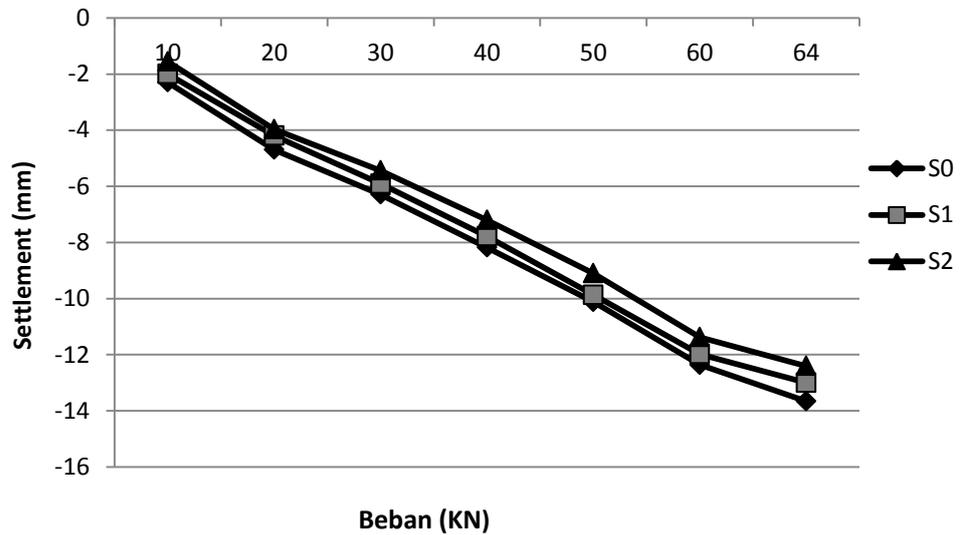
Pada Tabel 19 merupakan berat masing-masing material yang digunakan dalam penelitian ini. Pada pengujian pembebanan dengan alat *loading test* menggunakan 2 pelat uji, yaitu pelat untuk beton serat yang tidak menggunakan Bentonit dan pelat beton serat yang menggunakan Bentonit 3%. Tabel 19 memperlihatkan bahwa pelat beton serat yang tidak menggunakan Bentonit yang memerlukan air 15,95 liter, agregat halus (pasir) 48,84 kg, semen 42,29 kg, agregat kasar 118,5 kg dan serat 0,42 kg. Sedangkan pelat untuk beton serat yang menggunakan Bentonit 3% menggunakan air 15,95 liter, agregat halus 47,43%, semen

42,29 kg, agregat kasar 118,5 kg, serat 0,42 kg dan bahan tambah bentonit 1,47 kg. Total berat material untuk kedua pelat uji memerlukan air 31,89 liter, agregat halus 96,32 kg, agregat kasar 237 kg, serat 0,84 kg dan bentonit 1,47 kg.

Perawatan pelat tidak dilakukan dengan perendaman. Tetapi ditutup dengan kain goni yang sudah disiram air sehingga kain goni tersebut memiliki kadar air yang tinggi. Penyiraman dilakukan 2 kali dalam se-hari yaitu pagi dan sore. Target pembebanan (*load*) dalam pengujian pembebanan pelat adalah 100 KN, karena mengingat kemungkinan adanya kecelakaan yang menyebabkan kerusakan alat-alat laboratorium juga dapat membahayakan keselamatan *crew* peneliti. Tidak menutup kemungkinan pembebanan dihentikan sampai pelat mengalami kondisi plastis atau retak. Adapun penurunan yang terjadi setiap penambahan beban pada setiap pengujian pelat beton dengan menggunakan alat *loading test* dapat dilihat dari hubungan antara penambahan beban dan deformasi yang terjadi seperti pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19. Deformasi selab untuk pelat beton serat tanpa Bentonit



Gambar 20. Deformasi selab untuk pelat beton serat dengan Bentonit 3%

Gambar 19 adalah pengujian pelat 1 yang merupakan grafik hubungan antara penambahan beban terhadap deformasi sedangkan

Gambar 20 adalah pengujian pelat 2 yang merupakan grafik antara pembebanan beban terhadap deformasi. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa terjadi penurunan (deformasi) pada keduanya. Namun deformasi (penurunan) lebih besar terjadi pada pelat 2 akibat pelat beton menggunakan bentonit 3%.

Dari Gambar 19 pembebanan (*load*) dilakukan pada 10 KN, 20 KN, 30 KN, 40 KN, 50 KN, 60 KN dan dihentikan pada 66 KN karena pelat sudah mengalami retak pada bagian tengah (pusat beban). Ini menunjukkan bahwa faktor keamanan untuk beban maksimal terhadap pelat model dengan dimensi 80 cm x 120 cm x 10 cm adalah 6,6 ton. Dan bila dikonversikan ke pelat skala lapangan yang berdimensi 240 x 360 x 30 cm diperkirakan sebesar 59,4 ton.

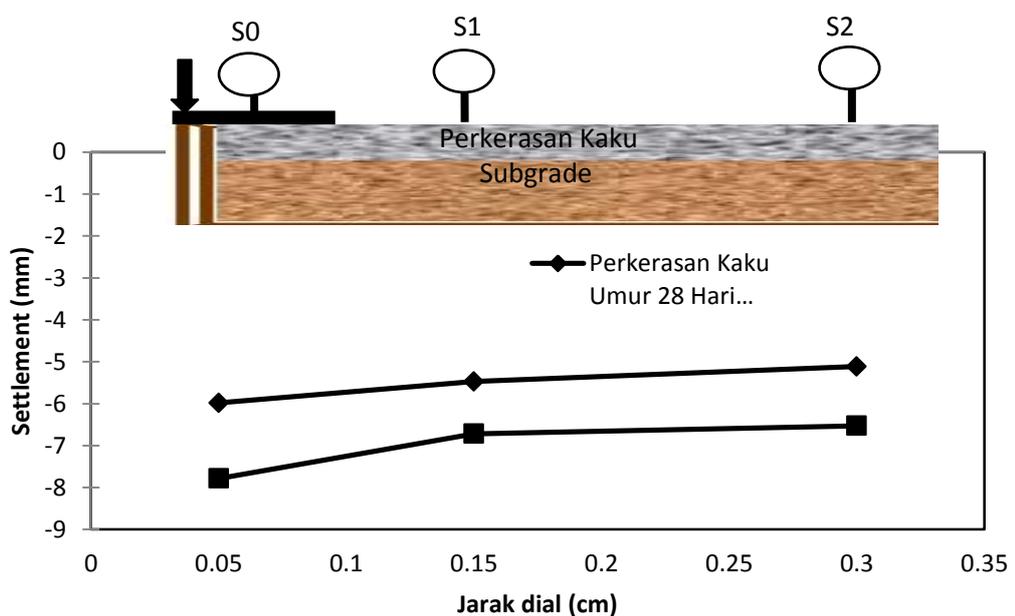
Dari Gambar 20 adalah pelat dengan kadar bentonit 3% yang pembebanan (*load*) dilakukan pada 10 KN, 20 KN, 30 KN, 40 KN, 50 KN, 60 KN dan pembebanan dihentikan pada 64 KN karena pelat sudah mengalami retak pada bagian tengah (pusat beban). Ini menunjukkan bahwa faktor keamanan untuk beban maksimal terhadap pelat dengan dimensi 80 cm x 120 cm x 10 cm adalah 6,2 ton. Dan bila dikonversi ke pelat skala lapangan diperkirakan sebesar 57,6 ton.

Berdasarkan Gambar 19 dan Gambar 20 maka didapatkan nilai rata-rata deformasi elastis perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan variasi pelat yang menggunakan beton serat tanpa bentonit dan pelat beton serat dengan penambahan bentonit 3% pada umur 28 hari. Nilai rata-rata

deformasi elastis pada kedua pelat atau perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 20 dan Gambar 21.

Tabel 20. Deformasi elastis perkerasan kaku pada pondasi elastis

Dial (mm)	Nilai rata-rata deformasi Elastis Perkerasan kaku bentonit 0%	Nilai rata-rata deformasi Elastis Perkerasan kaku bentonit 3%
S0	-7,89	-8,35
S1	-7,41	-7,84
S2	-6,96	-7,36



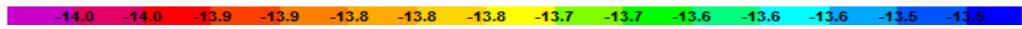
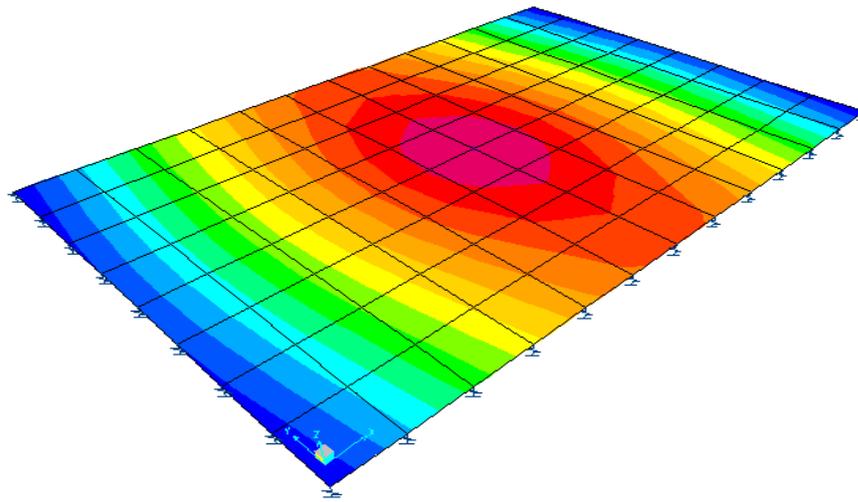
Gambar 21. Deformasi perkerasan kaku pada subgrade pondasi elastis

Dari Tabel 21 memperlihatkan bahwa perkerasan kaku pada pelat 1 (kadar Bentonit 0%) dan pelat 2 (kadar Bentonit 3%) dengan masing-

masing jarak penempatan dial mengalami deformasi elastis yang berbeda-beda. Adanya penambahan Bentonit maka deformasi elastis yang terjadi antara subgrade dan perkerasan kaku semakin tinggi. Ini terlihat pada jarak dial 1 untuk pelat beton serat tidak menggunakan bentonit deformasi elastis yang terjadi diperoleh -7,89 mm, dan pelat beton serat menggunakan bentonit 3% diperoleh -8,35 mm. Deformasi elastisitas pada jarak dial 2 untuk pelat beton serat tidak menggunakan bentonit diperoleh -7,41 mm diperoleh menggunakan bentonit 3% diperoleh -7,84 mm. Deformasi elastisitas pada jarak dial 3 untuk pelat beton serat tidak menggunakan bentonit diperoleh -6.96 mm, dan pelat beton serat menggunakan bentonit 3% diperoleh -7,36 mm.

Pada Gambar 21 terlihat bahwa deformasi pelat terbesar terjadi pada dial 1 (S0) dan terkecil terjadi pada dial 2 (S2). Dari data deformasi yang terjadi pada pelat menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi semakin kecil seiring semakin jauhnya bagian pelat beton dari pusat beban.

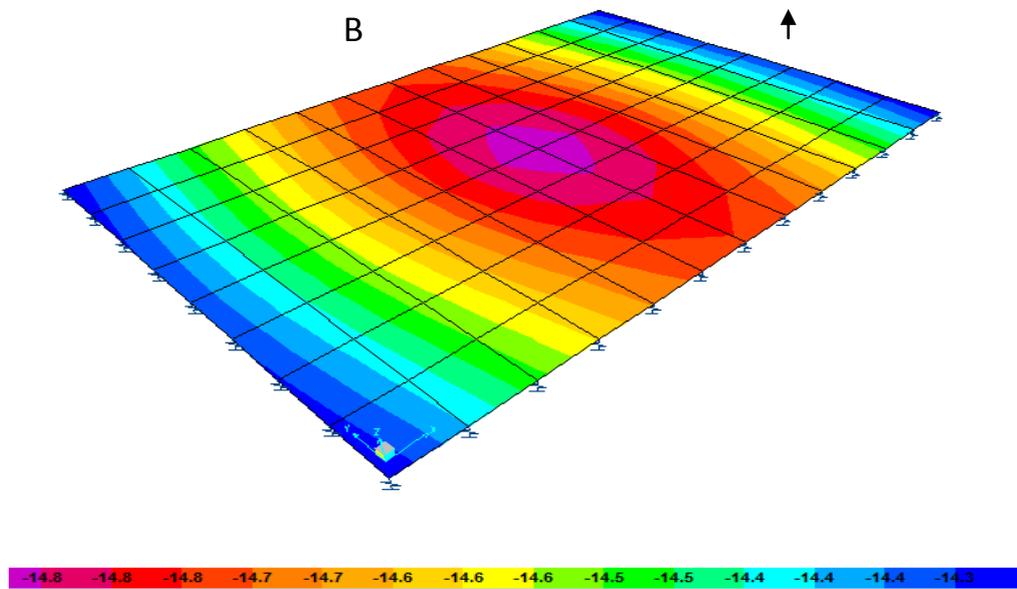
Pola deformasi pada pelat dipengaruhi oleh sifat beton dan reaksi tanah dasar yang diasumsikan sebagai pegas pada sistem pondasi *Winkler*. Sehingga pemodelan struktur pelat pada SAP 2000 menggunakan perletakan pegas. Hasil analisis deformasi dengan metode numerik dapat dilihat pada Gambar 22 dan Gambar 23.



A
B

Gambar 22. Deformasi Elastis dengan CBR 5,82% untuk beton serat tanpa Bentonit

A



Gambar 23. Deformasi Elastis dengan CBR 5,82% untuk beton serat Bentonit 3%

Dalam perhitungan ini dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 dengan memasukkan nilai k (modulus reaksi tanah dasar) yang diperoleh dari nilai CBR uji lapangan serta sifat-sifat beton serat tanpa bentonit dan beton serat yang menggunakan bentonit 3%. Dalam metode ini hanya menganalisis pada pelat ketebalan 10 cm. Setelah proses run

pada SAP 2000 dilakukan maka dapatlah pola deformasi seperti pada Gambar 22 dan Gambar 23.

Setelah mendapatkan perhitungan deformasi dengan cara numerik maka kita dapat melihat hasil perbandingan deformasi antara perhitungan secara numerik dengan hasil uji lapangan pada pelat beton dengan ketebalan 10 cm dengan modulus reaksi tanah dasar yang seragam $k = 4,05 \text{ kg/cm}^3$. Perletakan beban mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap perilaku pelat beton. Dalam metode ini, perletakan beban yang bertumpu di atas pelat dilakukan dengan meletakkan beban di tengah pelat.

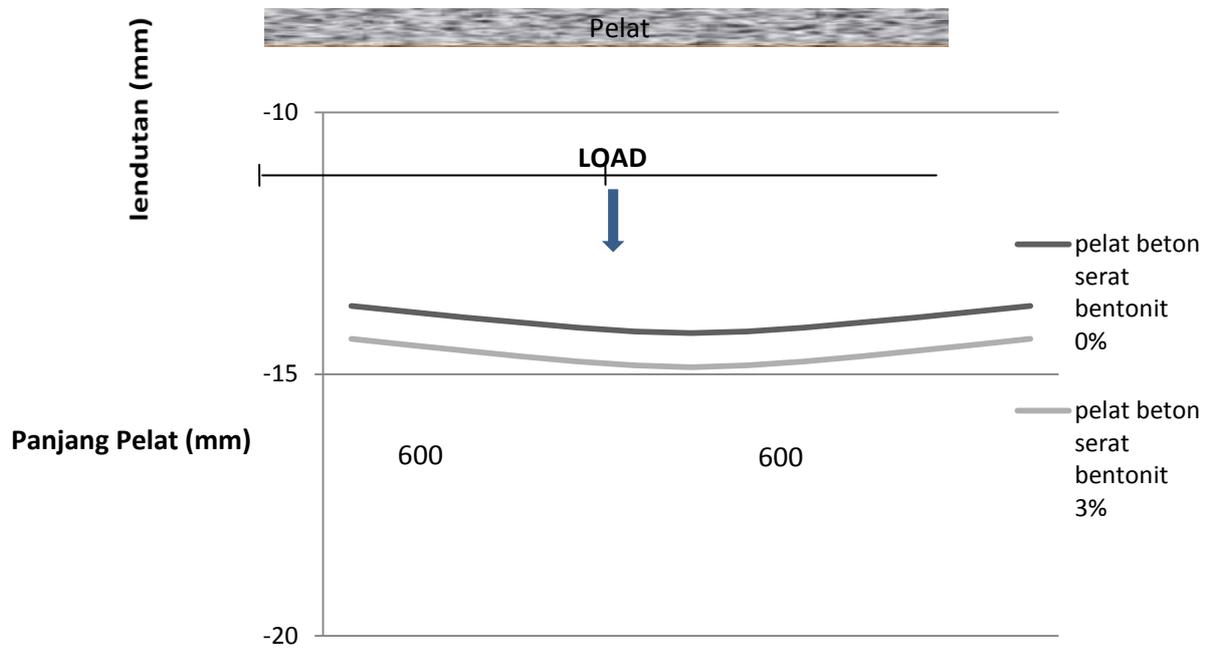
Dari Gambar 22 dan Gambar 23 terlihat kontur tegangan yang dibedakan dari warnanya. Lendutan pelat tanpa tiang penyangga dipengaruhi oleh dimensi pelat, khususnya ketebalan pelat. Pengaruh tebal pelat diamati dengan membandingkan lendutan pelat yang mempunyai dimensi panjang dan lebar pelat serta beban yang sama. Peletakan beban juga mempengaruhi distribusi nilai besaran lendutan pada pelat. Dalam penelitian ini, pelat dengan dimensi tertentu akan mendapat beban yang peletakkannya terpusat (di tengah bentang pelat).

Beban di tengah pelat artinya beban berada di tengah bentang pelat, yang dalam penelitian ini $\frac{1}{2} L$ yaitu pada 80 cm dan 120 cm. Gambar 22 dan 23 merupakan hasil aplikasi software atau program SAP 2000 lendutan pelat pada tanah dengan nilai $k = 4,05 \text{ Kg/Cm}^3$.

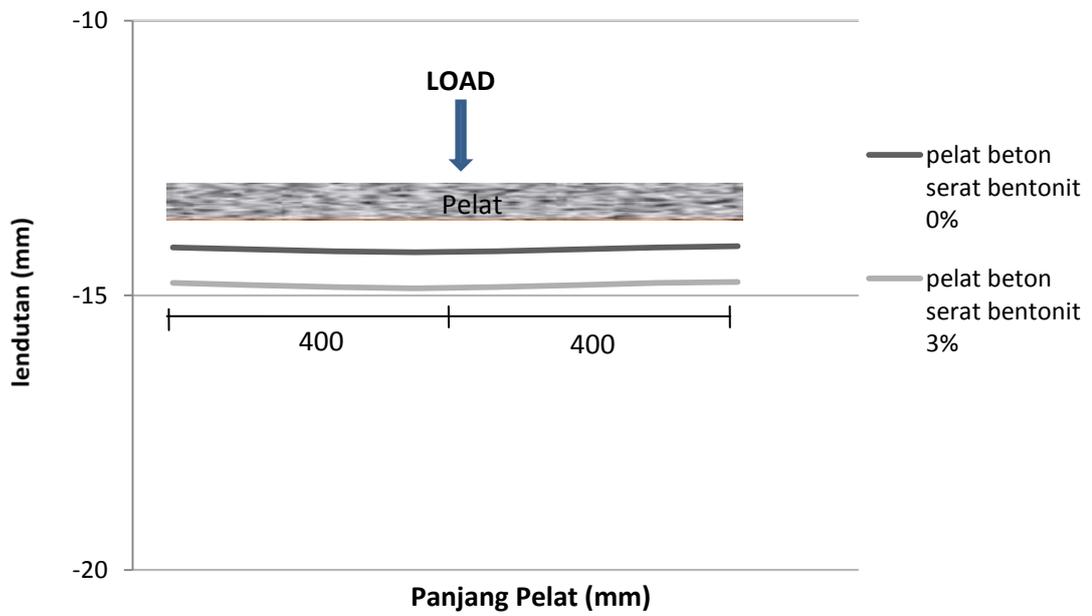
Nilai tebal pelat 10 cm pada beban di tengah pelat beton dengan bentonit 0% nilai deformasi (S0) jarak 5 cm dari pusat beban sebesar -14,01mm, nilai deformasi (S1) jarak 20 cm dari pusat beban sebesar -13,89 mm, nilai deformasi (S2) jarak 35 cm dari pusat beban sebesar -13,70 mm. Untuk pelat beton yang menggunakan bentonit 3% dengan ketebalan pelat beton 10 mm nilai deformasi (S0) jarak 5 cm dari pusat beban sebesar -14,87 mm, nilai deformasi (S1) jarak 20 cm dari pusat beban sebesar -14,75 mm, nilai deformasi (S2) jarak 35 cm dari pusat beban sebesar -14,55 mm.

Gambar 22 adalah pelat beton dengan bentonit 0% dengan tebal pelat 10 cm yang mendapat beban maximum 66 kN pada pusat beban, menimbulkan nilai lendutan pada titik terjauh dengan jarak 60 cm dari pusat beban sebesar -13,48 mm. Sedangkan Gambar 23 pelat beton dengan bentonit 3% dengan tebal pelat 10 cm yang mendapat beban maximum 64 KN, menimbulkan nilai lendutan pada titik terjauh dengan jarak 60 cm dari pusat beban sebesar -14,32 mm.

Pada Gambar 22 terdapat potongan Gambar A-A untuk memanjang dan potongan Gambar B-B untuk melintang. Potongan Gambar A-A dan potongan Gambar B-B dapat dilihat pada Gambar 24 dan Gambar 25.



Gambar 24. Lendutan yang terjadi pada potongan memanjang A-A



Gambar 25. Lendutan yang terjadi pada potongan melintang B-B

Gambar 24 di atas merupakan Gambar potongan A-A untuk memanjang dan Gambar 25 merupakan potongan B-B untuk melintang. Kedua Gambar tersebut merupakan hasil potongan Gambar 22 dan Gambar 23. Dari Gambar 24 dan Gambar 25 menunjukkan bahwa nilai lendutan lebih besar terjadi pada pelat beton yang menggunakan bentonit 3% dibandingkan dengan pelat beton tanpa Bentonit dimana beban yang diberikan terletak di tengah pelat. Sebagaimana diketahui bahwa mutu pelat beton tanpa Bentonit diperoleh K 362 sedangkan pelat beton dengan Bentonit 3% diperoleh mutu beton K 349.

Dari analisis metode SAP 2000 terlihat bahwa pengaruh beban terhadap deformasi pelat lebih besar terjadi pada arah melintang dibandingkan dengan arah memanjang. Semakin besar panjang pelat maka lendutan yang terjadi lebih kecil, sebaliknya semakin kecil panjang pelat maka lendutan yang terjadi lebih besar. Gambar 24 dan Gambar 25 juga memperlihatkan bahwa lendutan terbesar terjadi di lokasi pusat beban, dan semakin kecil seiring menjauhnya dari pusat beban.

Dari Gambar 24 pelat beton serat yang tidak menggunakan Bentonit mengalami lendutan maksimum pada pusat beban yaitu mengalami lendutan -14 mm, sedangkan pada Gambar 25 pelat beton serat yang menggunakan bentonit 3% lendutan maksimum -14,8 mm. Besarnya penambahan bentonit pada pelat beton berpengaruh pada besarnya nilai lendutan dan penyebarannya. Semakin banyak kadar bentonit yang ditambahkan maka nilai kekakuan pelat akan semakin menurun yang

mempunyai dampak negatif dalam memberikan reaksi perlawanan terhadap pembebanan yang mengakibatkan lendutan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan Bentonit terhadap beton serat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan. Kuat tekan rata-rata yang diperoleh dari masing-masing variasi pada umur 3, 7, dan 28 hari memperlihatkan bahwa semakin bertambahnya kadar bentonit nilai kuat tekan semakin menurun. Nilai kuat tekan mengalami penurunan akibat bertambahnya kadar bentonit yang mengandung kapur sehingga mengakibatkan disintegrasi atau perpecahan dengan semen setelah terjadi ikatan. Ikatan pasta terhadap agregat melemah sehingga mekanisme peningkatan kekuatan beton yang mengandalkan ikatan diantara unsur penyusunnya tidak terjadi secara optimal. Persentase penurunan terbesar pada kuat tekan beton serat akibat penambahan bentonit terjadi pada umur 3 hari, dimana persentase penurunan kuat tekan pada 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%. Sedangkan dari nilai kuat lentur yang diperoleh, maka beton serat

yang tidak menggunakan bentonit dan beton serat yang menggunakan bentonit 3% memenuhi standar yang digunakan sebagai perencanaan perkerasan kaku. Sedangkan beton serat yang menggunakan bentonit 6% dan 9% tidak memenuhi standar yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku, karena nilai kuat lentur yang diperoleh tidak sampai 50 kg/cm^2 .

2. Pada pengujian pembebanan terhadap lapisan rigid pavement model (pelat beton) yang mempunyai dimensi $120 \times 80 \times 10 \text{ cm}$, maka pelat beton yang tidak menggunakan bentonit mengalami retak pada pembebanan 66 KN yang bila dikonversi ke pelat pada skala lapangan dengan tebal 30 cm diperkirakan beban maksimal 59,4 ton, sedangkan pelat yang menggunakan bentonit 3% terjadi retak pada pembebanan 64 KN dan bila dikonversi ke pelat pada skala lapangan dengan tebal 30 cm beban maksimal diperkirakan 57,6 ton. Dengan demikian lapisan rigid pavement ini aman untuk dilalui untuk jenis kendaraan berat yang mempunyai sumbu muatan terberat 10 ton. Pengaruh beban terhadap deformasi pelat lebih besar terjadi pada arah melintang dibandingkan dengan arah memanjang. Semakin besar panjang pelat maka lendutan yang terjadi lebih kecil, sebaliknya semakin kecil panjang pelat maka lendutan yang terjadi lebih besar. Lendutan terbesar terjadi di lokasi pusat beban, dan semakin kecil seiring menjauhnya dari pusat beban.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka diajukan beberapa saran sebagai bahan pertimbangan:

1. Apabila di lapangan proyek kurang tersedia pasir, maka dapat direkomendasikan penggunaan Bentonit sebagai pengganti pasir sampai pada kadar 3% untuk mutu beton K 300 karena masih mampu menghasilkan mutu beton sesuai yang direncanakan.
2. Penurunan kuat tekan beton dengan adanya penambahan kadar bentonit di atas 3%, maka sebaiknya Bentonit yang digunakan sebagai pengganti pasir digunakan pada beton mutu rendah untuk lebih ekonomis.

Bentonit terbagi 2 jenis, yaitu ca-bentonit dan na-bentonit. Pada penelitian ini yang digunakan adalah ca-bentonit yang memiliki kadar kapur yang tinggi dan kadar natrium yang rendah. Perlu penelitian lebih lanjut penggunaan na-bentonit yang memiliki kadar natrium yang tinggi dan kapur yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A & Setiawan, Z.B, (2008). *Kuat Lentur dan Geser Balok yang Menggunakan Bendrad Sebagai Serat*. Universitas Hasanuddin, Makassar
- Ananta Ariatama, 2007. *Pengaruh Pemakaian Serat Terkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- ASTM, 1985. *American Standart Test Material* Vol. E, New York.
- ASTM, 1995. *Concrete and Agregat*, Philadelphia: Annual Book of ASTM
Standard Vo.04.02.1995.
- Balitbang PU, 2000. *Spesifikasi Kawat Baja dengan Proses Canay Dingin untuk Tulangan Beton*. SNI 07-6401-2000. Bandung
- Braja M. Das 1985, *Mekanika Tanah prinsip-prinsip rekayasa geoteknis jilid 2* Institut 10 November Surabaya,
- Darwis, M. F. dkk, 1991, *Laporan Penyelidikan Geologi Terpadu Untuk Pengembangan Wilayah Daerah Kabupaten Takalar Propinsi Sulawesi Selatan*, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Sul Sel, Makassar
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-1993, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian Dan Pengembangan, Jakarta
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*, pd T-14-2003, Jakarta
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*, SK SNI 03-1968-1990 , yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar* , SK SNI 03- 1969-1990 , yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus* , SK SNI 03-1970-1990 , yayasan LPMB, Bandung.

- DPU, 1990, *Metode Pengujian Kadar Air Agregat* , SK SNI 03-1971-1990, yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles* , SK SNI 03-2417-1991 , yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Slump Beton*, SK SNI 03-1972-1990, yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Berat Isi Beton*, SK SNI 03-1973-1990, yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1991, *Metode Pengujian Pengambilan Contoh untuk Campuran Beton Segar*, SK SNI 03-2458-1991, Yayasan LPMB, Bandung.
- DPU, 1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, SNI 03-1974-1990, Badan Standar Nasional
- DPU, 1990, *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*, SK SNI 03-2493-1991, yayasan LPMB, Bandung.
- Gambir, M.L. 1986. *Concrete Technology*, Tata McGraw Hill Publishing Company, New Delhi
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (online)*, (www.tekmira.esdm.go.id/HasilLitbang/bentonite, diakses 12 Maret 2013)
- Mulyono,T. 2004. *Teknologi Beton*, Yogyakarta,
- Mustari, M. I. 2011 *Studi Kuat Lentur Beton Pada Perkerasan Kaku Dengan Penambahan Serat Fiberglass Pada Beton Normal*. STITEK Dharma Yadi. Makassar
- Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.2006. *Pedoman Penulisan Tesis dan Disertasi*. Makassar.
- Pusjatan Balitbang PU, 1989. *Metode Pengujian CBR Laboratorium*. SNI 03-1744-1989. Bandung.
- Pusjatan Balitbang PU, 1997. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. SNI 03-4431-1997. Bandung
- Sukoyo, 2011. *Peningkatan kuat tekan dan kuat tarik beton dengan penambahan fiber Baja*, Politeknik Negeri Semarang, Semarang

- Syafril, M.R. 2008. Penelitian yang berjudul *Studi Perkerasan Kaku (RIGID PAVEMENT) Tanpa Tulangan Menggunakan Kaolin Sebagai Bahan Tambah*. Jurusan Teknik Sipil akultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
- Tjokrodimuljo, K. 1992. *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wahyudi, M. H. (2009). *Studi Penelitian Pengaruh Penambahan Bentonite pada Campuran Beton Terhadap KUat Tekan Beton*. Sekolah Tinggi Teknik, Jakarta
- Wihardi Tjaronge, 2012. *Teknologi Bahan Lanjut. Semen dan Beton Berongga*. Makassar
- Yoder, E.J. dan Witczak, M.W., 1975. "*Principles of Pavement Design 2nd Edition*". John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Zhou, H. 2006. *Stress and Strain in Pavements*. California State University, CIVL 581 Transportation Pavements., Chico.