

**PENGARUH PENAMBAHAN PASIR TERHADAP
KADAR AIR OPTIMUM DAN KEPADATAN TANAH
LEMPUNG**



OLEH :

I KADEK AGUS DWIPAYANA

2015113034

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN
TEKNOLOGI**

POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK SIPIL

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK SIPIL

2023

i



POLITEKNIK NEGERI BALI

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN
TEKNOLOGI

POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung,
Bali-8036 Telp. (0361) 701981 (hunting) Fax. 701128

Laman: www.pnb.ac.id Email: poltek@pnb.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN PASIR TERHADAP KADAR AIR OPTIMUM DAN KEPADATAN TANAH LEMPUNG

Oleh:

I Kadek Agus Dwipayana

2015113034

Laporan ini Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan Diploma III Pada Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bali

Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Ir. I Wayan Arya, M.T

NIP. 196509271992031002

Bukit Jimbaran,
Pembimbing II

I Wayan Sujahtra, ST, MT

NIP. 196405261991031001

Disahkan,
Politeknik Negeri Bali
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. I Nyoman Suardika, MT

NIP. 196510261994031001



POLITEKNIK NEGERI BALI

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN
TEKNOLOGI

POLITEKNIK NEGERI BALI

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung,
Bali-8036 Telp. (0361) 701981 (hunting) Fax. 701128
Laman: www.pnb.ac.id Email: poltek@pnb.ac.id

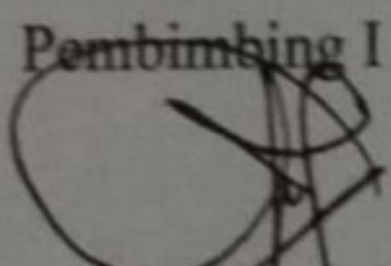
**SURAT KETERANGAN TELAH
MENYELESAIKAN TUGAS AKHIR
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dosen Pembimbing Skripsi Prodi DIII Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali Menerangkan bahwa:

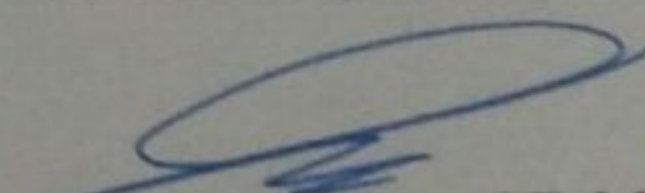
Nama Mahasiswa : I Kadek Agus Dwipayana
NIM : 2015113034
Jurusan/Program Studi : Teknik Sipil/ D3 Teknik Sipil
Judul : Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Kadar Air Optimum Dan Kepadatan Tanah Lempung

Telah dinyatakan selesai menyusun Tugas Akhir dan bisa diajukan sebagai bahan ujian komprehensif.

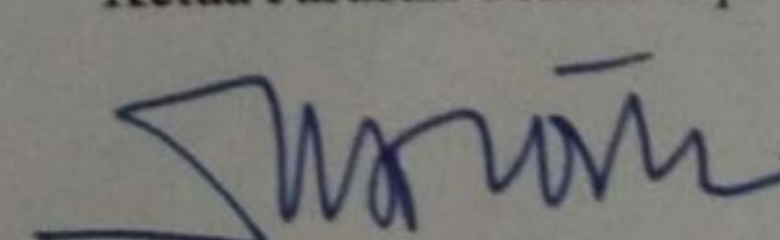
Pembimbing I


Ir. I Wayan Arya, M.T
NIP. 196509271992031002

Bukit Jimbaran,
Pembimbing II


I Wayan Sujahtra, ST, MT
NIP. 196405261991031001

Disahkan,
Politeknik Negeri Bali
Ketua Jurusan Teknik Sipil


Ir. I Nyoman Suardika, MT
NIP. 196510261994031001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : I Kadek Agus Dwipayana
NIM : 2015113034
Jurusan / Prodi : Teknik Sipil/ D3 Teknik Sipil
Tahun Akademik : 2022/2023
Judul : Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Kadar Air
Optimum Dan Kepadatan Tanah Lempung

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan Judul di atas, benar merupakan hasil karya **Asli/Original**.

Demikianlah keterangan ini saya buat dan apabila ada kesalahan dikemudian hari, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan.

Bukit Jimbaran,



I Kadek Agus Dwipayana

PENGARUH PENAMBAHAN PASIR TERHADAP KADAR AIR OPTIMUM DAN KEPADATAN TANAH LEMPUNG

I Kadek Agus Dwipayana

Ir. I Wayan Arya, M.T. I Wayan Sujahtra, ST, MT

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali

Phone : 085858011781, E-mail : aguspayana27@gmail.com

ABSTRAK

Dalam pengujian ini khususnya tanah yang kelebihan kadar air dan kepadatan tanah yang tidak menentu yang di sebabkan oleh perubahan sifat tanah lempung ini, untuk mengatasi hal seperti ini di perlukan alternatif penanganan yang tersedia antara lain pencampuran pasir untuk pengujiannya menggunakan teknologi pemadatan tanah, untuk memadatkan tanah tersebut digunakan uji proctor standard test agar dapat mengetahui pengaruh pasir terhadap tingkat kepadatan tanah dengan presentase tanah asli, 5%, 10%, 15%, 20%. Sampel tanah diambil beberapa titik dikawasan Jl. A.A Gede Rai. Br. Silungan, Ubud, Gianyar, Bali dengan menggunakan cangkul sedalam 50cm, sampel tanah yang diambil tersebut digunakan untuk pengujian pemadatan tanah menggunakan alat proctor standard, sampel tanah yang diambil kurang lebih sebanyak 50kg dan untuk pasirnya sebagai bahan stabilisasi tanah diambil diLaboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Bali. Pasir tersebut berasal dari Karangasem, Bali. Sampel pasir ini akan digunakan sebagai variasi penambahan saat melakukan pengujian pemadatan tanah menggunakan proctor standard test. Berapa pengaruh penambahan pasir 5%, 10%, 15%, 20% terhadap tingkat kepadatan tanah lempung. Campuran berapa persen pasir yang menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum. Pengaruh penambahan pasir sebesar 5% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 7,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli, untuk penambahan pasir 10% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 8,8% dari kepadatan maksimum tanah asli, untuk penambahan pasir 15% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum 13,8% dari kepadatan maksimum tanah asli, untuk penambahan pasir 20% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 18,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli. jadi semakin banyak penambahan pasir pada tanah mengidentifikasi bahwa kepadatan kering maksimum terus meningkat. Jadi penambahan 20% pasir menghasilkan kepadatan kering yang maksimum.

Kata Kunci : Tanah Lempung, Kadar Air Optimum, Kepadatan Kering Maksimum

ABSTRACT

In this test, especially soil with excess water content and erratic soil density caused by changes in the nature of this clay soil, to overcome this, alternative treatments are needed, including mixing sand for testing using soil compaction technology, to compact the soil. The standard proctor test was used in order to determine the effect of sand on the level of soil density with the percentage of natural soil, 5%, 10%, 15%, 20%. Soil samples were taken at several points in the area of Jl. A.A Gede Rai, Brother Silungan, Ubud, Gianyar, Bali using a hoe as deep as 50cm, the soil samples taken were used for testing soil compaction using a standard proctor tool, approximately 50kg of soil samples were taken and for the sand as a soil stabilizing agent taken at the Soil Mechanics Laboratory of the Bali State Polytechnic . The sand comes from Karangasem, Bali. This sand sample will be used as an additional variation when testing soil compaction using a standard test proctor. What is the effect of adding 5%, 10%, 15%, 20% sand on the density of clay soil? What percentage mixture of sand produces maximum soil density. The effect of adding 5% sand is an increase in the maximum dry density of 7.8% of the maximum dry density of the original soil, for the addition of 10% sand there is an increase in the maximum dry density of 8.8% of the maximum density of the original soil, for the addition of 15% sand it occurs the increase in maximum dry density is 13.8% of the maximum density of the original soil, for the addition of 20% sand there is an increase in the maximum dry density of 18.8% of the maximum dry density of the original soil. So the more sand added to the soil indicates that the maximum dry density continues to increase. So the addition of 20% sand produces maximum dry density.

Keywords: Clay Soil, Optimum Water Content, Maximum Dry Density

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmatnya-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini yaitu untuk memenuhi persyaratan kelulusan nantinya. Dalam pembuatan tugas akhir ini tentunya banyak hambatan dan rintangan yang penulis alami. Namun hambatan itu dapat diatasi berkat bimbingan, semangat, dan motivasi dari dosen pembimbing, teman teman, maupun dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak I Nyoman Abdi, S.E M.eCom selaku direktur Politeknik Negeri Bali
2. Bapak Ir. I Nyoman Suardika, M.T. selaku ketua jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali yang telah banyak memberikan arahan dan masukan kepada penulis
3. Bapak I Wayan Suasira, ST , MT selaku Ketua Program Studi D3 Jurusan Teknik Sipil
4. Bapak Ir. I Wayan Arya, M.T sebagai dosen pembimbing I yang telah membimbing penulis selama menyusun Tugas Akhir
5. Bapak I Wayan Sujahtra, ST , MT sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing penulis selama menyusun Tugas Akhir
6. Bapak dan Ibu selaku orang tuayang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir
7. Teman teman yang telah memotivasi saya dan mendukung penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini

Penulis menyadari berbagai kelehaman dan keterbatasan yang ada, sehingga terbuka kemungkinan terjadinya kesalahan dalam penulisan Tugas Akhir . Penulis sangat memerlukan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca Tugas Akhir ini.

Demikianlah yang dapat penulis sampaikan, Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

Bukit Jimbaran 2023

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Manfaat Penulisan.....	2
1.5 Ruang Lingkup.....	2
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Tanah.....	3
2.2 Tanah Lempung.....	4
2.3 Jenis Mineral Lempung.....	5
2.4 Stabilitas tanah.....	6
2.5 Pasir.....	7
2.6 Pengujian Kadar Air.....	8
2.7 Pengujian Berat Jenis.....	9
2.8 Pemadatan Tanah.....	10
2.9 Pengujain Proctor Standar Test.....	11
BAB III	
METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Rancangan Penelitian.....	12
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	12
3.2.1 Lokasi Penelitian.....	12
3.2.2 Waktu Pelaksanaan.....	13

3.3	Penentuan Sumber Data.....	13
3.4	Prosedur Penelitian.....	13
3.4.1	Penambilan Tampil Tanah.....	13
3.4.2	Pengujian Kadar Air.....	14
3.4.3	Pengujian Berat Jenis.....	15
3.4.4	Pengujian Pemadatan Proctor Standar AASHTOT 99-81	16
3.5	Bagan Air Penelitian.....	18
BAB IV		
DATA DAN ANALISA DATA.....		
4.1	Pengujian Kadar Air Tanah dan Pasir.....	19
4.2	Pengujian Berat Jenis.....	20
4.3	Pengujian Pemadatan Proctor Standar AASHTOT 99-81	21
4.3.1	Pengujian Pemadatan Tanpa Ditambahi Pasir	21
4.3.2	Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 5%	24
4.3.3	Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 10%	27
4.3.4	Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 15%	30
4.3.5	Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 20%	33
4.3.6	Hubungan Penambahan Pasir Terhadap Kepadatan kering Maksimum.....	36
4.3.7	Hubungan Penambahan Pasir Terhadap Kadar Air Optimum.....	37
4.3.8	Klasifikasi Tanah	38
BAB V		
KESIMPULAN DAN SARAN.....		
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN.....		
		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengujian Pemadatan Tanah	10
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Gravik Kurva Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Volume Kering	14
Gambar 3.3 Schema Peralatan Pemadatan Standar Proctor	16
Gambar 3.4 Foto Alat Pemadatan Proctor Standar	16
Gambar 4.7 Bagan Air Penelitian.....	18
Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisis Uji Proctor Tanah Asli.....	24
Gambar 4.2 Grafik Hasil Analisis Uji Proctor Tanah + 5%.....	27
Gambar 4.3 Grafik Hasil Analisis Uji Proctor Tanah + 10%.....	30
Gambar 4.4 Grafik Hasil Analisis Uji Proctor Tanah + 15%.....	33
Gambar 4.5 Grafik Hasil Analisis Uji Proctor Tanah + 20%.....	36
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Presentase Penambahan Pasir Dengan Kepadatan Kering Maksimum.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam Macam Berat Jenis Tanah.....	9
Tabel 2.2 Faktor Koreksi Suhu.....	9
Tabel 3.1 Macam Macam Berat Jenis.....	15
Tabel 4.1 Pengujian Kadar Air Tanah.....	19
Tabel 4.2 Pengujian Kadar Air Pasir.....	19
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah.....	20
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir.....	20
Tabel 4.5 Pengujian pemadatan tanah asli.....	23
Tabel 4.6 Pengujian pemadatan Tanah + Pasir 5%.....	26
Tabel 4.7 Pengujian pemadatan Tanah + Pasir 10%.....	29
Tabel 4.8 Pengujian pemadatan Tanah + Pasir 15%.....	32
Tabel 4.9 Pengujian pemadatan Tanah + Pasir 20%.....	35
Tabel 4.10 Hubungan Antara Presentase Penambahan Pasir Dengan Kepadatan Kering Maksimum.....	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan material dasar yang sangat terpengaruh dari suatu struktur bangunan konstruksi dalam pekerjaan teknik sipil, baik itu konstruksi bangunan ataupun jalan. Konstruksi jalan membutuhkan tanah dasar yang baik untuk meletakkan bagian-bagian pekerjaan jalan yang diletakkan diatas tanah dasar tersebut. Kekuatan dan keawetan maupun tebal dari lapisan konstruksi pekerjaan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah ini. Salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh perencana dan pelaksana pembangunan konstruksi khususnya untuk pekerjaan perkerasan jalan adalah cara menangani tanah atau bahan yang buruk agar dapat digunakan sebagai bahan perkerasan.

Pada beberapa pembangunan konstruksi di Indonesia berada di atas tanah lempung. Tanah lempung merupakan tanah yang mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar air dalam tanah itu sendiri, tanah lempung pada umumnya merupakan material tanah dasar yang buruk hal ini dikarenakan kuat gesernya sangat rendah sehingga suatu konstruksi yang berada di lapisan atasnya selalu menghadapi beberapa masalah seperti daya dukung yang rendah dan sifat kembang susut yang besar.

Kepadatan tanah merupakan suatu proses memadatkan partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume air dengan memakai cara mekanis. Pemadatan dilakukan bila mana tanah membutuhkan perbaikan untuk mendukung konstruksi yang ada diatasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan tujuan dari pemadatan tanah antara lain menambahkan kuat geser tanah, mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)

Dalam pengujian ini khususnya perbaikan kembang susut tanah yang diakibatkan kelebihan kadar air dan kepadatan tanah yang tidak menentu yang di sebabkan oleh perubahan sifat tanah lempung ini, untuk mengatasi hal seperti ini di perlukan alternatif penanganan yang tersedia antara lain pencampuran pasir di karenakan pasir memiliki kadar air yang rendah dan untuk pengujian dengan menggunakan teknologi pemadatan tanah, untuk memadatkan tanah tersebut

digunakan uji *proctor standar* agar dapat mengetahui pengaruh penambahan pasir terhadap tingkat kepadatan tanah dengan presentase tanah asli, 5%, 10%, 15%, 20%.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas dalam peneltian ini adalah:

1. Berapa pengaruh penambahan pasir 5%, 10%, 15%, 20% terhadap tingkat kepadatan tanah lempung.
2. Campuran berapa persen pasir yang menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum.

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan pasir terhadap tingkat kepadatan tanah lempung .
- 2 Mengetahui campuran berapa persen (%) pasir yang menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum.

1.4 Manfaat penulisan

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Mampu mengatasi salah satu masalah dalam pembangunan konstruksi maupun jalan di atas tanah lempung.
2. Bisa mendapatkan kepadatan tanah yang baik.
3. Meningkatkan kemampuan kualitas tanah lempung.

1.5 Ruang Lingkup

- 1 Sampel tanah yang di gunakan tanah lempung yang di ambil dari daerah. Jl A.A Gede Rai Br. Silungan, Ubud, Gianyar, Bali.
2. Pasir yang di gunakan well graded berasal dari karangasem.
3. Pengujian yang di lakukan adalah Proctor Standar Test.
4. Pengujian dilakukan di Labolatorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Bali.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran-butiran mineral mineral padat yang tidak terasemblasi, atau terikat secara kimia satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah hancur di sekitar zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong dari partikel-partikel padat tersebut.

Definisi tanah secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin ada material organik rongga-rongga diantara material berisi udara dan tekanan antara butiran-butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel. Ruang diantara partikel tersebut dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya ¹Hardiyanto, W.C., 2003, Mekanika Tanah II. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. Proses penghancuran dalam bentuk tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan yang disebabkan oleh air dan gletayer, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida ², L.D. Wesley (1977), Mekanika Tanah, cetakan VI, Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Sedangkan menurut ¹Bowles, J.E. (1984). "Physical and Geotechnical Properties of Soils", McGraw-Hill, Inc., USA.

tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu seluruh jenis berikut.

- 1 Berangkal (boulders) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal
- 2 Kerikil (gravel) adalah batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm
- 3 Pasir (sand) adalah batuan partikel yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran <1 mm
- 4 Lanau (silt) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm
- 5 Lempung (clay) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesi
- 6 Koloid (colloids) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm
- 7

- 5 Lempung (clay) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesi
- 6 Koloid (colloids) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung adalah jenis tanah yang memiliki kandungan partikel halus, terutama fraksi liat. Tanah lempung cenderung memiliki tekstur yang lengket dan tahan air, serta dapat dengan mudah membentuk gumpalan atau adukan yang bisa dipulai. Ciri-ciri utama tanah lempung adalah kemampuannya untuk menyerap dan menyimpan air dalam jumlah yang relatif tinggi dibandingkan dengan jenis tanah lainnya. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat fisik dan kimia dari partikel-partikel liat di dalamnya. Namun, karena sifat lengket dan tahan air tersebut, tanah lempung juga cenderung mengalami perubahan volume (mengerut atau mengembang) ketika kondisi kelembapan berubah. Ini bisa menjadi tantangan saat membangun struktur di atasnya karena pergerakan tanah dapat menyebabkan keretakan atau keruntuhan pada konstruksi. Pada sisi positifnya, tanah lempung seringkali sangat subur dan cocok untuk pertanian. Karena mampu menyimpan banyak air dan nutrisi penting bagi pertumbuhan tanaman.

Menurut "Foundation Analysis and Design" oleh Joseph E. Bowles, ada beberapa tindakan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki tanah lempung sebelum atau selama proses konstruksi. Beberapa tindakan tersebut meliputi:

- 1 Pemadatan: Tanah lempung bisa dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat seperti roller atau alat bergetar. Tujuannya adalah untuk mengurangi kelembutan dan meningkatkan daya dukung tanah.
- 2 Pengeringan: Jika tanah lempung terlalu basah, pengeringan dapat membantu mengurangi kandungan air dalam tanah sehingga stabilitasnya meningkat.
- 3 Penggalan dan penggantian: Dalam kasus tertentu di mana kondisi ekstrem terjadi, seperti adanya lapisan lumpur di bawah permukaan

tanah yang stabil, penggalian dan penggantian dengan material lain mungkin perlu dilakukan.

- 4 Penambahan bahan tambahan: Bahan tambahan seperti pasir atau kerikil dapat dicampurkan ke dalam tanah lempung untuk meningkatkan drainase air dan stabilitasnya.
- 5 Preloading: Metode preloading melibatkan menumpuk beban pada lahan selama periode waktu tertentu agar mengalami penyejajaran secara bertahap sebelum dimulainya konstruksi struktur utama.
- 6 Stabilisasi kimia: Untuk kasus-kasus tertentu di mana tidak memungkinkan melakukan perubahan fisik pada jenis tanah ini, teknik stabilisasi kimia dapat digunakan dengan menambahkan bahan kimia seperti kapur atau semen untuk meningkatkan sifat dan stabilitas tanah.

2.3 Jenis Mineral Lempung

Mineral lempung adalah kelompok mineral yang terbentuk dari pelapukan dan dekomposisi batuan. Tanah memiliki struktur kristal berlapis-lapis yang khas dan dapat menyerap air serta ion-ion dalam jumlah besar. Mineral lempung terdiri dari partikel-partikel kecil dengan ukuran mikroskopis yang disebut sebagai "unit dasar" atau "unit struktural". Unit dasar ini tersusun atas lapisan-lapisan atom yang dihubungkan oleh ikatan kimia tertentu, seperti ikatan hidrogen atau elektrostatis. Beberapa jenis mineral lempung umum meliputi kaolinit, montmorillonit, illite, dan klorit, setiap jenis mineral lempung memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang berbeda-beda. Misalnya, kaolinit cenderung memiliki tekstur halus dengan warna putih atau abu-abu, sedangkan montmorillonit mampu membengkak ketika terkena air. Mineral lempung banyak digunakan dalam berbagai industri seperti keramik, kosmetik, farmasi, pertanian (sebagai bahan tambahan pupuk), pemboran minyak bumi, konstruksi bangunan (misalnya untuk stabilisasi tanah), serta pengolahan limbah dan pemulihan lingkungan.

Beberapa penjelasan tentang jenis mineral lempung

- 1 Kaolinit: Kaolinit adalah salah satu mineral lempung paling umum dan merupakan bagian dari keluarga kaolin. Mineral ini biasanya

berwarna putih atau abu-abu, memiliki tekstur halus, dan sering digunakan dalam industri keramik, kosmetik, kertas, dan cat.

- 2 Montmorillonit: Montmorillonit adalah jenis mineral lempung dengan kemampuan penyerapan air yang sangat baik. Ia juga dikenal karena kemampuannya untuk membengkak ketika terpapar air. Mineral ini penting dalam industri pengeboran minyak bumi dan juga digunakan sebagai agen pengental di produk-produk seperti cat tembok atau pasta gigi.
- 3 Illite: Illite adalah bentuk mineral lempung yang lebih keras dibandingkan dengan kaolinit atau montmorillonit. Ia sering kali berwarna hijau kecoklatan atau kuning keabu-abuan dan banyak ditemukan di lingkungan sedimen laut dangkal hingga darat.
- 4 Klorit: Klorit juga termasuk jenis mineral lempung namun cenderung kurang reaktif dibandingkan dengan tiga tipe sebelumnya.

2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah proses atau teknik yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat fisik dan mekanik dari tanah agar lebih kokoh, tahan lama, dan stabil. Tujuannya adalah untuk mengurangi perubahan volume, daya dukung yang rendah, atau masalah lain yang dapat terjadi pada tanah.

Proses stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti:

- 1 Stabilisasi Kimia: Metode ini melibatkan penambahan bahan kimia ke dalam tanah untuk meningkatkan stabilitasnya. Bahan kimia tersebut bisa berupa kapur hidrat (lime), semen, fly ash (sisa pembakaran batu bara), atau polimer sintetis. Bahan-bahan ini akan bereaksi dengan komponen-komponen dalam tanah dan membentuk ikatan-ikatan baru yang memperkuat struktur tanah.
- 2 Stabilisasi Mekanikal: Teknik ini melibatkan penggunaan material tambahan seperti agregat kasar (kerikil atau batu pecah) untuk meningkatkan ketebalan lapisan atas permukaan tanah atau menggunakan geotekstil sebagai penguat struktural di dalam lapisan-tumpuan konstruksi.

- 3 Pengeringan: Jika kondisi kelembapan sangat tinggi pada suatu area lahan, pengeringan dapat menjadi solusi stabilisasi dengan menghilangkan kelebihan air secara kontinyu hingga mencapai kadar air optimal bagi stabilitas dan daya dukung tanah.
- 4 Preloading : Preloading adalah metode stabilisasi dimana beban diberikan pada permukaan lahan selama periode waktu tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengurangi perubahan volume tanah sebelum konstruksi utama dimulai.

Metode stabilisasi tanah yang tepat akan tergantung pada kondisi tanah, jenis proyek yang dilakukan, dan tujuan dari stabilitas yang diinginkan. Penting untuk melibatkan ahli geoteknik atau insinyur sipil dalam merencanakan dan menerapkan teknik stabilisasi tanah dengan benar sesuai kebutuhan proyek.

2.5 Pasir

Pasir adalah jenis tanah atau material yang terdiri dari partikel-partikel kecil dengan ukuran antara 0,0625 hingga 2 milimeter. Pasir biasanya terbentuk melalui proses pelapukan batuan yang menghasilkan partikel-partikel kecil ini. Secara umum, pasir terdiri dari mineral-mineral seperti kuarsa, feldspar, mika, dan mineral lainnya. Namun komposisi mineral dalam pasir dapat bervariasi tergantung pada sumbernya. Misalnya, pantai pasir umumnya mengandung banyak butiran kuarsa karena pengaruh erosi batuan di daratan. Ciri khas dari pasir adalah teksturnya yang kasar dan butiran-butiran berbentuk bulat atau tidak beraturan. Peranan pasir sangat diperlukan dalam penelitian stabilisasi tanah dasar untuk mencegah atau meniadakan kerusakan pada konstruksi bangunan ataupun jalan akibat tanah dasar. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari kabupaten Karangasem, Bali. Pasir sering digunakan sebagai bahan pemadatan tanah dalam konstruksi, ada beberapa alasan mengapa pasir digunakan untuk pemadatan tanah

- 1 Kepadatan: Pasir memiliki butir-butir yang lebih besar dibandingkan dengan tanah, sehingga pasir dapat membantu meningkatkan kepadatan dan stabilitas tanah. Ketika pasir dikompaksi di atas tanah,

butir-butir pasir yang lebih besar akan mengisi celah dan ruang di antara partikel tanah, sehingga mengurangi kepadatan efektif tanah.

- 2 Drainase: Pasir memiliki sifat yang relatif permeabel. artinya ia dapat memfasilitasi aliran air melalui pori-porinya. Dalam beberapa kasus, ketika tanah memiliki kandungan air yang tinggi, penambahan pasir dapat membantu meningkatkan kemampuan drainase tanah. Hal ini dapat mencegah penumpukan air dan melindungi struktur di atasnya dari kerusakan.
- 3 Stabilitas Pasir dapat membantu meningkatkan stabilitas tanah. Dalam konstruksi, pasir sering digunakan dalam pembuatan pondasi atau lapisan bawah jalan. Dengan menambahkan pasir dan mengompakkannya dengan baik, stabilitas tanah dapat ditingkatkan, yang pada gilirannya akan meminimalkan risiko penurunan atau kerusakan struktur di atasnya.
- 4 Kemudahan penggunaan: Pasir merupakan bahan yang mudah didapatkan dan umumnya lebih murah dibandingkan dengan bahan pemadatan tanah lainnya seperti kerikil atau batu pecah. Selain itu, pasir juga mudah untuk diolah dan dikompaksi menggunakan peralatan konstruksi standar.

Namun, perlu dicatat bahwa kebutuhan akan pemadatan tanah dan jenis bahan yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada jenis tanah yang ada dan kondisi proyek konstruksi tertentu. Penting untuk berkonsultasi dengan insinyur sipil atau profesional terkait sebelum memutuskan jenis bahan pemadatan yang tepat untuk proyek konstruksi.

2.6 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air adalah proses untuk menentukan jumlah udara yang terkandung dalam suatu bahan atau sampel, pengukuran ini penting dalam banyak bidang, termasuk industri, pertanian, konstruksi, dan penelitian ilmiah. Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dalam tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Kadar air dalam suatu tanah biasanya mengalami suatu perubahan tergantung kondisi alam, suhu, cuaca

dan iklim yang sering kali berubah-ubah. Oleh karena itu pengaruh kadar air pada tanah sangat perlu diperhitungkan dalam perencanaan dalam proyek konstruksi maupun jalan.

2.7 Pengujian Berat Jenis Tanah

Pengujian berat jenis tanah adalah proses untuk menentukan berat jenis atau densitas suatu tanah. Berat jenis merupakan perbandingan antara massa suatu bahan dengan volume yang diisinya. Dalam konteks pengujian berat jenis tanah, kita mencari nilai berat jenis dari sampel tanah tertentu.

-Macam Berat Tabel 2.1 Macam Jenis

Macam tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau non organic	2,62-2,68
Lanau organic	2,58-2,68
Lempung	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,8

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Tabel 2.2 Faktor Koreksi Suhu

T (C)	Yw (gr/cm ³)	A
16	0,99897	1,0007
18	0,99862	1,0004
20	0,99823	1,0000
22	0,99780	0,9996
24	0,99732	0,9991
26	0,99681	0,9986
28	0,99623	0,9980

Sumber : Panduan Pratikum Pengujian Tanah 1 PNB

2.8 Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah adalah proses untuk meningkatkan kepadatan dan stabilitas suatu lapisan atau massa tanah dengan mengurangi ruang pori di dalamnya. Tujuan dari pemadatan tanah adalah untuk mencapai tingkat kepadatan yang optimal agar dapat mendukung struktur bangunan, jalan, atau fondasi dengan baik. Proses pemadatan tanah dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Bali. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses pemadatan tanah:

- 1 Kandungan air: Kelembaban dalam tanah memiliki peranan penting dalam proses pemadatan. Jumlah air yang tepat diperlukan agar partikel-partikel dapat saling terhubung dan membentuk ikatan-ikatan antarbutiran.
- 2 Tekstur dan komposisi: Sifat-sifat fisik dari jenis-jenis butiran penyusun juga akan mempengaruhi kemampuan suatu jenis tanah untuk dipadatkannya.
- 3 Metode pemadatan: Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan pemadatan, seperti vibrokompaksi, penggilasan menggunakan roller compactor, atau bahkan penggalian menggunakan mesin excavator besar.



Gambar 2.1 Pemadatan Tanah

2.9 Pengujian Proctor Standar Test

Pengujian Proctor Standar Test adalah metode standar yang digunakan untuk mengukur kepadatan dan kadar air optimum dari suatu tanah. Pengujian ini dinamakan sesuai dengan nama penemu metode tersebut, yaitu R.R. Proctor. Tujuan utama dari pengujian Proctor Standar Test adalah untuk menentukan berapa banyak kelembaban yang optimal atau ideal dalam tanah agar dapat mencapai kepadatan tertinggi yang mungkin. Hal ini penting, terutama dalam proses konstruksi, karena tingkat kepadatan tanah akan mempengaruhi kemampuan tanah untuk mendukung beban struktural dan menghindari masalah seperti penurunan atau kerusakan pada konstruksi

BAB III METODE PENELITIAN

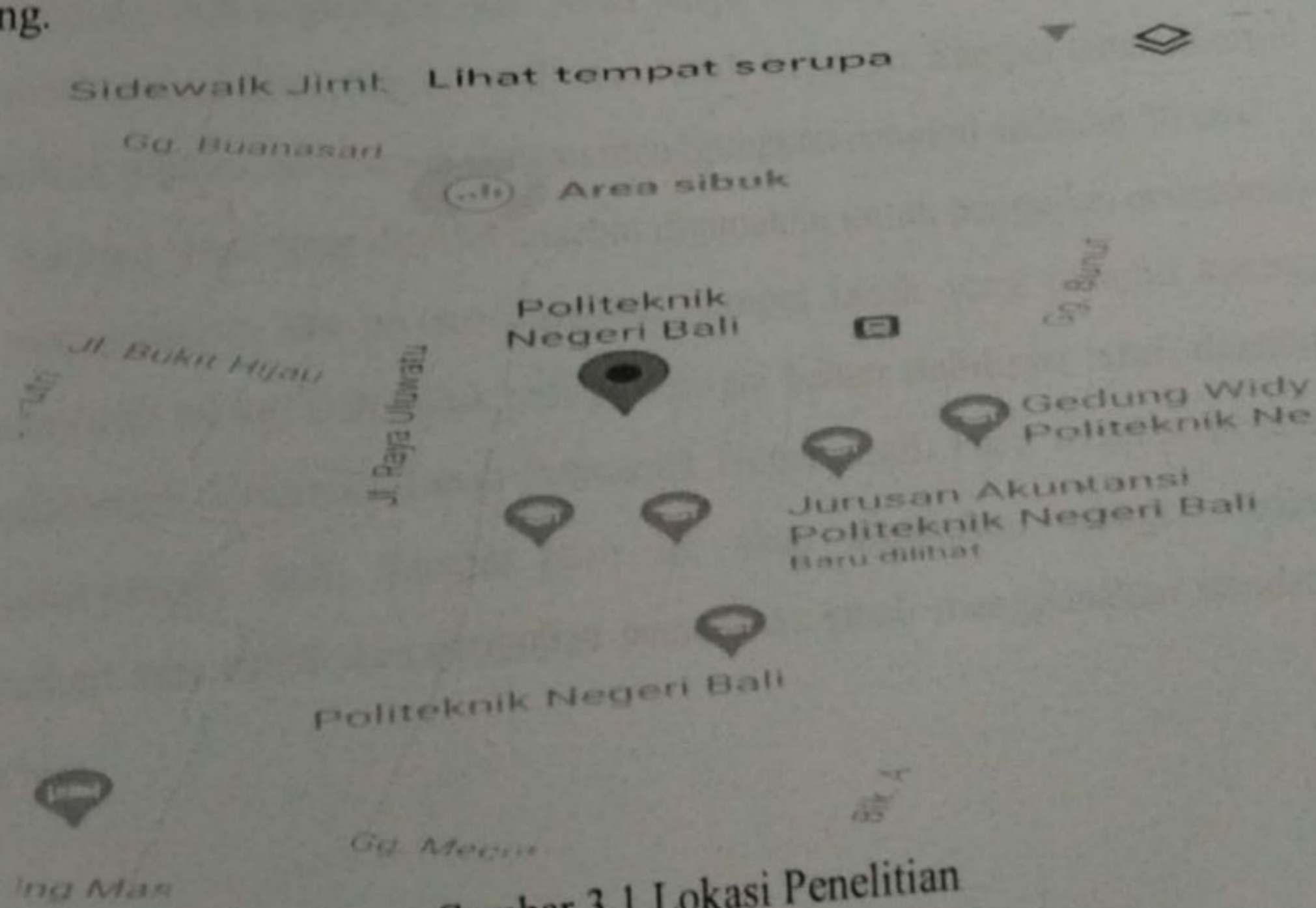
3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif eksperimental yang dimulai dengan studi literatur dan dilanjutkan dengan penyediaan bahan atau material yang akan di gunakan ter diri dari tanah lempung dan pasir. Selanjutnya dilakukan pengujian pemadatan tanah dengan menggunakan standard proctor test untuk mengetahui kadar air optimum sebelum tanah asli di campur dengan pasir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir terhadap tingkat kepadatan dengan presentase yang berbeda. Pada akhir penelitian akan di dapat data dan kurva dari hasil penelitian yang memperlihatkan hubungan penambahan pasir terhadap tingkat kepadatan tanah lempung.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi dari penelitian yang dilakukan berada di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Bali. Jenis pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir terhadap kadar air optimum dan kepadatan tanah lempung.



3.2.2 Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian ini di mailai dengan pertama mencari topic yang akan diteliti, dilanjutkan dengan pengumpulan da sekunder dan pembuatan proposal in selesai. Setelah ini dilanjutkan dengan mencari data primer dan melakukan pengolahan data, setelah penelitian selesai dengan melakukan penyusunan laporan Penyusunan laporan tugas akhir dimalai maret 2023 sampai bulan agustus 2023.

3.3 Penentuan Sumber Data

Sumber data adalah segala sesuatu yang dapat memberikan informasi mengenai data yang akan kita cari. Pada penelitian ini menggunakan jenis data primer. Data primer yaitu data yang langsung dikumpulkan dari sumber pertamanya. Dalam penelitian ini data primer dapat diperoleh dari pengujian kadar air, pengujian berat Jenis dan pengujian pemadatan dengan menggunakan standard proctor test

3.4 Prosedur Penelitian

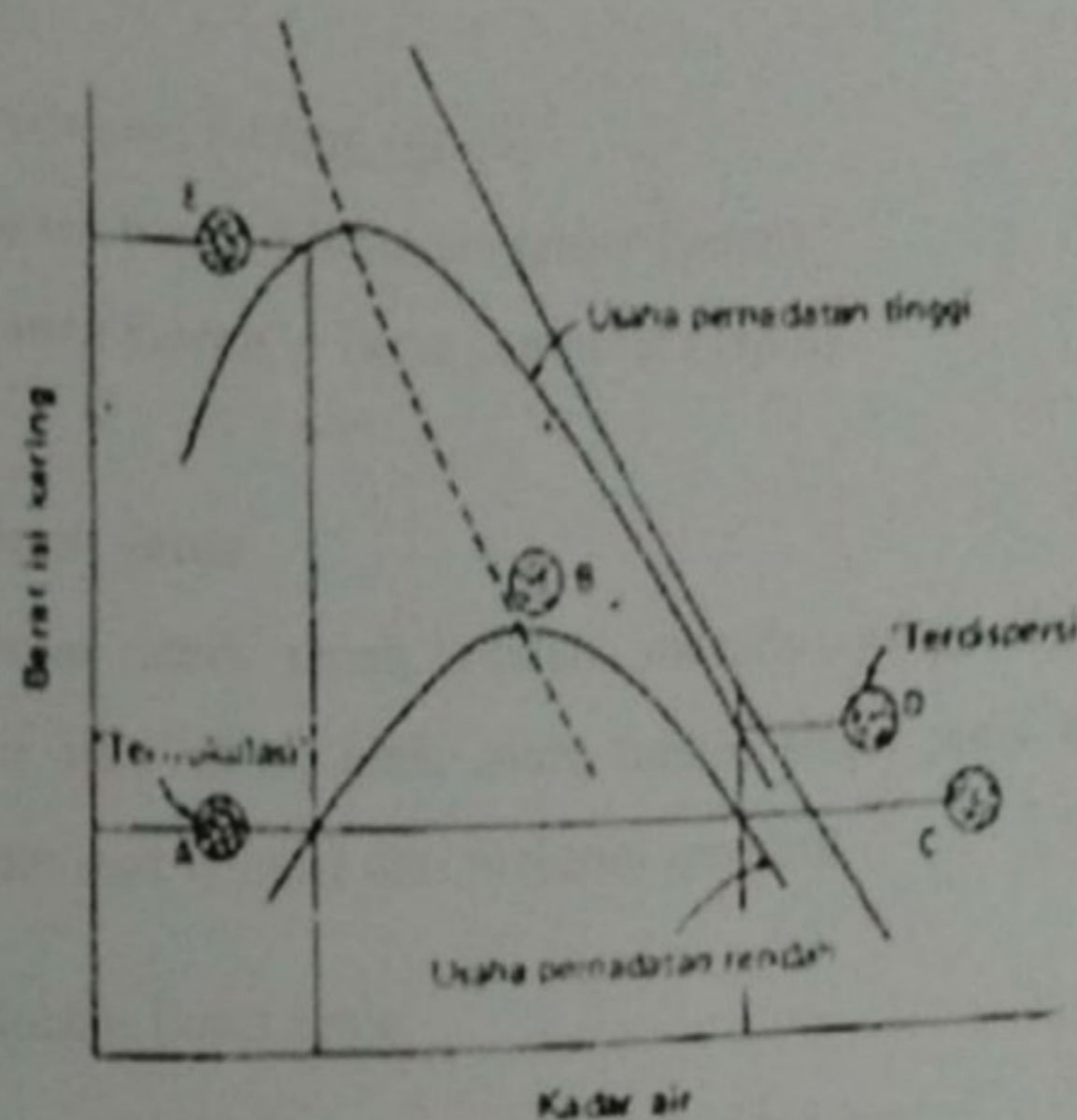
3.4.1 Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang diambil pada penelitian ini adalah tanah terganggu (disturb soil) yaitu tanah yang sudah terjamah atau sudah tidak alami lagi yang telah terganggu oleh lingkungan luar. Akan tetapi dalam penelitian kali ini cukup mengambil sampel tanah (disturb soil) atau tunah terganggu. Sampel tanah diambil beberpa titik dikawasan Gianyar dengan menggunakan cangkul sedalam 50 cm.

Sampel tanah yang diambil tersebut digunakan untuk pengujian pemadatan tanah menggunakan alat proctor standard. Sampel tanah yang diambil kurang lebih sebanyak 50 kg. Dan untuk pasirya sebagai bahan stabilisasi tanah diambil di Labolatorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Bali. Pasir tersebut berasal dari Karangasem, Bali. Sampel pasir ini akan digunakan sebagai variasi penambahan saat melakukan pengujian pemadatan tanah menggunakan standard proctor test

3.4.2 Pengujian Kadar Air

Pengujian Kadar Air adalah perbandingan antara berat air dengan berat kering tanah dan dinyatakan dalam persen. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air dalam suatu tanah dengan baik.



Gambar 3.2 Grafik Kurva Hubungan Antara Kadar Air Dan Berat Volume Kering Sumber DAS, 1995

Pelaksanaanya

1. Berikan nomer pada setiap container dan timbangan masing-masing container (W1)
2. Masukkanlah tanah basah kedalam container, kemudian timbang container dan contoh tanah basah (W2)
3. Masukkanlah container dan contoh tanah basah kedalam oven, kemudian keringkan sampai mencapai berat konstan. Suhu oven harus diatur pada nilai 105° - 110° . Dan hindari panas oven yang lebih tinggi karena dapat menyebabkan terbakarnya unsur organik yang ada dalam tanah atau berubahnya komposial mineral dari butiran tanah
4. Setelah itu timbang kembali contoh tanah dalam container tersebut dan catat berat container dan berat tanah yang beratnya sudah konstan (W3)

Perhitungan

$$\text{kadar air (w)} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\%$$

Dimana :

W1= berat container kosong (gram)

W2= berat tanah basah + berat container (gram)

W3= berat tanah kering + berat container (gram)

3.4.3 Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis tanah adalah metode yang digunakan untuk mengukur kepadatan atau massa jenis suatu tanah. Berat jenis tanah mengacu pada jumlah massa per unit volume dari material tersebut.

Tabel 3.1 Macam-Macam Berat Jenis

Macam tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau non organic	2,62-2,68
Lanau organic	2,58-2,68
Lempung	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,8

Sumber : Hardiyatmo, 2002

1. Keringkan piknometer + penutupnya (dengan catatan didalam piknometer harus benar-benar kering) dan timbang piknometer + tutup (w1)
2. Kemudian siapkan sampel tanah sebanyak 50 gram yang lolos ayakan no 10 (2mm). Dan keringkan tanah yang berada dalam oven, setelah dingin masukan kedalam piknometer 5-10 gram. Kemudian timbang piknometer + tanah(w2)
3. Dan tambahkan air suling kedalam piknometer sehingga tanah keseluruhan terendam dengan air
4. Untuk mengeluarkan udara yang masi ada, masukan piknometer tanpa tutup kedalam panic berisi air, kemudian dipanaskan diatas panic pemanas (hot plate). Jangan sampai ada tanah yang keluar, sisa udara yang terperangkap bisa dikeluarkan dengan pompa. Proses ini

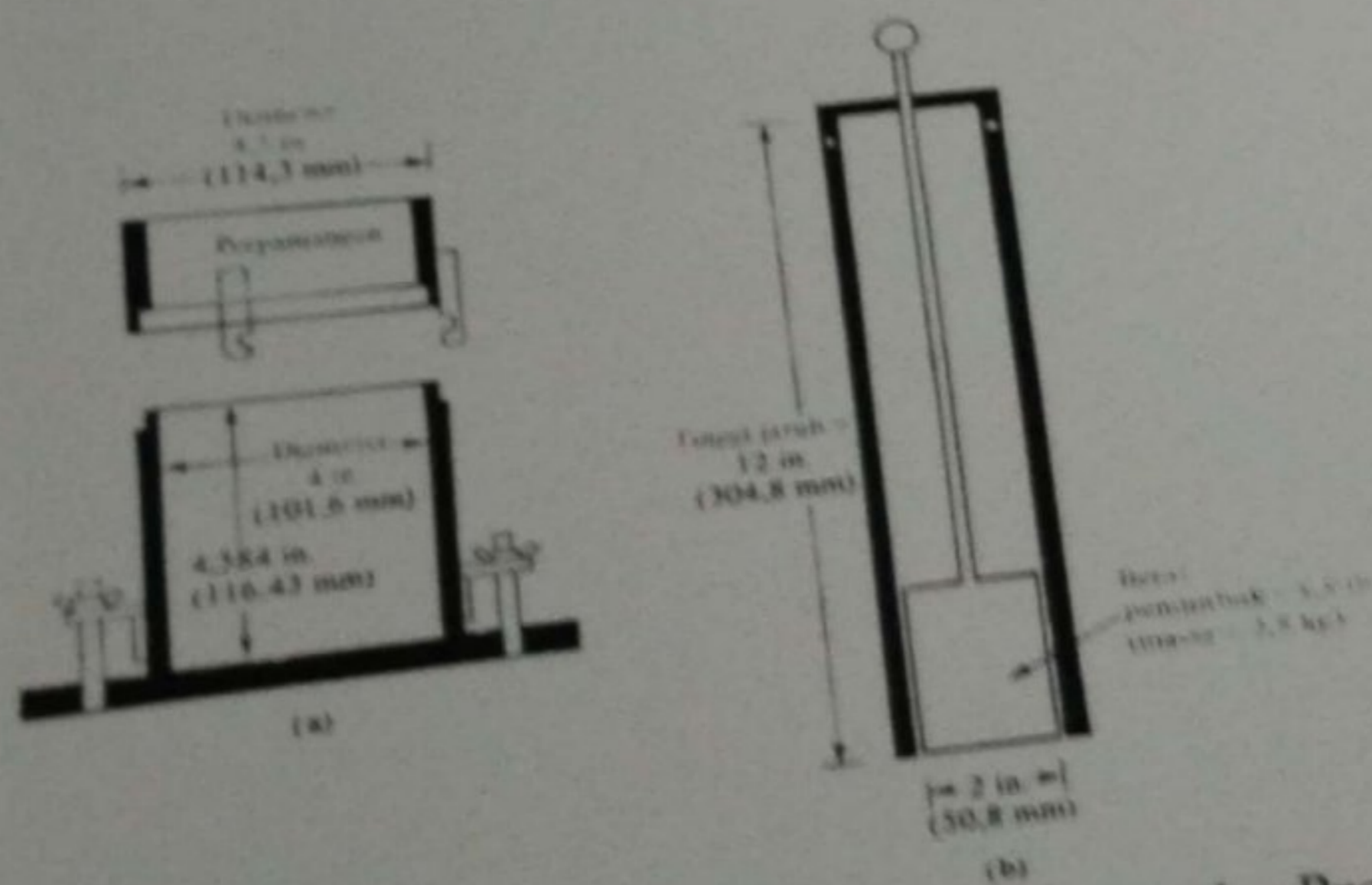
dilakukan sampai tidak ada sisa gelembung udara yang keluar dari tanah tersebut.

5. Setelah dipanaskan, kemudian piknometer didinginkan menggunakan desikator sampai tercapai suhu yang diinginkan, kemudian tambahkan air suling kedalam piknometer sampai tidak ada ruang yang tersisa, bila masih ada udara yang terperangkap di bawah tutup botol, maka harus ditambahkan air suling sampai tidak ada gelembung atau udara dibawah tutup botol.
6. Kemudian lap bagian luar botol, dan timbang botol + tanah + air penuh (w_3)
7. Setelah itu cuci piknometer sampai bersih dan masukan air suling sampai terisi dengan penuh, kemudian timbang piknometer + tutup + air suling (w_4)
8. Pengujian berat jenis dapat dilakukan minimal dua kali sebagai perbandingan bila perbedaannya $>2\%$, maka pengujiannya harus diulangi.

3.4.4 Pengujian Pemadatan Proctor Standar Test AASHTO 99-81

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah : cetakan standar, pemukul standar, ekstruder, palu karet, container, oven, sendok density, skraper, ayakan no. 4, ompreng besar, timbangan kapasitas 20 kg, gelas ukur, mistar ukur, kantong plastic, standar compaction dengan spesifikasi sebagai berikut :

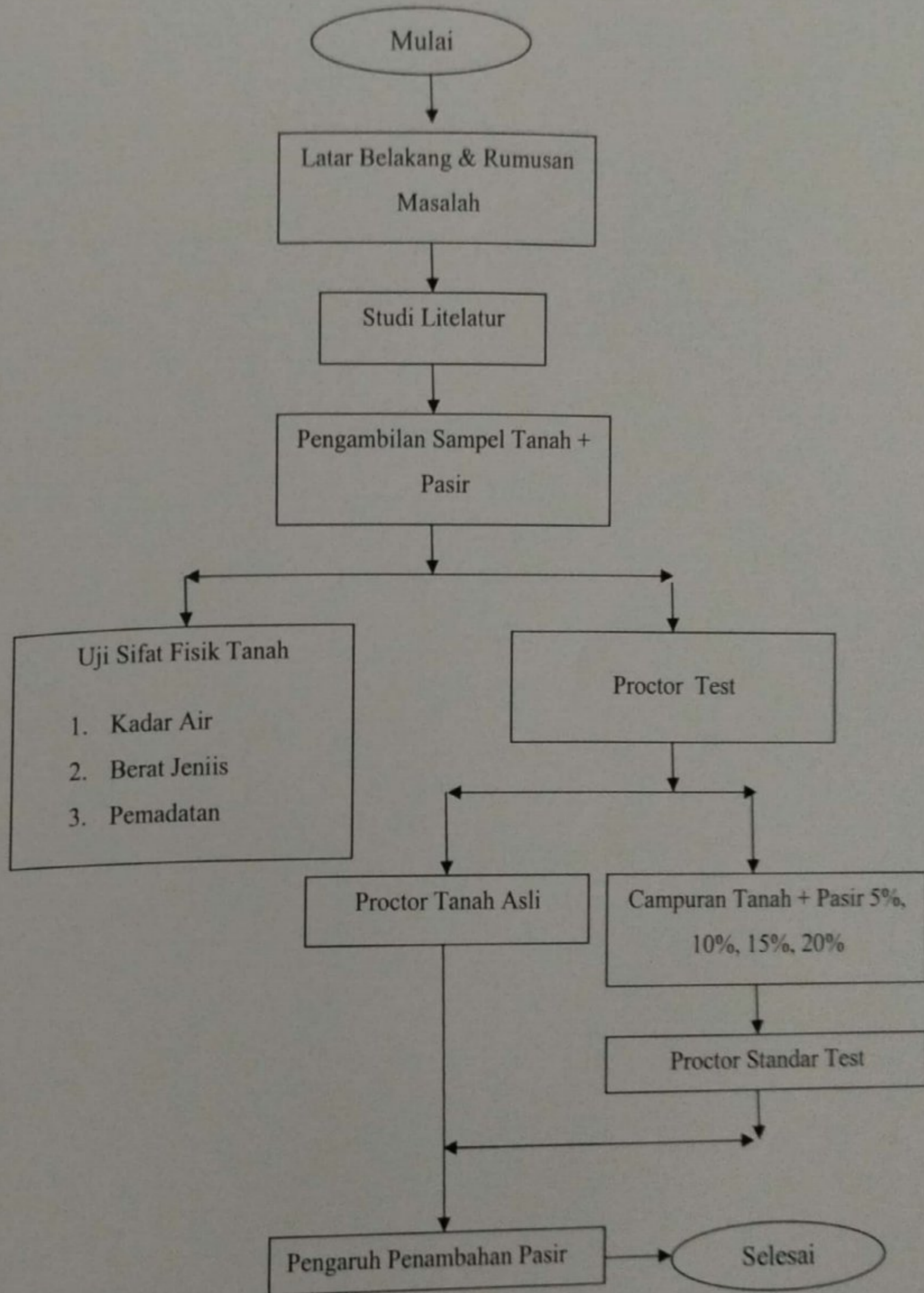
- 1 Diameter pemukul : 50,8 mm
- 2 Berat pemukul : 2,5 kg
- 3 Tinggi jatuh : 30,48 cm
- 4 Jumlah lapisan : 3 lapis
- 5 Banyak pukulan : 25 kali/lapis
- 6 Cetakan selinder : diameter 101,6mm, tinggi 116,43 mm, volume 943 mm^3



Gambar 3.3 Schema peralatan pemadat standar Proctor



Gambar 3.4 Foto alat pemadat standar



BAB IV
DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Pengujian Kadar Air Tanah Dan Pasir

Adapun hasil pengujian kadar air tanah dan pasir yang dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

Kadar Air Tanah		1	2	3
No Container				
Berat Container w1	Gr	9,8	10	9,8
Berat Container + Tanah Basah w2	Gr	36,4	43,4	39,2
Berat Container + Tanah kering w3	Gr	30,6	35,8	32,6
Kadar Air		25,60	29,46	28,95
Kadar Air Rata Rata (%)			28,0	

Tabel 4.2 Pengujian Kadar Air Pasir

Kadar Air Pasir		1	2	3
No Container				
Berat Container w1	Gr	10,1	9,6	9,8
Berat Container + Tanah Basah w2	Gr	42,60	43,4	40,8
Berat Container + Tanah kering w3	Gr	39,20	39,7	37,3
Kadar Air		11,68	12,29	12,73
Kadar Air Rata Rata (%)			12,2	

Berdasarkan hasil pengujian kadar air tanah dan pasir, dapat disimpulkan bahwa tanah lempung memiliki kadar air yang lebih tinggi dari pada kadar air pasir

4.2 Pengujian Berat Jenis

Adapun hasil pengujian berat jenis tanah dan pasir yang dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Berat Jenis Tanah		
No Piknometer	1	2
Berat Piknometer Kosong W1 (gr)	32,8	31,2
Berat Piknometer + Tanah W2 (gr)	44,3	41,2
Berat Piknometer + Tanah + Air W3 (gr)	91,8	88,5
Berat Piknometer + Air W4 (gr)	84,7	82,3
Suhu Pengujian oC	28	28
Faktor Kohesi Suhu	0,996	0,996
Gs	2,60	2,62
Gs Rata Rata		2,61

Pada pengujian berat jenis tanah didapat nilai berat jenis tanah 2,61

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir

Berat Jenis Pasir		
No Piknometer	1	2
Berat Piknometer Kosong W1 (gr)	34,5	36
Berat Piknometer + Tanah W2 (gr)	51,3	53,9
Berat Piknometer + Tanah + Air W3 (gr)	146,3	147,2
Berat Piknometer + Air W4 (gr)	135,8	136
Suhu Pengujian oC	28	28
Faktor Kohesi Suhu	0,996	0,996
Gs	2,66	2,66
Gs Rata Rata		2,66

Pada pengujian berat jenis pasir didapat nilai 2,66

$$Gs = \frac{(w_2 - w_1)a}{((w_4 - w_1) - (w_3 - w_2))}$$

1. Gs = berat jenis tanah
2. w1 = berat piknometer kosong (gram)
3. w2 = berat piknometer + tanah kering (gram)
4. w3 = berat piknometer + tanah + air (gram)
5. w4 = berat piknometer + air (gram)
6. a = 1 faktor koreksi suhu

4.3 Pengujian Pemadatan Proctor Standar AASHTO T 99-81

Berikut ini hasil pengujian pemadatan tanah yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah

4.3.1 Pengujian Pemadatan Tanah asli

Pengujian pemadatan tanah asli diperoleh pada tabel 4.1 sebagai berikut

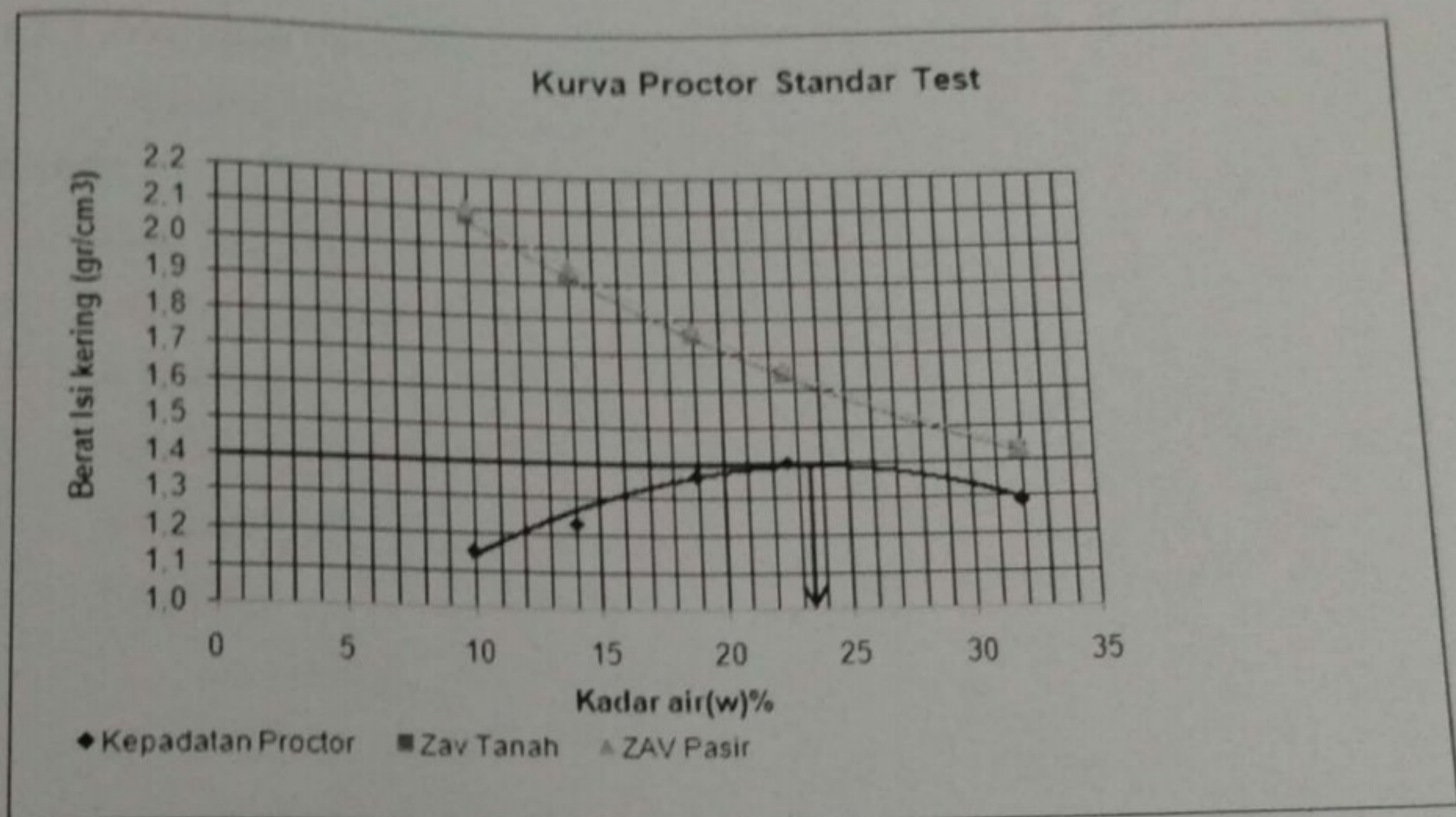
Pada pengujian pemadatan tanah asli pelaksanaanya sebagai berikut

- 1 Timbang cetakan dengan alas bawahnya dengan ketelitian 1 gr (w_1).
- 2 Kemudian cetakan, leher dan alas ditempatkan pada alas yang kuat.
- 3 Ambil salah satu contoh sampel tanah dari kantong plastik dan diaduk diompreng sehingga rata dan padatkan dengan cetakan dengan langkah - langkah :
 - A. Jumlah lapisan tanah yaitu 3 lapis. Pada setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali dengan alat penumbuk standar
 - B. Jumlah tanah yang digunakan diatur sehingga pada lapis ketiga Permukaan atau terakhir agar kelebihan dari batas atas cetakan maksimum 0,5 cm
 - C. Gunakan pisau atau skraper untuk meratakan permukaan tanah dengan hati-hati
- 4 pada cetakan harus benar-benar rata, apabila pada permukaan tanah terdapat lubang maka permukaan itu harus ditambah dengan sampel tanah lagi supaya permukaan tanah benar datar
- 5 Kemudian timbang contoh tanah dengan cetakan dan alasnya (w_2)
- 6 Dan contoh dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat ekstruder, ambil sedikit bagian untuk tujuan pemeriksaan kadar air (w)
- 7 Ulangi pekerjaan pemadatan tanah dengan kadar air yang berbeda.
- 8 Jika kadar air yang terjadi tidak sesuai dengan keinginan, maka ambil beberapa contoh sampel tanah yang lain dan padatkan seperti cara tersebut, dengan tujuan supaya kadar air yang diinginkan terpenuhi.
- 9 Setelah pengujian pemadatan selesai dilakukan, kemudian lanjutkan dengan penimbangan.

Pada hasil pengujian proktor standar) test tanah asli diperoleh berat isi basah sebesar pada sampel 1 sebesar 1,268 dan 1,407, 1,622, 1,720, 1,703. Kemudian didapat berat isi kering sebesar sampel 1 sebesar 1,154, 1,234, 1,365, 1,403, 1,290.

Tabel 4.5 Pengujian Pemadatan Tanah Asli

No	Mold		1	2	3	4	5
1	Berat Sampel						
2	Penambahan air		0	100	200	300	400
	Berat isi basah		1,268	1,407	1,622	1,720	1,703
3	Berat mold + tanah						
4	Berat mold		1700	1840	1980	2120	2260
5	Volume mold		3511	3511	3511	3511	3511
6	Berat isi basah	$(3-4)/5$	944,32	944,32	944,32	944,32	944,32
	Kadar air	$w = \frac{(3-4)}{5}$	1,268	1,407	1,622	1,720	1,703
7	Berat cawan		8,40	8,40	9,70	9,70	9,80
8	Berat cawan + tanah basah		42,80	44,30	52,50	50,40	46,10
9	Berat cawan + tanah kering		30,80	40,00	45,70	42,90	37,30
10	Kadar air w	$\frac{(8-9)}{(10-9)}$	8,87	14,08	18,89	22,59	22,90
11	Berat isi kering $d = \frac{w}{(1+w)}$	$\frac{6}{(1+w)}$	1,154	1,234	1,365	1,403	1,290
12	Berat Jenis	G_s			2,61		
13	Z A V dengan G_s Tanah	$G_s(1+w)G_s$	2,075	1,910	1,748	1,642	1,422
12	Berat Jenis	G_s			2,66		
13	Z A V dengan G_s Pasir	$G_s(1+w)G_s$	2,107	1,936	1,770	1,662	1,437



Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisis Pemadatan Tanah Asli

Hasil dari pengujian Laboratorium tanah tanpa ditambahi pasir, kadar air optimum ditunjukkan pada titik puncak kurva. Menurut hasil analisis diperoleh bahwa nilai kadar air optimum sebesar 23,50% dan kepadatan kering sebesar 1,412 gr/cm^3 .

4.3.2 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 5%

Pengujian pemadatan proctor standard test diperoleh pada tabel 4.1 sebagai berikut

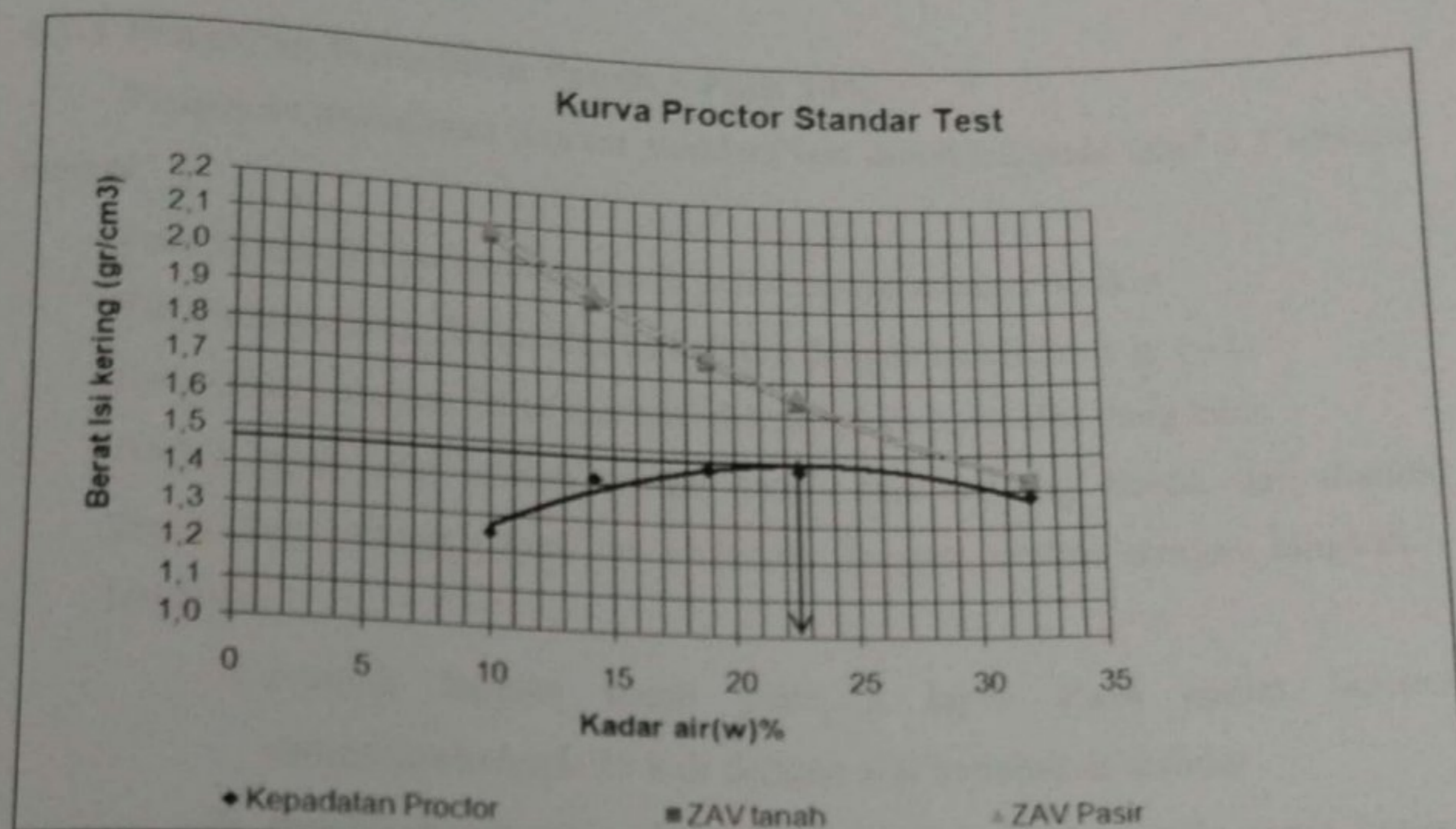
Pada pengujian pemadatan tanah pelaksanaanya sebagai berikut

- 1 Timbang cetakan dengan alas bawahnya dengan ketelitian 1 gr (w1).
- 2 Kemudian cetakan, leher dan alas ditempatkan pada alas yang kuat.
- 3 Ambil salah satu contoh sampel tanah dari kantong plastik dan diaduk diompreng sehingga rata dan padatkan dengan cetakan dengan langkah - langkah :
 - A. Jumlah lapisan tanah yaitu 3 lapis. Pada setiap lapisan ditumbusebanyak 25 kali dengan alat penumbuk standar
 - B. Jumlah tanah yang digunakan diatur sehingga pada lapis ketiga Permukaan atau terakhir agar kelebihan dari batas atas cetakan maksimum 0,5 cm
 - C. Gunakan pisau atau skraper untuk meratakan permukaan tanah dengan hati-hati
- 4 pada cetakan harus benar-benar rata, apabila pada permukaan tanah terdapat lubang maka permukaan itu harus ditambah dengan sampel tanah lagi supaya permukaan tanah benar datar
- 5 Kemudian timbang contoh tanah dengan cetakan dan alasnya (w2)
- 6 Dan contoh dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat ekstruder, ambil sedikit bagian untuk tujuan pemeriksaan kadar air (w)
- 7 Ulangi pekerjaan pemadatan tanah dengan kadar air yang berbeda.
- 8 Jika kadar air yang terjadi tidak sesuai dengan keinginan, maka ambil beberapa contoh sampel tanah yang lain dan padatkan seperti cara tersebut, dengan tujuan supaya kadar air yang diinginkan terpenuhi.
- 9 Setelah pengujian pemadatan selesai dilakukan, kemudian lanjutkan dengan penimbangan.

Pada hasil pengujian pemadatan tanah + pasir 5% diperoleh berat isi basah sebesar pada sampel 1 sebesar 1,379 dan 1,619, 1,725, 1,780, 1,822. Kemudian didapat berat isi kering sebesar sampel 1 sebesar 1,253, 1,417, 1,451, 1,452, 1,381.

Tabel 4.6 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 5%

No.	Mold			1	2	3	4	5
1	Berat Sampel							
2	Penambahan air		gr	2500	2500	2500	2500	2500
	Berat isi basah		cc	0	100	200	300	500
3	Berat mold + tanah							
4	Berat mold		gr	4813	5040	5140	5192	5232
5	Volume mold		gr	3511	3511	3511	3511	3511
6	Berat isi basah γ		cm ³	944,32	944,32	944,32	944,32	944,32
	Kadar air	$(3 - 4) / 5$	gr/cm ³	1,379	1,619	1,725	1,780	1,822
7	Berat cawan		gr	9,80	9,80	9,70	9,70	9,80
8	Berat cawan + tanah basah		gr	42,80	44,30	52,50	50,40	46,10
9	Berat cawan + tanah kering		gr	39,80	40,00	45,70	42,90	37,30
10	Kadar air ω	$(8-9) / (9-7)$	%	10,00	14,24	18,89	22,59	32,00
11	Berat isi kering $\gamma_d = \gamma / (1+w)$	$6 / (1+w)$	gr/cm ³	1,253	1,417	1,451	1,452	1,381
12	Berat Jenis	Gs		2,610				
13	Z A V dengan Gs Tanah	$Gs / (1+wGs)$		2,070	1,903	1,748	1,642	1,422
12	Berat Jenis	Gs		2,660				
13	Z A V dengan Gs Pasir	$Gs / (1+wGs)$		2,101	1,929	1,770	1,662	1,437



Gambar 4.2 Grafik Hasil Analisis Pemadatan Tanah + 5% Pasir

Hasil dari pengujian Laboratorium tanah ditambahi 5% pasir, kadar air optimum ditunjukkan pada titik puncak kurva. Menurut hasil analisis diperoleh bahwa nilai kadar air optimum sebesar 22,50% dan kepadatan kering sebesar 1,480 gr/cm³.

4.3.3 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 10%

Pengujian pemadatan proctor standard test diperoleh pada tabel 4.1 sebagai berikut

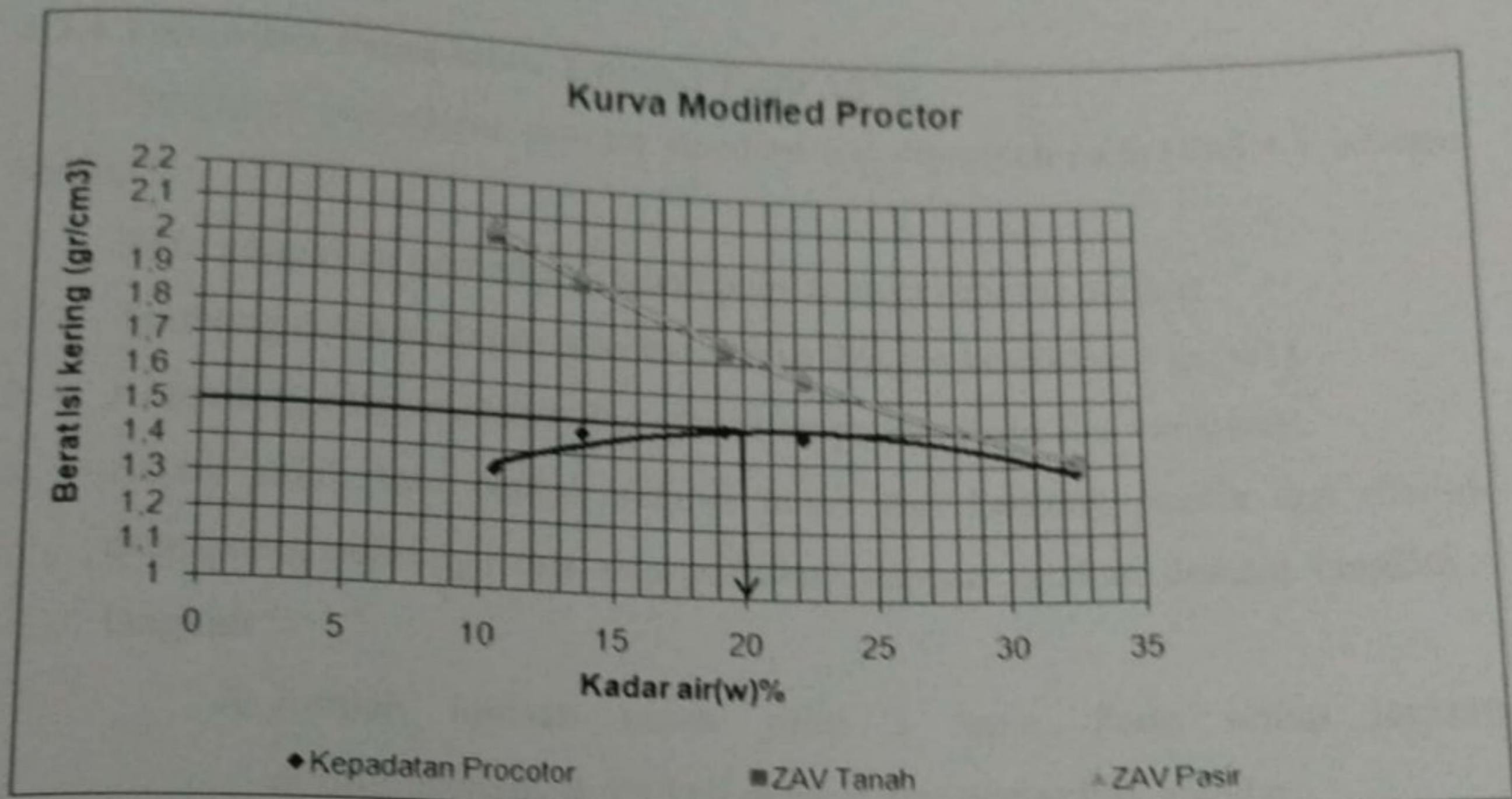
Pada pengujian pemadatan tanah pelaksanaanya sebagai berikut

1. Timbang cetakan dengan alas bawahnya dengan ketelitian 1 gr (w1).
2. Kemudian cetakan, leher dan alas ditempatkan pada alas yang kuat.
3. Ambil salah satu contoh sampel tanah dari kantong plastik dan diaduk diompreng sehingga rata dan padatkan dengan cetakan dengan langkah - langkah :
 - A. Jumlah lapisan tanah yaitu 3 lapis. Pada setiap lapisan ditumbusebanyak 25 kali dengan alat penumbuk standar
 - B. Jumlah tanah yang digunakan diatur sehingga pada lapis ketiga Permukaan atau terakhir agar kelebihan dari batas atas cetakan maksimum 0,5 cm
 - C. Gunakan pisau atau skraper untuk meratakan permukaan tanah dengan hati-hati
- 4 pada cetakan harus benar-benar rata, apabila pada permukaan tanah terdapat lubang maka permukaan itu harus ditambah dengan sampel tanah lagi supaya permukaan tanah benar datar
- 5 Kemudian timbang contoh tanah dengan cetakan dan alasnya (w2)
- 6 Dan contoh dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat ekstruder, ambil sedikit bagian untuk tujuan pemeriksaan kadar air (w)
- 7 Ulangi pekerjaan pemadatan tanah dengan kadar air yang berbeda.
- 8 Jika kadar air yang terjadi tidak sesuai dengan keinginan, maka ambilah beberapa contoh sampel tanah yang lain dan padatkan seperti cara tersebut, dengan tujuan supaya kadar air yang diinginkan terpenuhi.
- 9 Setelah pengujian pemadatan selesai dilakukan, kemudian lanjutkan dengan penimbangan.

Pada hasil pengujian pemadatan tanah + pasir 5% diperoleh berat isi basah sebesar pada sampel 1 sebesar 1,488 dan 1,670, 1,785, 1,812, 1,836. Kemudian didapat berat isi kering sebesar sampel 1 sebesar 1,345, 1,467, 1,497, 1,482, 1,385.

Tabel 4.7 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 10%

No	Mold		1	2	3	4	5	
1	Berat Sampel							
2	Penambahan air	gr	2500	2500	2500	2500	2500	
	Berat isi basah	cc	0	100	200	300	500	
3	Berat mold + tanah							
4	Berat mold	gr	4916	5068	5197	5222	5245	
5	Volume mold	gr	3511	3511	3511	3511	3511	
6	Berat isi basah γ	cm ³	944.32	944.32	944.32	944.32	944.32	
	Kadar air	$(3-4)/5$	gr/cm ³	1.488	1.670	1.785	1.812	1.836
7	Berat cawan							
8	Berat cawan + tanah basah	gr	9.30	9.40	9.40	9.50	9.50	
9	Berat cawan + tanah kering	gr	57.20	48.80	40.30	39.70	43.70	
10	Kadar air w	$(8-9)/(9-7)$	gr	52.60	44.00	35.30	34.20	35.30
11	Berat isi kering $\gamma_d = \gamma/(1+w)$	$6/(1+w)$	%	10.62	13.87	19.31	22.27	32.56
			gr/cm ³	1.345	1.467	1.497	1.482	1.385
12	Berat Jenis Tanah	Gs				2.61		
13	Z A V dengan Gs Tanah	$Gs/(1+wGs)$		2.043	1.916	1.736	1.651	1.411
12	Berat Jenis Pasir	Gs				2.66		
13	Z A V Dengan Gs Pasir	$Gs/(1+wGs)$		2.074	1.943	1.758	1.671	1.425



Gambar 4.3 Grafik Hasil Analisis Pemadatan Tanah + 10% Pasir

Hasil dari pengujian Laboratorium tanah ditambahi 10% pasir, kadar air optimum ditunjukkan pada titik puncak kurva. Menurut hasil analisis diperoleh bahwa nilai kadar air optimum sebesar 20,00% dan kepadatan kering sebesar 1,500 gr/cm^3 .

4.3.4 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 15%

Pengujian pemadatan proctor standard test diperoleh pada tabel 4.1 sebagai berikut

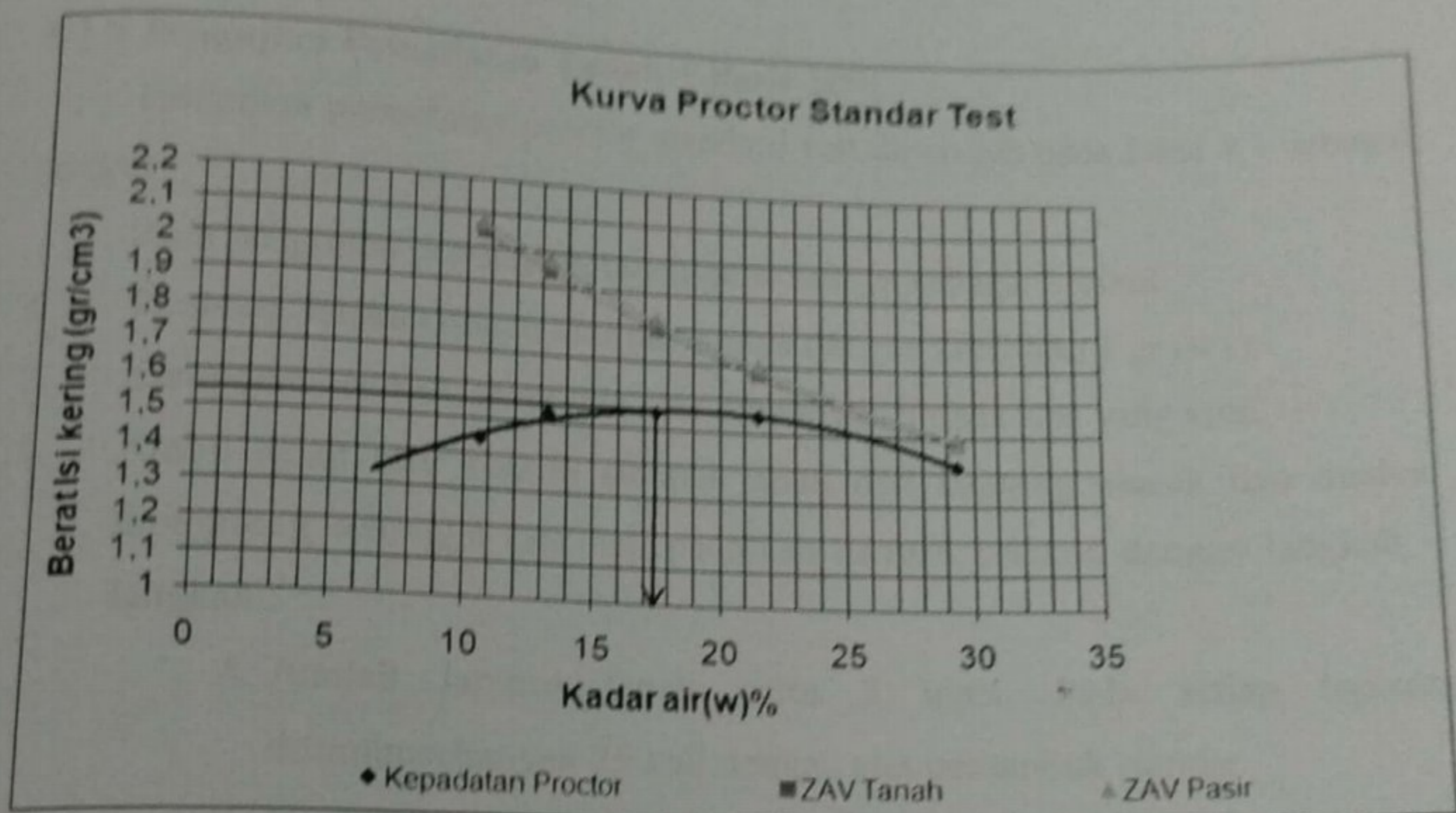
Pada pengujian pemadatan tanah pelaksanaanya sebagai berikut

1. Timbang cetakan dengan alas bawahnya dengan ketelitian 1 gr (w_1).
2. Kemudian cetakan, leher dan alas ditempatkan pada alas yang kuat.
3. Ambil salah satu contoh sampel tanah dari kantong plastik dan diaduk diompreng sehingga rata dan padatkan dengan cetakan dengan langkah-langkah :
 - A. Jumlah lapisan tanah yaitu 3 lapis. Pada setiap lapisan ditumbusebanyak 25 kali dengan alat penumbuk standar
 - B. Jumlah tanah yang digunakan diatur sehingga pada lapis ketiga Permukaan atau terakhir agar kelebihan dari batas atas cetakan maksimum 0,5 cm
 - C. Gunakan pisau atau skraper untuk meratakan permukaan tanah dengan hati-hati
- 4 pada cetakan harus benar-benar rata, apabila pada permukaan tanah terdapat lubang maka permukaan itu harus ditambah dengan sampel tanah lagi supaya permukaan tanah benar datar
- 5 Kemudian timbang contoh tanah dengan cetakan dan alasnya (w_2)
- 6 Dan contoh dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat ekstruder, ambil sedikit bagian untuk tujuan pemeriksaan kadar air (w)
- 7 Ulangi pekerjaan pemadatan tanah dengan kadar air yang berbeda.
- 8 Jika kadar air yang terjadi tidak sesuai dengan keinginan, maka ambilah beberapa contoh sampel tanah yang lain dan padatkan seperti cara tersebut, dengan tujuan supaya kadar air yang diinginkan terpenuhi.
- 9 Setelah pengujian pemadatan selesai dilakukan, kemudian lanjutkan dengan penimbangan.

Pada hasil pengujian pemadatan tanah + pasir 5% diperoleh berat isi basah sebesar pada sampel 1 sebesar 1,598 dan 1,729, 1,820, 1,879, 1,831. Kemudian didapat berat isi kering sebesar sampel 1 sebesar 1,445, 1,527, 1,550, 1,546, 1,415.

Tabel 4.8 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 15%

No	Mold		1	2	3	4	5	
1	Berat Sampel		2500	2500	2500	2500	2500	
2	Penambahan air	gr	0	100	200	300	500	
	Berat isi basah	cc						
3	Berat mold + tanah		5020	5144	5230	5285	5240	
4	Berat mold	gr	3511	3511	3511	3511	3511	
5	Volume mold	cm ³	944.32	944.32	944.32	944.32	944.32	
6	Berat isi basah γ	$(3 - 4) / 5$	1,598	1,729	1,820	1,879	1,831	
	Kadar air							
7	Berat cawan	gr	9,80	9,80	9,70	9,70	9,80	
8	Berat cawan + tanah basah	gr	50,45	45,30	58,10	50,40	42,40	
9	Berat cawan + tanah kering	gr	46,55	41,15	50,90	43,20	35,00	
10	Kadar air w	$(8-9)/(9-7)$	10,61	13,24	17,48	21,49	29,37	
11	Berat isi kering $\gamma_d = \gamma/(1+w)$	$6/(1+w)$	1,445	1,527	1,550	1,546	1,415	
12	Berat Jenis	Gs	2,610					
13	Z.A.V dengan Gs Tanah	$Gs/(1+wGs)$	2,044	1,940	1,792	1,672	1,478	
12	Berat Jenis	Gs	2,660					
13	Z.A.V dengan Gs Pasir	$Gs/(1+wGs)$	2,074	1,967	1,816	1,692	1,493	



Gambar 4.4 Grafik Hasil Analisis Pemadatan Tanah + 15% Pasir

Hasil dari pengujian Laboratorium tanah ditambahi 15% pasir, kadar air optimum ditunjukkan pada titik puncak kurva. Menurut hasil analisis diperoleh bahwa nilai kadar air optimum sebesar 17,50% dan kepadatan kering sebesar 1,550 gr/cm³.

4.3.5 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 20%

Pengujian pemadatan proctor standard test diperoleh pada tabel 4.1 sebagai berikut

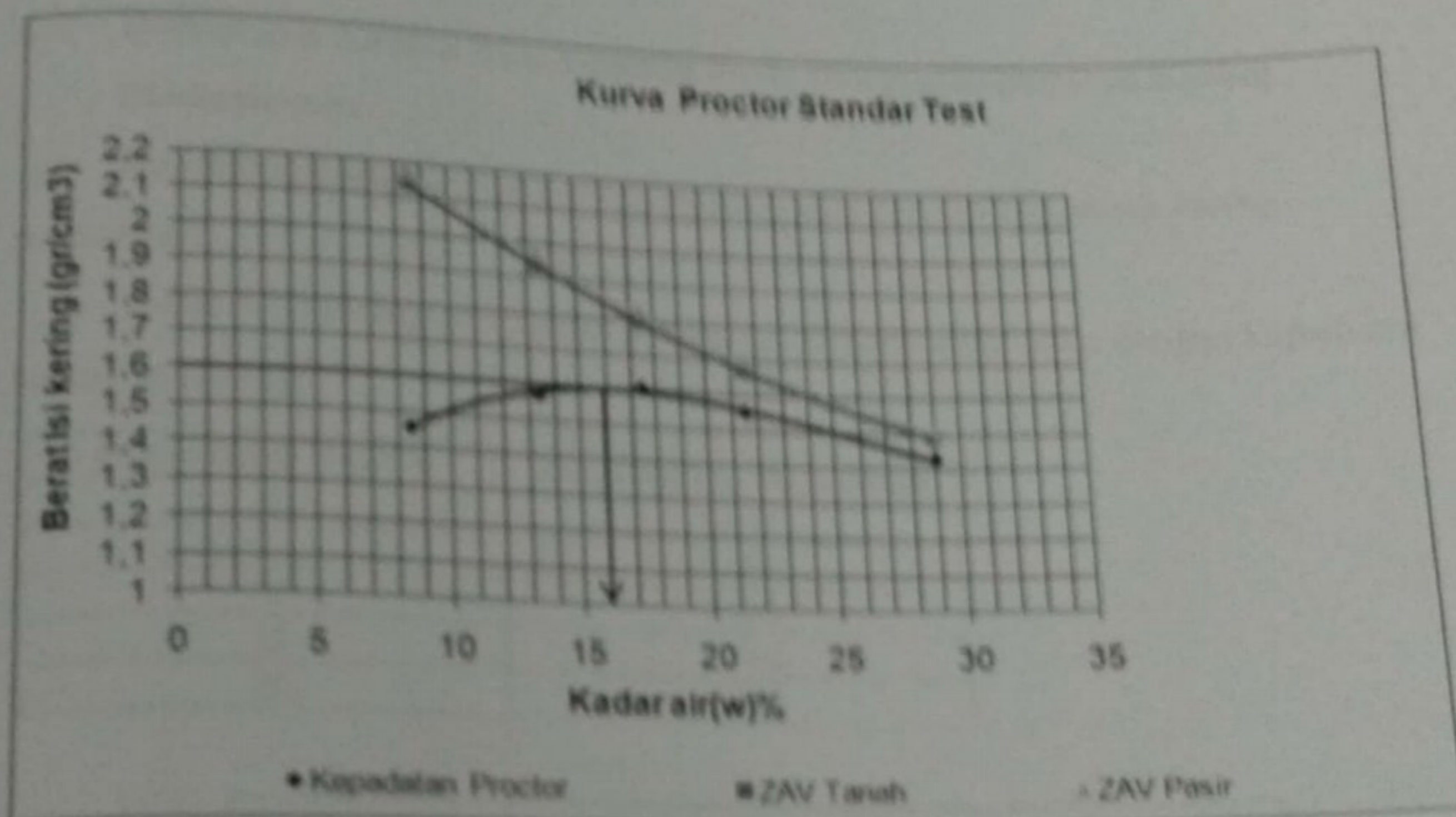
Pada pengujian pemadatan tanah pelaksanaanya sebagai berikut

1. Timbang cetakan dengan alas bawahnya dengan ketelitian 1 gr (w1).
2. Kemudian cetakan, leher dan alas ditempatkan pada alas yang kuat.
3. Ambil salah satu contoh sampel tanah dari kantong plastik dan diaduk diompreng sehingga rata dan padatkan dengan cetakan dengan langkah-langkah :
 - A. Jumlah lapisan tanah yaitu 3 lapis. Pada setiap lapisan ditumbusebanyak 25 kali dengan alat penumbuk standar
 - B. Jumlah tanah yang digunakan diatur sehingga pada lapis ketiga Permukaan atau terakhir agar kelebihan dari batas atas cetakan maksimum 0,5 cm
 - C. Gunakan pisau atau skraper untuk meratakan permukaan tanah dengan hati-hati
5. Pada cetakan harus benar-benar rata, apabila pada permukaan tanah terdapat lubang maka permukaan itu harus ditambah dengan sampel tanah lagi supaya permukaan tanah benar datar
6. Kemudian timbang contoh tanah dengan cetakan dan alasnya (w2)
7. Dan contoh dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat ekstruder, ambil sedikit bagian untuk tujuan pemeriksaan kadar air (w)
8. Ulangi pekerjaan pemadatan tanah dengan kadar air yang berbeda.
9. Jika kadar air yang terjadi tidak sesuai dengan keinginan, maka ambil beberapa contoh sampel tanah yang lain dan padatkan seperti cara tersebut, dengan tujuan supaya kadar air yang diinginkan terpenuhi.
10. Setelah pengujian pemadatan selesai dilakukan, kemudian lanjutkan dengan penimbangan.

Pada hasil pengujian pemadatan tanah + pasir 5% diperoleh berat isi basah sebesar pada sampel 1 sebesar 1,582 dan 1,783, 1,889, 1,884, 1,843. Kemudian didapat berat isi kering sebesar sampel 1 sebesar 1,459, 1,572, 1,608, 1,550, 1,428.

Tabel 4.9 Pengujian Pemadatan Tanah + Pasir 20%

No	Mold		1	2	3	4	5	
1	Berat Sampel							
2	Penambahan air	gr	2500	2500	2500	2500	2500	
	Berat isi basah	cc	0	100	200	300	500	
3	Berat mold + tanah							
4	Berat mold	gr	5005	5195	5295	5290	5251	
5	Volume mold	gr	3511	3511	3511	3511	3511	
6	Berat isi basah γ	cm ³	944,32	944,32	944,32	944,32	944,32	
	Kadar air	$(3 - 4) / 5$	gr/cm ³	1,582	1,783	1,889	1,884	1,843
7	Berat cawan							
8	Berat cawan + tanah basah	gr	9,30	9,40	9,40	9,50	9,50	
9	Berat cawan + tanah kering	gr	50,40	42,30	57,10	48,40	42,40	
10	Kadar air w	$(8-9) / (9-7)$	gr	47,20	38,40	50,00	41,50	35,00
11	Berat isi kering $\gamma_d = \gamma / (1+w)$	$6 / (1+w)$	%	8,44	13,45	17,49	21,56	29,02
			gr/cm ³	1,459	1,572	1,608	1,550	1,428
12	Berat Jenis	Gs				2,610		
13	Z A V dengan Gs Tanah	$Gs / (1+wGs)$		2,139	1,932	1,792	1,670	1,485
12	Berat Jenis	Gs				2,660		
13	Z A V dengan Gs Pasir	$Gs / (1+wGs)$		2,172	1,959	1,815	1,690	1,501



Gambar 4.5 Grafik Hasil Analisis Pemadatan Tanah + 20% Pasir

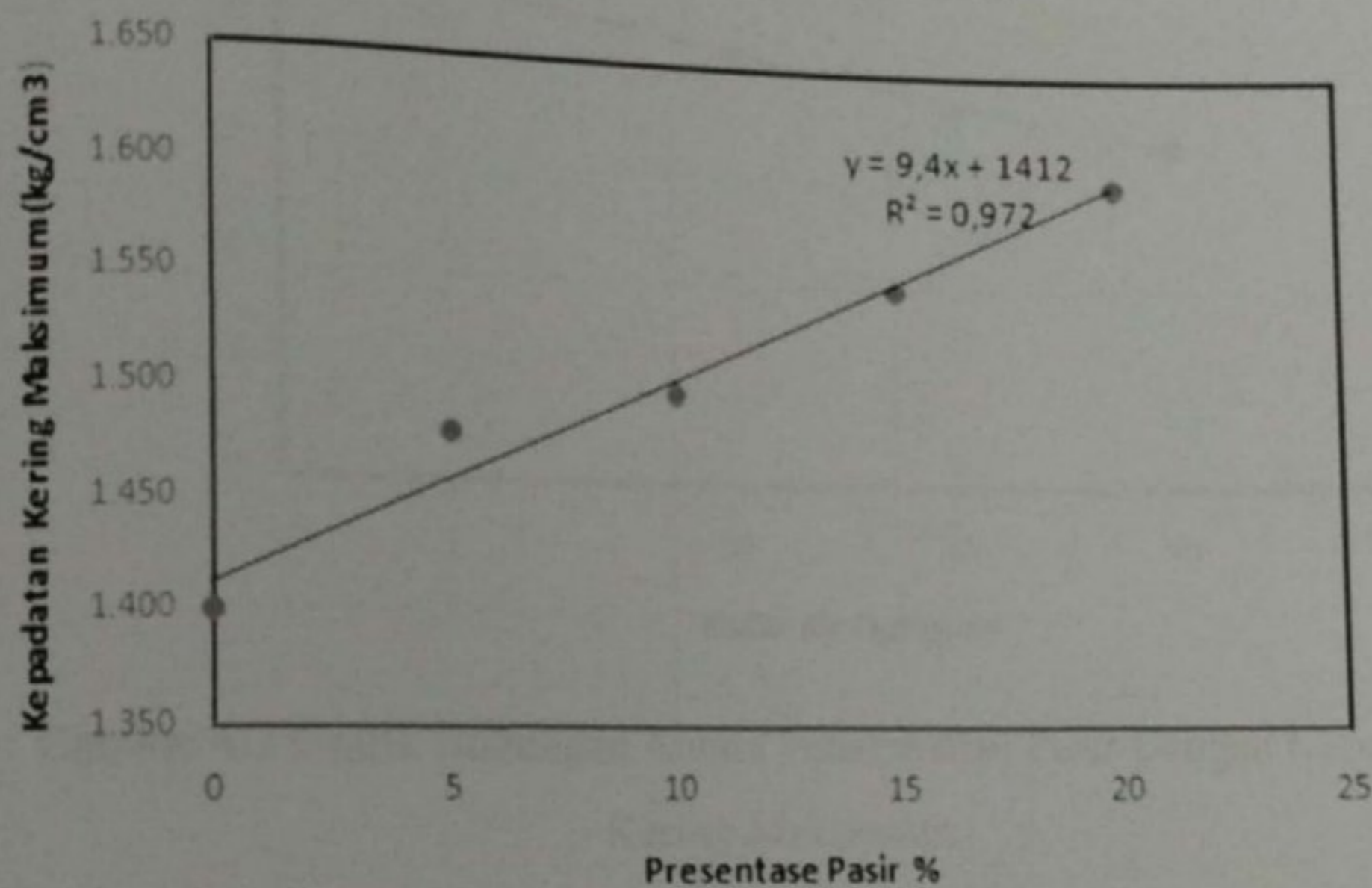
Hasil dari pengujian laboratorium tanah ditambahi 20% pasir, kadar air optimum ditunjukkan pada titik puncak kurva. Menurut hasil analisis diperoleh bahwa nilai kadar air optimum sebesar 16,00% dan kepadatan kering sebesar 1,600gr/cm³.

4.4 Hubungan Antara Penambahan Pasir Dengan Kepadatan Kering Maksimum

Adapun hubungan antara penambahan pasir dengan kepadatan kering maksimum

Tabel 4.10 Hubungan antara presentase penambahan pasir dengan kepadatan kering maksimum

Presentase Pasir %	Berat Kering Maksimum
0	1 412
5	1 490
10	1 500
15	1 550
20	1 600



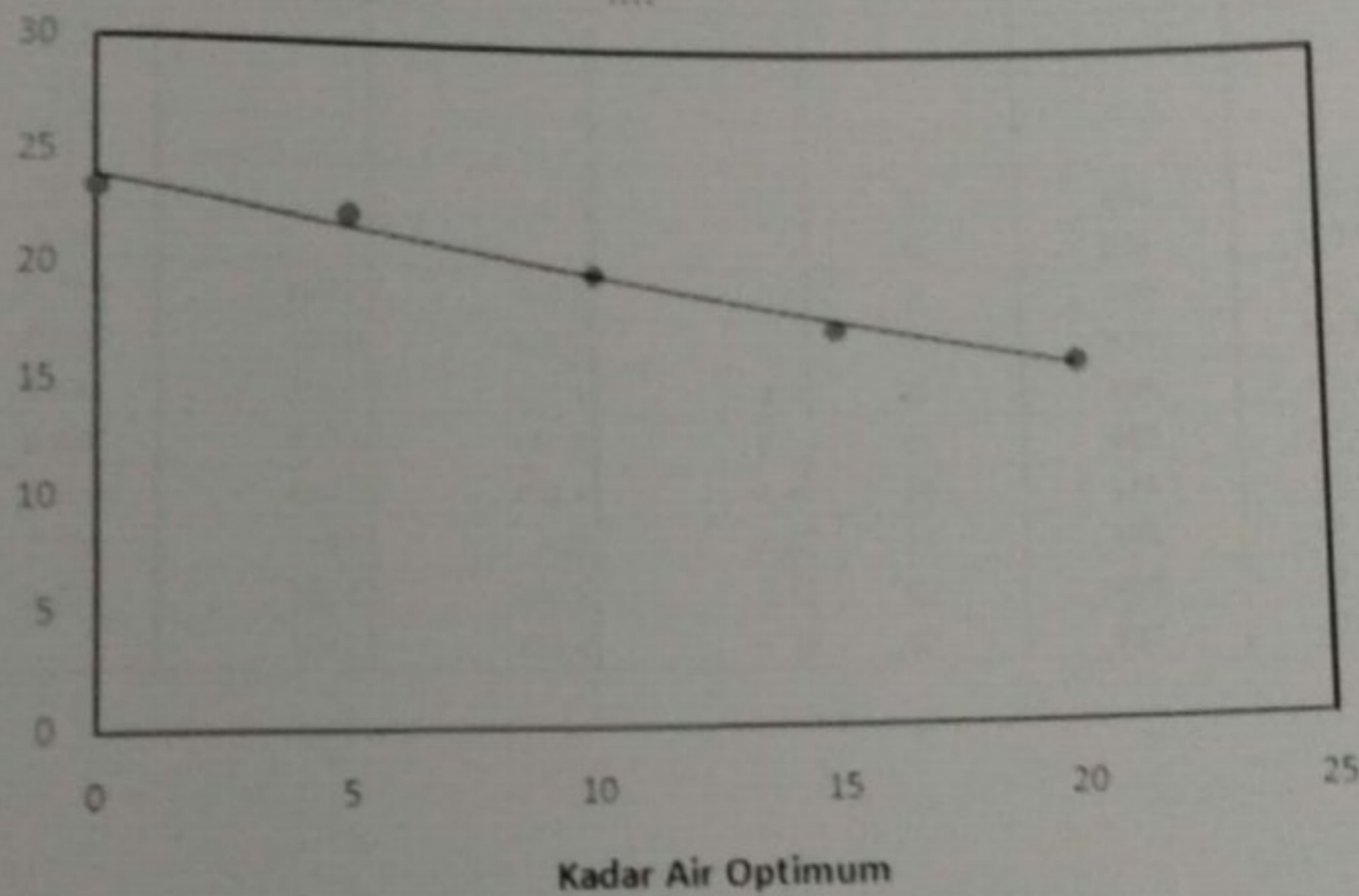
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Penambahan Pasir Dengan Kepadatan Kering Maksimum

Penambahan pasir dalam tanah meningkatkan kepadatan kering secara linier. Diamati bahwa tanpa penambahan pasir berat isi kering tanah asli sebesar $1,412 \text{ kg/cm}^3$, kemudian dilakukan penambahan pasir 5%, 10%, 15%, 20% memiliki pengaruh terhadap berat isi kering tanah. Dengan penambahan pasir sebesar 5% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 7,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli, untuk penambahan pasir sebesar 10% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 8,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli, untuk penambahan pasir sebesar 15% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 13,8% dari kepadatan kering maksimum

tanah asli, untuk penambahan pasir sebesar 20% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 18,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli. Jadi semakin banyak penambahan pasir pada tanah mengidentifikasi bahwa kepadatan kering maksimum terus meningkat.

4.5 Hubungan Antara Presentase Pasir Dengan Kadar Air Optimum

Adapun hubungan antara penambahan pasir dengan kepadatan kering maksimum



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Penambahan Pasir Dengan Kepadatan Kering Maksimum

Tabel 4.11 Hubungan antara presentase penambahan pasir dengan kepadatan kering maksimum

Presentase Pasir	Kadar Air Optimum
0	23,5
5	22,5
10	20
15	17,5
20	16

Penambahan pasir dalam tanah menurunkan kadar air optimum secara linier. Diamati bahwa tanpa penambahan pasir kadar air optimum tanah sebesar 23,5 kemudian dilakukan penambahan pasir 5%, 10%, 15%, 20% memiliki pengaruh terhadap kadar air optimum. Dengan penambahan pasir sebesar 5% terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 22,5 untuk penambahan pasir sebesar 10% terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 20, untuk penambahan pasir sebesar 15%, terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 17,5 untuk penambahan pasir

sebesar 20 terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 16 Jadi semakin banyak penambahan pasir pada tanah mengidentifikasi bahwa kadar air optimum terus berkurang

4.6 Klasifikasi Tanah

Adapun klasifikasi tanah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Klasifikasi Tanah

Nomor Saringan	Ukuran lubang (mm)	Berat ayakan (gr)	ayakan + tanah (gr)	Berat tanah tertahan (gr)	Berat tanah tertahan kumulatif (gr)	Berat tanah lolos kumulatif %	Lolos %
2"	50,8						
1 1/2"	37,5						
1"	25						
3/4"	19,1						
1/2"	12,5				0	500	100,00
3/8"	9,38				0	500	100,00
4	4,750	440,2	440,2	0	0	500	100,00
10	2,000	426,6	426,7	0,1	0	500	99,98
20	0,841	418,7	423,1	4,4	5	496	99,10
40	0,420	408,4	414,6	6,2	11	489	97,86
60	0,250	406,7	422,1	15,4	26	474	94,78
140	0,150	398,1	429	30,9	57	443	88,60
200	0,074	391,6	396,9	5,3	62	438	87,54
pan		474,1	474,4	0,3	63	437	87,48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut didapat data analisis dan perhitungan dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini untuk kepadatan kering maksimum dengan penambahan pasir 5% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 7,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli, untuk kepadatan kering maksimum dengan penambahan pasir 10% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 8,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli, untuk kepadatan kering maksimum dengan penambahan pasir 15% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 13,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli, untuk kepadatan kering maksimum dengan penambahan pasir 20% terjadi kenaikan kepadatan kering maksimum sebesar 10,8% dari kepadatan kering maksimum tanah asli. Jadi penambahan 20% pasir menghasilkan kepadatan kering yang maksimum karena mampu meningkatkan kepadatan kering maksimum pada tanah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan penyusun ingin menyampaikan saran yang mungkin bermanfaat bagi para pembacanya:

1. Sebelum melakukan perencanaan pada proyek konstruksi baik itu bangunan gedung maupun jalan raya, harus dilakukan penelitian terhadap tanah dimana proyek tersebut dilaksanakan lanadasanya agar tanah tersebut dapat berfungsi dengan sebagaimana mestinya dan dapat menopang beban diatasnya dengan baik.
2. Peneltian yang lebih luas dan komprehesif masih diperlukan, khususnya untuk meningkatkan kualitas stabilitas tanah lempung terhadap efek jangka panjang.