

6278
SUP
p en



**PENGARUH PENAMBAHAN ABU LAYANG PADA INTI
BENDUNGAN TERHADAP BESARNYA DEBIT
REMBESAN**

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh
Suprpto
NIM. L4A000035

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2003**

UPT-PUSTAK-UNDIP

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU LAYANG PADA INTI
BENDUNGAN TERHADAP BESARNYA DEBIT
REMBESAN**

Disusun oleh
S u p r a p t o
NIM. L4A000035

Dipertahankan di Depan Tim Penguji tanggal :
29 Maret 2003

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Pembimbing I

Ir. Sri Sangkawati, MS

Pembimbing II

Dr. Ir. Imam Wahyudi, DEA

Tim Penguji :

Ketua : Ir. Sri Sangkawati, MS

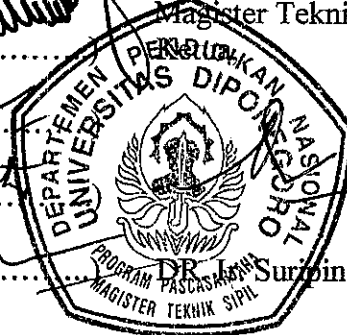
Sekretaris : DR. Ir. Imam Wahyudi, DEA

Anggota 1 : DR. Ir. Suripin, M.Eng

Anggota 2 : Ir. Pranoto SA, MT

Anggota 3 : Ir. Sugiyanto, M.Eng

Semarang, Maret 2003
Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil



LPT-PUSTAKA-UNIMP
No. Daft. 2028 / T / MS / e
Tgl. 28 15 / 03

ABSTRAK

Tanah lempung banyak dipilih untuk digunakan sebagai bahan lapisan inti kedap air pada bendungan sebab mempunyai sifat rapat air. Akan tetapi tanah lempung mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya pengembangan besar dan kuat geser kecil. Mengingat kondisi tersebut perlu kiranya diperbaiki sifat mekaniknya jika akan dipakai sebagai lapisan inti kedap air pada bendungan. Salah satu cara dengan menambahkan abu layang, sebab abu layang mengandung silika yang dapat meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya, yaitu memperkecil pengembangan, meningkatkan kuat geser serta koefisien permeabilitas memenuhi syarat untuk lapisan inti kedap air.

Untuk mendapatkan proporsi campuran abu layang dan lempung yang tepat perlu dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini tanah yang digunakan diambil dari rencana inti bendungan Jatibarang, sedang abu layang diambil dari PT. Mega Safe Tyre Industri Semarang, dengan variasi campuran abu layang sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Setiap variasi campuran dilakukan pengujian pemadatan, pengembangan, permeabilitas, kuat geser, susut dan rembesan.

Dari hasil pengujian di laboratorium didapat bahwa semakin besar variasi campuran abu layang maka pengembangannya akan menurun, koefisien permeabilitas akan naik, sudut geser dalam naik, susut turun dan rembesan naik.

Berdasarkan persyaratan umum untuk lapisan kedap air pada bendungan, besarnya koefisien permeabilitas (k) yang diizinkan adalah $\leq 1.10^{-4}$ cm/dt. Dengan mengacu persyaratan tersebut, serta kriteria lainnya maka dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran 15% abu layang merupakan campuran yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kepadatan 90% mempunyai koefisien permeabilitas (k) = $4,60.10^{-5}$ cm/dt, pengembangan = 7,61 %, kohesi = $0,265$ kg/cm², sudut geser dalam = 16° , susut linier = 16,02 %, susut volumerik = 21,06 %. Sedangkan untuk tanah tanpa campuran (variasi campuran abu layang 0%) pada kepadatan 90% mempunyai koefisien permeabilitas (k) = $5,08.10^{-6}$ cm/dt, pengembangan = 16,73%, kohesi = 0.360 kg/cm², sudut geser dalam = 9° , susut linier = 20,03% dan susut volumerik = 24,65 %.

ABSTRACT

Clay is used as a material of waterproof core lining in most earth dams since it's water impermeability. However, clay has some weakness, particularly high expansion and weak displacement force.

Upon thinking this condition, it's necessary to improve its mechanical feature if used as waterproof core lining on dam. One of the ways is by adding some fly ash mixture, because it consists of silicate, which has ability to improve the physical and mechanical feature of the clay, it reduce the expansion, increasing the shear force and the coefisien of permeability that fulfill requirement for impervious layer.

For gaining the appropriate mixture of fly ash and clay, it's necessary a study. In this study, the land (clay) used is taken from the core plan of Jatibarang dam, whereas the fly ash was taken from PT. Mega Safe Tyre Industri Semarang, with mixture variation of fly ash are 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. Each of this mixture variation gets a density, expanding, permeability, displacement force, contraction and seepage tests.

Based on the test in Laboratory, it's found that larger mixture variation of fly ash, it's expansion will decrease, permeability coefficient increases, the inner displacement angle increases, contraction decreases and the seepage increases.

According to general requisite for waterproof core lining on dam, the permitted permeability coefficient is $k \leq 1.10^{-4}$ cm/sec. Referring to this requisite and other the experiment concluded that the optimal mixture is 15% of fly ash. It given is permeability coefficient of $4.60.10^{-5}$ cm/sec for 90% density, the expanding = 7.61%, cohesion = 0,265 kg/cm² with inner displacement angle = 16° ; linier contraction = 16.02% and volumerical contraction = 21.06%. Whereas for soil without mixture (mixture variation of fly ash = 0%), permeability coefficient of $5.08.10^{-6}$ cm/sec for 90% density, the expanding = 16.73%, cohesion = 0,360 kg/cm² the inner displacement angle = 9° , linier contraction = 20.03% and volumerical contraction = 24.65%.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. berkat Rahmat, Taufik dan Hidayah-Nya tesis ini dapat tersusun dan diajukan kepada team penguji untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak DR.Ir.Suripin, M.Eng. sebagai Ketua Program Magister Teknik Sipil yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk belajar di Magister Teknik Sipil UNDIP yang sekaligus sebagai pembahas dan penguji tesis ini, kepada Ibu Ir. Sri Sangkawati, MS. dan Bapak DR. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA. selaku pembimbing yang telah banyak memberi bimbingan dalam penulisan tesis ini, kepada Bapak Ir. Pranoto SA, MT dan Bapak Ir. Sugiyanto, M.Eng. yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membahas dan menguji tesis ini, kepada Bapak Ir. Ismin Taukhid R, MT. selaku Direktur Politeknik Negeri Semarang yang telah memberi izin dan menugaskan penulis untuk melanjutkan pendidikan Pascasarjana di Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang, kepada Bapak Ir. Supriyadi, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang, yang telah memberi rekomendasi dan dukungan penulis untuk belajar di Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang, kepada Bapak Ir. Tedjo Mulyono, MT. selaku Kepala Laboratorium Hidrolika dan Bapak Herry Ludiro W, ST. selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Semarang beserta staf Laboratorium, yang telah memberi kesempatan dan layanan penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium, kepada Dosen dan staf Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro yang telah memberi ilmu dan layanan selama penulis menuntut ilmu di MTS Universitas Diponegoro Semarang, kepada rekan-

rekan mahasiswa Magister Teknik Sipil-UNDIP angkatan 2000 yang telah memberikan dukungan moril dan kerjasamanya selama belajar di Magister Teknik Sipil, kepada pengelola Proyek Jratunseluna dan PT. Mega Safe Tyre Industri yang telah memberi informasi dan mengizinkan penulis untuk mengambil sampel guna keperluan penelitian, juga kepada istri dan anak tercinta yang telah memberikan dorongan semangat dan do'a yang tak henti-hentinya.

Akhir kata penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan khususnya di bidang Sumber Daya Air, dan Teknik Sipil umumnya.

Semarang, Maret 2003.

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pengesahan	
Abstraks	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Notasi	xii
Daftar Lampiran	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat yang diharapkan	2
1.4. Hipotesa	3
1.5. Batasan masalah	3
1.6. Sistematika penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Bendungan urugan	5
2.2. Bahan bendungan urugan	7
2.3. Sifat umum tanah	8
2.4. Karakteristik tanah	9
2.5. Abu layang	20

2.6. Karakteristik abu layang	22
2.7. Rembesan melalui tubuh bendungan urugan homogen.	22
2.8. Rembesan melalui tubuh bendungan urugan dengan inti kedap air	27
2.9. Penambahan abu layang pada tanah.....	29
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bahan	30
3.2. Alat	30
3.3. Metode penelitian	31
3.4. Prosedur penelitian	31
3.5. Hasil pengujian dilaboratorium	35
3.6. Analisa data	37
 BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	
4.1. Tahap Persiapan	39
4.2. Pengujian karakteristik mekanik	59
4.3. Kalibrasi	72
4.4. Pengujian rembesan.....	76
 BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	
5.2. Analisa Hasil Pengujian	82
5.3. Pembahasan Hasil Pengujian	104
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan.....	114
6.2. Saran.....	115

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran A : Pengujian Karakteristik Fisik

Lampiran B : Pengujian Spesifik Gravity

Lampiran C : Pengujian Pemadatan

Lampiran D : Pengujian Pengembangan

Lampiran E : Pengujian Permeabilitas dengan Falling Head

Lampiran F : Pengujian Kuat Geser

Lampiran G : Pengujian Susut

Lampiran H : Pengujian Permeabilitas dengan Tank Permeability

Lampiran I : Gambar Foto Pelaksanaan Penelitian.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien Permeabilitas	16
Tabel 2.2. Sifat fisik abu layang	21
Tabel 2.3. Sifat kimia abu layang	21
Tabel 2.4. Hasil analisa abu layang	22
Tabel 4.1. Ketinggian air pada tabung piezometer hasil pengukuran	72
Tabel 4.2. Ketinggian air pada tabung piezometer hasil perhitungan	73
Tabel 4.3. Angka kalibrasi tabung piezometer	74
Tabel 4.4 Hasil pengukuran debit rembesan	75
Tabel 4.5. Berat tanah per lapis yang akan dipadatkan	78
Tabel 5.1. Hasil pengujian karakteristik fisik tanah.	82
Tabel 5.2. Hasil pengujian pemadatan	83
Tabel 5.3. Hasil pengujian pengembangan	84
Tabel 5.4. Hasil pengujian permeabilitas	86
Tabel 5.5. Hasil pengujian kuat geser	88
Tabel 5.6. Hasil pengujian susut.....	89
Tabel 5.7. Debit rembesan dan koefisien permeabilitas pada kepadatan 80%.....	91
Tabel 5.8. Ketinggian muka air pada tabung piezometer.....	92
Tabel 5.9. Debit rembesan dengan perhitungan rumus pada kepadatan 100%	94
Tabel 5.10. Debit rembesan dengan perhitungan rumus pada kepadatan 90%	95

Tabel 5.11. Debit rembesan dengan perhitungan rumus pada kepadatan 80%	96
Tabel 5.12. Debit rembesan dengan perhitungan rumus pada kepadatan 70%	97
Tabel 5.13. Debit rembesan dengan perhitungan rumus untuk campuran 0%.....	98
Tabel 5.14. Debit rembesan dengan perhitungan rumus untuk campuran 5%.....	99
Tabel 5.15. Debit rembesan dengan perhitungan rumus untuk campuran 10%.....	100
Tabel 5.16. Debit rembesan dengan perhitungan rumus untuk campuran 15%.....	101
Tabel 5.17. Debit rembesan dengan perhitungan rumus untuk campuran 20%.....	102
Tabel 5.17. Debit rembesan dengan perhitungan rumus untuk campuran 25%.....	103
Tabel 5.19. Karakteristik fisik campuran	105
Tabel 5.20. Karakteristik mekanik.....	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Klasifikasi Umum Bendungan Urugan	7
Gambar 2.2. Klasifikasi Butiran Tanah	8
Gambar 2.3. Diagram komponen tanah untuk berbagai kondisi kandungan air	9
Gambar 2.4. Batas-batas konsistensi	12
Gambar 2.5. Hubungan kadar air dan berat isi kering	13
Gambar 2.6. Pengujian permeabilitas dengan Falling head.....	17
Gambar 2.7. Perhitungan Rembesan Cara Dupuit	23
Gambar 2.8. Perhitungan Rembesan Cara Schaffernak.....	24
Gambar 2.9. Perhitungan Rembesan Cara Casagrade	26
Gambar 2.10. Rembesan melalui bendungan urugan batu dengan inti dari lempung	28
Gambar 3.1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian.....	41
Gambar 3.2. Bagan alir Analisis	42
Gambar 4.1. Lapisan pemadatan	77
Gambar 4.2. Penampang melintang pemadatan	80
Gambar 5.1. Grafik hubungan antara γ_d max. dengan variasi campuran abu layang.	83
Gambar 5.2. Grafik hubungan antara W_{opt} . dengan variasi campuran abu layang	84
Gambar 5.3. Grafik hubungan antara absorsi dengan variasi campuran abu layang	85
Gambar 5.4. Grafik hubungan antara pengembangan dengan variasi campuran Abu layang	85
Gambar 5.5. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 100%	86

Gambar 5.6. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 90%	86
Gambar 5.7. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 80%	86
Gambar 5.8. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%	87
Gambar 5.9. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi Campuran abu layang pada kepadatan 70%, 80%, 90%, dan 100%....	87
Gambar 5.10. Grafik hubungan antara kohesi dengan variasi campuran abu layang.	88
Gambar 5.11. Grafik hubungan antara ϕ dengan variasi campuran abu layang	89
Gambar 5.12. Grafik hubungan antara susut linier dengan variasi campuran abu layang	90
Gambar 5.13. Grafik hubungan antara susut volumerik dengan variasi campuran abu layang	90
Gambar 5.14. Grafik hubungan antara susut linier, susut volumerik dengan variasi campuran abu layang.....	90
Gambar 5.15. Grafik hubungan antara debit rembesan dengan variasi campuran abu layang	91
Gambar 5.16. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang	92
Gambar 5.17. Pola garis freatik dari beberapa variasi campuran abu layang	93
Gambar 5.18. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 100%.....	94

Gambar 5.19. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 90%.....	95
Gambar 5.20. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 80%.....	96
Gambar 5.21. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%.....	97
Gambar 5.22. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%, 80%, 90% dan 100%...	97
Gambar 5.23. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 0% abu layang.....	98
Gambar 5.24. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 5% abu layang.....	99
Gambar 5.25. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 10% abu layang.....	100
Gambar 5.26. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 15% abu layang.....	101
Gambar 5.27. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 20% abu layang.....	102
Gambar 5.28. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 25% abu layang.....	103
Gambar 5.29. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan. pada campuran 0%,5%,10%,15%,20%,dan25% abu layang.....	103

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang (m^2)
a	= Luas penampang buret (m^2)
c	= Kohesi (kg/cm^2)
d	= Jarak mendatar
e	= Angka pori
Gs	= Spesifik gravity
g	= Kecepatan gravitasi (m/dt^2)
H	Ketinggian air
H ₁	Ketinggian air di hulu bendungan
H ₂	Ketinggian air di hilir bendungan
h ₀	= Tinggi energi saat t ₀
h ₁	= Tinggi energi saat t ₁
IP	= Index plastisitas
i	= Gradien hidraulik
k	= Koefisien permeabilitas
KT	= Koefisien permeabilitas pada suhu T° C
K ₂₀	= Koefisien permeabilitas pada suhu 20° C
L	= Jarak
LL	= Batas cair
m	= Kemiringan
PL	= Batas plastis

Q	= Debit aliran
q	= Debit aliran persatuan lebar
R	= Pembacaan hidrometer
R_a	= Pembacaan aktual
R_c	= Pembacaan terkoreksi
SL	= Batas susut
S_r	= Derajat kejenuhan
T	= Temperatur
t	= Waktu
V	= Volume
V_s	= Volume butiran tanah
v	= Kecepatan aliran
W_s	= Berat butiran tanah
W_T	= Berat tanah
W_w	= Berat air
α	= Sudut kemiringan talud
γ_d	= Berat isi kering
$\gamma_{d \max.}$	= Berat isi kering maximum
γ_n	= Berat isi tanah
γ_s	= Berat isi butiran tanah
γ_w	= Berat isi air
σ	= Tegangan normal

τ = Tegangan geser

θ = Sudut geser dalam

η_t = Koefisien kekentalan air pada suhu $T^\circ \text{C}$

η_{20} = Koefisien kekentalan air pada suhu 20°C

W = Kadar air

$W_{\text{opt.}}$ = Kadar air optimum

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Pengujian Karakteristik Fisik

Lampiran B : Pengujian Spesifik Gravity

Lampiran C : Pengujian Pemadatan

Lampiran D : Pengujian Pengembangan

Lampiran E : Pengujian Permeabilitas dengan Falling Head

Lampiran F : Pengujian Kuat Geser

Lampiran G : Pengujian Susut

Lampiran H : Pengujian Permeabilitas dengan Tank Permeability

Lampiran I : Gambar Foto Pelaksanaan Penelitian.

BAB I

P E N D A H U L U A N

1.1. Latar Belakang.

Inti bendungan adalah merupakan lapisan yang berfungsi untuk memperkecil rembesan air yang melalui tubuh bendungan pada bendungan tipe urugan, yang pada umumnya menggunakan tanah lempung.

Tanah lempung yang terdiri dari butiran-butiran halus selain mempunyai kelebihan rapat air mempunyai beberapa kelemahan yang menyebabkan keterbatasan didalam penggunaannya, diantaranya mempunyai kembang susut yang besar, kuat geser yang kecil dan jika terendam air pori-porinya akan bertambah besar yang berakibat naiknya nilai permeabilitas. Jika lempung dalam kondisi kering volumenya akan menyusut sehingga apabila dipakai untuk lapisan kedap air pada bendungan akan timbul kebocoran melalui tubuh bendungan. Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu kiranya untuk dilakukan penelitian pada tanah lempung yang dipakai sebagai lapisan inti kedap air pada bendungan dengan menambah material lain agar lapisan inti bendungan mempunyai pengembangan dan penyusutan yang kecil sehingga tidak timbul retak-retak serta koefisien permeabilitasnya masih memenuhi persyaratan.

Salah satu diantaranya adalah dengan menambahkan abu layang (abu batu bara) untuk mengurangi pengembangan dan penyusutan sebab abu layang mengandung silika yang dominan (Sutarno 1999) sehingga cukup baik untuk perbaikan katarteristik fisik dan mekanik tanah lempung.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

- a. Mengetahui besarnya debit rembesan melalui tanah lempung yang dicampur dengan abu layang.
- b. Mengetahui perbandingan yang tepat antara tanah lempung yang akan dipakai sebagai bahan inti kedap air pada bendungan sehingga besarnya debit rembesannya memenuhi persyaratan untuk lapisan kedap air .
- c. Mengetahui besarnya geser dalam dan pengembangan pada tanah lempung yang dicampur dengan abu layang yang akan dipakai sebagai bahan inti kedap air pada bendungan.

1.3. Manfaat yang diharapkan

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- a. Memberi tambahan informasi pada masyarakat akademis dalam bidang bendungan tentang perbaikan tanah lempung sebagai bahan inti kedap air pada bendungan dengan campuran abu layang.
- b. Mengoptimalkan penggunaan tanah lempung sebagai bahan inti kedap air pada bendungan.
- c. Memberi masukan pada industri bahwa limbah pembakaran batu bara (*fly ash*) yang selama ini hanya dibuang begitu saja ternyata bisa dimanfaatkan sehingga bisa mengurangi pencemaran yang terjadi akibat pembuangan limbah.

1.4. Hipotesa

Tanah lempung merupakan tanah lunak yang mempunyai sifat kembang susut tinggi apabila terjadi perubahan kadar airnya. Usaha mengurangi kembang susut pada lempung dilakukan penelitian dengan menambahkan abu layang (abu batu bara). Dengan penambahan abu layang pada tanah lempung dapat memperkecil kembang susut, memperkecil pengembangan, meningkatkan sudut geser dalam dan jika dipakai untuk inti bendungan koefisien permeabilitasnya masih memenuhi syarat yang diijinkan untuk lapisan inti kedap air.

1.5. Batasan masalah

- a. Abu layang yang dipakai dalam penelitian diambil dari limbah pembakaran PT. Mega Safe Tyre Industri (MSTI) Semarang, dengan tidak melihat unsur yang terkandung didalamnya.
- b. Model inti bendungan dalam penelitian ini diambil bentuk simetris dengan dimensi menyesuaikan ukuran tank permeabilitas yang ada dengan kemiringan lereng 1:1.
- c. Kriteria aliran air melalui inti bendungan diasumsikan laminar ($Re < 10$) sehingga berlaku hukum Darcy, dimana Re adalah bilangan Reynold.

1.6. Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, hipotesa, batasan masalah serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan pustaka

Berisi tentang teori yang mendasari dan mendukung penelitian meliputi bendungan urugan dan tipe tipenya, bahan bendungan urugan, sifat umum tanah, karakteristik fisik

dan mekanik tanah, karakteristik abu layang, rembesan melalui tubuh bendungan urugan homogen dan rembesan melalui tubuh bendungan urugan dengan inti kedap air.

Bab III Metodologi Penelitian

Membahas tentang bahan dan alat yang digunakan, metode penelitian, prosedur penelitian, analisa data, bagan alir pelaksanaan penelitian serta bagan alir analisa.

Bab IV Pelaksanaan Penelitian

Berisi tentang tahap persiapan meliputi pengambilan sample, pengeringan dan penyaringan sample, pengujian index properties, pengujian analisa butiran dan pengujian batas konsistensi serta tahap penelitian meliputi pengujian karakteristik mekanik material kalibrasi dan pengujian rembesan pada tank permeabilitas.

Bab V Analisa hasil dan pembahasan

Berisi tentang analisa hasil pengujian yang meliputi pengujian karakteristik fisik, karakteristik mekanik dan pengujian rembesan dari beberapa variasi campuran abu layang serta pembahasan dari hasil analisa pengujian tersebut.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran untuk kesempurnaan dan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bendungan urugan

Suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti batu, krakal, krikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat didalam waduk disebut bendungan type urugan atau bendungan urugan (Sosrodarsono 1989). Sehubungan dengan fungsinya sebagai pengangkat permukaan air didalam suatu waduk maka secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air kearah hilir.

Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan, maka bendungan urugan dapat digolongkan dalam 3 type utama yaitu :

- Bendungan urugan homogen
- Bendungan urugan zonal
- Bendungan urugan bersekat

2.1.1. Bendungan urugan homogen

Bendungan urugan homogen yaitu apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan susunan ukuran butirnya hampir seragam.

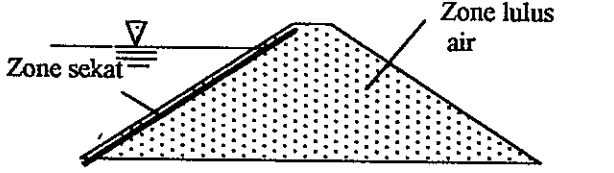
2.1.2. Bendungan urugan zonal

Bendungan urugan zonal yaitu apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan susunan ukuran butiran yang berbeda-beda dalam urutan pelapisan tertentu.

2.1.3. Bendungan urugan bersekat

Bendungan urugan bersekat yaitu apabila dilereng udik tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lolos air seperti lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang .

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80 % dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri-dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan Inti Vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.

<p>Bendungan Sekat</p>		<p>Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.</p>
------------------------	--	--

Gambar 2.1. Klasifikasi Umum Bendungan Urugan

2.2. Bahan bendungan urugan

Bahan bendungan urugan secara garis besarnya dibedakan menjadi 2 (dua) golongan yaitu :

- a. bahan yang fungsi utamanya sebagai penyangga tubuh bendungan yaitu berupa bahan yang lulus air, seperti pasir, kerikil dan batu.
- b. Bahan yang fungsi utamanya sebagai pencegah rembesan air yang berlebihan dari waduk yaitu berupa bahan yang kedap air yang umumnya adalah bahan tanah (lempung).

Pada umumnya bahan-bahan yang lulus air tidak terlalu sensitif terhadap tingkat kadar air yang dikandungnya, sehingga karakteristik mekaniknya tidak banyak berubah. Sedangkan bahan yang kedap air sangat sensitif terhadap perubahan tingkat kadar air yang terkandung didalamnya. Sehingga karakteristik mekaniknya seperti kuat geser, sudut geser dalam, pengembangan, permeabilitas akan berubah.

Bahan untuk tubuh bendung biasanya diambil diambil sedekat mungkin dari tempat kedudukan calon bendungan.

Hampir semua bahan batuan dapat digunakan sebagai bahan tubuh bendungan kecuali tanah yang mengandung zat-zat organik atau zat yang mudah larut dalam air.

2.3. Sifat umum tanah

Tanah merupakan material yang tidak homogen yang terdiri dari partikel padat dan pori-pori (rongga). Partikel padat yang dimaksud merupakan butiran-butiran sedangkan pori-pori tanah dapat berupa udara, air maupun campuran antara udara dan air.

Istilah kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada tanah pada batas yang telah ditentukan kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau dan mungkin juga pasir.

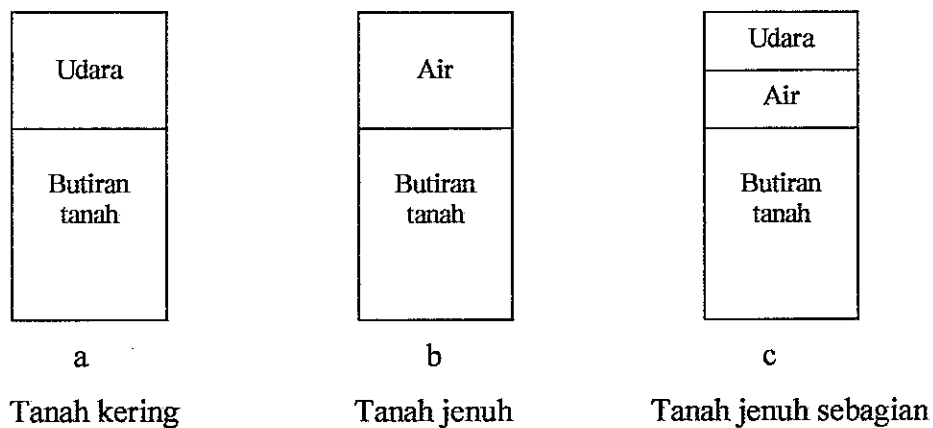
Ukuran partikel tanah dapat bervariasi, pada Gambar 2.2 menunjukkan batas interval ukuran butiran tanah lempung, lanau, pasir dan kerikil.

	2,0 mm	0,420	0,075		0,005	0,001			
ASTM	Pasir sedang	pasir halus		lanau		lempung		lempung koloidal	
	2,0 mm	0,6	0,2	0,06		0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm
MIT Momen- clature	Kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus
	Pasir			lanau			lempung		

Gambar 2.2. Klasifikasi Butiran Tanah

2.4. Karakteristik Tanah

Tanah merupakan material yang tidak homogen terdiri dari komponen massa padat (butiran) dan komponen pori-pori. Tanah yang benar-benar kering pori-porinya berisi udara, tanah yang jenuh sempurna pori-porinya berisi air, sedangkan tanah yang jenuh sebagian pori-porinya berisi udara dan air. Sebagai ilustrasi bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram komponen tanah seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3. Diagram komponen tanah untuk berbagai kondisi kandungan air

Berbagai variasi komponen pokok tanah akan muncul sifat perilaku maupun penafsiran tentang tanah tersebut sehingga akhirnya lahir istilah-istilah umum seperti tanah lembek, tanah gembur, tanah padat, tanah basah, tanah kering dan sebagainya. Untuk mendapatkan ukuran atau patokan tentang kondisi tanah diperlukan pengujian dan penentuan harga-harga karakteristik dari tanah yang dapat dipergunakan untuk menafsirkan sifat maupun perilaku dari tanah yang dimaksud.

2.4.1. Karakteristik Fisik tanah

Pengujian karakteristik fisik tanah untuk material timbunan terutama mengenai kadar air dalam tanah berat jenis butiran, gradasi tanah dan batas-batas konsistensi.

(1). Kadar air

Kadar air dalam tanah adalah merupakan perbandingan antara berat air dalam tanah dengan berat tanah kering dalam satuan prosen biasanya dipakai notasi ω (*omega*).

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : ω : kadar air

W_w : berat air

W_s : berat tanah kering

(2). Berat jenis butiran tanah

Berat jenis butiran tanah (*Soil particle specific gravity*) adalah perbandingan antara berat isi butiran tanah dan berat isi air murni (*aquades*) dalam volume yang sama pada temperatur tertentu

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \text{karena} \quad \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad \text{maka} \quad G_s = \frac{W_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : G_s : berat jenis butiran tanah

γ_s : berat isi butiran tanah

W_s : berat butiran tanah

V_s : volume butiran tanah

γ_w : berat isi air (pada suhu 4° C, $\gamma_w = 1$)

Sedangkan berat isi tanah (*density*) dalam kondisi alam adalah merupakan perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah.

$$\gamma_m = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : γ_m : berat isi tanah

W : Berat tanah (berat butiran tanah + pori)

V : volume tanah (volume butiran + pori)

(3). Gradasi butiran tanah

Gradasi butiran tanah adalah tingkat pencampuran berbagai butiran tanah yang dinyatakan dalam prosen berat untuk mengetahui gradasi suatu tanah dengan melakukan analisa saringan untuk butiran kasar dan analisa hidrometer untuk butiran halus yang kemudian digambarkan dalam lengkung distribusi ukuran butiran.

(4). Batas-batas konsistensi

Sesuai dengan kadar air yang terkandung didalam tanah berbutir halus, tanah dapat dibedakan dalam kondisi cair, plastis, semi padat dan padat.

Batas-batas dari kondisi tersebut disebut batas-batas konsistensi (Atteberg 1911).

(Gambar 2.4.)

Cair	plastis	semi plastis	padat
------	---------	--------------	-------

Gambar 2.4. Batas-batas konsistensi

- a). batas antara kondisi cair dan kondisi plastis disebut batas cair (*Liquid Limit*).
- b). batas antara kondisi plastis dan kondisi semi plastis disebut batas plastis (*Plastic Limit*).
- c). batas antara kondisi semi padat dan kondisi padat disebut batas susut (*Shinkage Limit*).

Sedangkan Indek Plastisitas adalah angka yang menunjukkan perbedaan kadar air antara batas cair dan batas plastis.

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : IP : Indek plastisitas

LL : Batas cair

PL : batas plastis

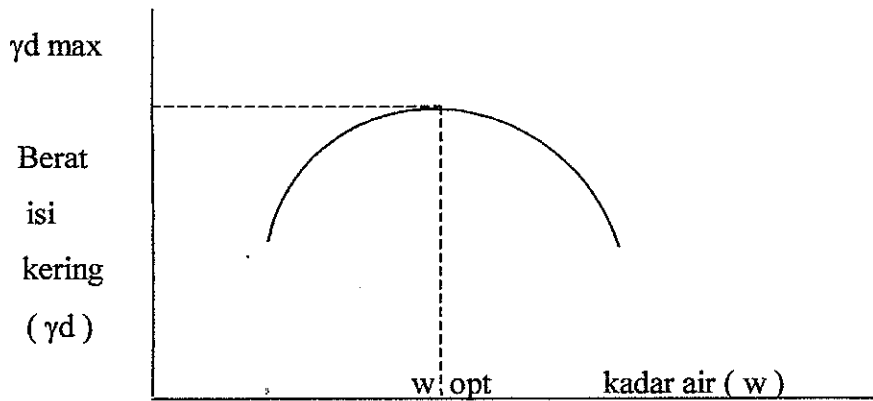
2.4.2. Karakteristik Mekanik Tanah

Pengujian karakteristik mekanik tanah untuk material timbunan pada umumnya terdiri dari pengujian pemadatan, kuat geser, permeabilitas, pengembangan dan konsolidasi.

(1). Pengujian pemadatan

Salah satu faktor terpenting yang akan menunjang kekuatan dan kestabilan tubuh bendungan tanah adalah pemadatan yang memadai. Akan tetapi efektivitas dari pemadatan sangat dipengaruhi oleh tingkat kadar air yang terkandung didalamnya.

Proctor 1933 (dalam Hardiyatmo 1992) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering supaya tanah menjadi padat,selanjutnya terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat isi kering maksimum.



Gambar 2.5. Hubungan kadar air dan berat isi kering

Hubungan antara berat volume kering dengan berat volume basah dan kadar air dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana : γ_d : berat isi kering

γ_m : berat isi basah

w : kadar air

(2). Kuat geser

Kekuatan geser suatu bahan tanah terutama ditentukan oleh kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Mineral lempung yang bersifat menyerap molekul-molekul air menyebabkan timbulnya kekuatan kohesi di antara molekul-molekul lempung tersebut. Tahanan geser diantara molekul-molekul lempung biasanya

rendah dan konstan, maka semua bahan luar yang bekerja pada tanah lempung yang diperhitungkan dilawan oleh kuat geser tanah.

Perlawanan geser tanah terdiri dari dua komponen, yaitu gesek internal dan kohesi, sesuai persamaan Coulomb (Hardiyatmo, 1992).

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan : τ : kuat geser tanah (kg/cm^2)

c : kohesi tanah (kg/cm^2)

σ : tegangan normal pada bidang runtuh (kg/cm^2)

ϕ : sudut geser dalam tanah (derajat)

Ada beberapa cara pengujian untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain:

1. Uji geser langsung (*direct shear test*)
2. Uji triaksial (*triaxial test*)
3. Uji tekan bebas (*Unconfined compression test*)
4. Uji baling-baling (*vane shear test*)

(3). Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan cairan dapat mengalir melalui rongga porinya. Tanah termasuk bahan berpori, pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan lainnya sehingga air dapat mengalir melalui pori-porinya. Permeabilitas pada tanah dilukiskan sebagai sifat tanah yang menggambarkan bagaimana air mengalir melalui porinya. Tanah yang mempunyai sifat mudah meloloskan air disebut tanah permeable, sebaliknya tanah yang sulit untuk dilalui air (kedap air) atau kemampuan untuk

meloloskan air sangat kecil disebut tanah *impermeable*. Menurut hukum Darcy kecepatan aliran dalam tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya.

$$v = k \cdot i \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana : v = kecepatan aliran

k = koefisien permeabilitas

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \text{gradien hidroulik}$$

Δh = selisih tinggi tekan antara dua titik yang ditinjau

L = jarak antara dua titik yang ditinjau

Karena gradien hidroulic tak berdimensi maka koefisien permeabilitas (k) mempunyai satuan sama dengan satuan kecepatan.

Sedangkan besarnya debit rembesan (q) dihitung dengan persamaan :

$$q = v \cdot A$$

$$= k \cdot i \cdot A \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana : q = debit rembesan

v = kecepatan aliran

k = koefisien permeabilitas

i = gradien hidroulic

A = luas penampang tanah

Harga koefisien permeabilitas (k) untuk berbagai jenis tanah seperti Tabel 2.1.

(Das, 1985)

Tabel 2.1. Koefisien Permeabilitas

Jenis tanah	K (cm/detik)
Kerikil bersih	1,00 – 100
Pasir kasar	1,00 – 0,01
Pasir halus	0,01 – 0,001
Lanau	0,001 – 0,00001
Lempung	0,00001 – 0,0000001

Ada dua cara uji permeabilitas di laboratorium yang digunakan untuk menentukan besarnya nilai koefisien permeabilitas tanah, yaitu :

a. Uji Permeabilitas dengan Cara Tinggi Energi Tetap (*Constant head*)

Uji ini sangat cocok untuk jenis tanah granuler pada percobaan ini, pemberian air dalam saluran pipa masuk dan keluar (*inlet*) dijaga sedemikian rupa sehingga perbedaan tinggi air di dalam pipa masuk dan keluar (*outlet*) selalu konstant selama percobaan.

Setelah kecepatan aliran air yang melewati contoh tanah menjadi konstan, air ditampung dalam gelas ukur selama waktu yang ditentukan. Volume total dari air yang dikumpulkan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 v &= q.t \\
 &= k.i.A.t \\
 &= k.\frac{h}{L}.A.t
 \end{aligned}$$

dari persamaan ini diperoleh :

$$k = \frac{V.L}{h.A.t} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana : k = koefisien permeabilitas

V = banyaknya air yang ditampung pada gelas ukur dalam waktu t

L = panjang benda uji

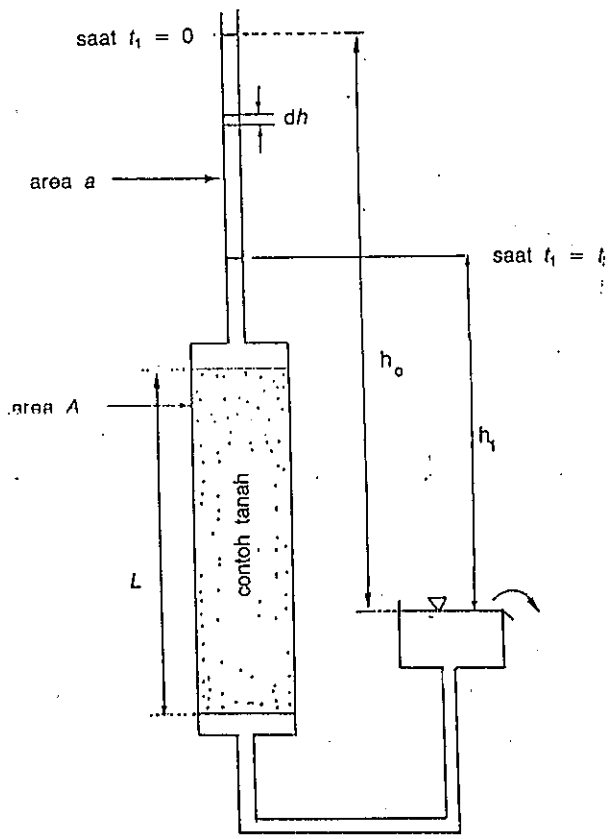
h = tinggi energi

A = luas penampang benda uji

t = waktu pengamatan

b. Uji Permeabilitas dengan Cara Tinggi Energi Turun (*Falling - head*)

Uji permeabilitas cara tinggi energi turun (*falling - head*) lebih cocok untuk jenis tanah berbutir halus (Hardiyatmo, 1992).



Gambar 2.6. Pengujian permeabilitas dengan *falling head*

Besarnya koefisien permeabilitas dihitung dengan persamaan :

$$k = 2,303 \cdot \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \cdot \log \frac{h_0}{h_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana : k = koefisien permeabilitas

a = luas penampang pipa pengukur

L = panjang benda uji

A = luas penampang benda uji

t = lamanya waktu pengamatan

h_0 = tinggi energi saat t_0

h_1 = tinggi energi saat t_1

(4) Pengujian pengembangan

Perubahan kadar air yang terkandung pada tanah lempung akan mempengaruhi kembang susutnya.

Pengembangan terjadi ketika kadar airnya bertambah dari nilai referensinya, sedangkan penyusutan terjadi ketika kadar airnya berada dibawah referensinya sampai pada batas susut (Bowles, 1984)

Untuk pengujian pengembangan dilakukan dengan cara memadatkan tanah terlebih dahulu pada cetakan pemadat standar pada kondisi kadar air optimum hingga kepadatan mencapai maksimum kemudian dilakukan perendaman.

Besarnya pengembangan dihitung dengan persamaan :

$$S = (D/H) \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana: S = prosen pengembangan.

D = tinggi pengembangan.

H = tinggi benda uji semula.

Sedangkan besarnya absorsi dihitung dengan persamaan:

$$P = (W_w/W_s) \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana: P = prosen absorpsi.

W_w = berat air penyerapan

W_s = berat tanah kering.

(5) Konsolidasi

Konsolidasi adalah suatu proses pemampatan tanah yang diakibatkan oleh penambahan beban yang ada di atasnya (Sudarmo 1993). Mampat tersebut disebabkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori dan sebab-sebab lainnya (Das 1985).

Pada suatu lapisan tanah jenuh yang permeabilitasnya rendah dibebani, maka tekanan air pori dalam tanah tersebut akan segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah berakibat air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah yang diikuti oleh penurunan tanahnya.

Secara umum penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam tiga kelompok (Hardiyatmo 1996).

a. Penurunan segera atau disebut juga penurunan elastis yaitu penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan.

Penurunan pada tanah-tanah berbutir kasar dan tanah-tanah berbutir halus yang tak jenuh termasuk penurunan segera.

b. Penurunan konsolidasi primer adalah penurunan yang terjadi sebagai hasil dari pengurangan volume tanah akibat aliran air meninggalkan zona tertekan yang diikuti oleh pengurangan kelebihan tekanan air pori.

- c. Penurunan konsolidasi sekunder adalah penurunan yang tergantung dari waktu, berlangsung pada waktu setelah konsolidasi primer selesai, yang tegangan efektif akibat pembebanan telah konstan.

2.5. Abu Layang

Pada pembakaran batu bara untuk keperluan sumber energi di pabrik-pabrik pembangkit tenaga listrik akan menghasilkan limbah yang berupa abu batu bara (*coal ash*).

Lebih dari 80 % diantaranya terdiri-dari abu layang (*fly ash*), sedangkan sisanya merupakan abu dasar (*bottom ash*) (Priyatama Hery 1993). Abu layang memiliki sifat pozzolonik (suatu material yang mengandung silika dan alumina) dengan jumlah yang tinggi dan mempunyai kandungan mineral terbesar adalah silika.

Pozolan dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari silika reaktif yang akan terkombinasi dengan kapur pada temperatur biasa sehingga membentuk majemuk dan tidak mudah larut; Sutarno (1999) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah abu layang (*fly ash*) sebagai bahan pengganti sebagian semen portland dan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa abu layang mempunyai sifat pozzolan yang tinggi karena sifat pozzolan pada umumnya diperoleh dengan kandungan silika yang dominan.

Secara teori abu layang potensi sekali sebagai bahan pozzolan.

Menurut ASTM C618-86 mutu pozzolan dapat dibedakan 3 kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozzolan mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas pozzolan tersebut adalah sebagai berikut (Aman Subakti, dalam Sutarno 1999).

Kelas N : Pozzolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan alam yang dapat digolongkan dalam jenis ini seperti tanah diatomic, opaline cherts dan shales, tuff dan abu vulkanik atau pumicite, dimana dapat diproses melalui pembakaran atau tidak.

Kelas C : Abu layang yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara.

Kelas F : Abu layang yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara.

Menurut ASTM – C 618-94a sifat fisik dan sifat kimia yang distandarkan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2. Sifat Fisik Abu layang

	N	C	F
Kehalusan :			
Tertahan ayakan 45 μm (no. 325) max %	34	34	34
Strength activity index dengan PC umur 28 hr (% min)	75	75	75
Kebutuhan air max (%)	115	105	105

Tabel 2.3. Sifat Kimia Abu layang

	N	C	F
$\text{Si O}_2 + \text{Al}_2 \text{O}_3$ (% min)	70	50	70
Sulfur triokid SO_3 (% max)	4	5	5
Alkali sebagai Na_2O (% max)	1.5	1.5	1.5
Kadar kelembaban (% max)	3	3	3
Loss on ignition (% max)	10	6	12

2.6. Karakteristik Abu Layang

Pembakaran batu bara akan menghasilkan bahan limbah yang berupa abu batu bara (coal ash), lebih dari 80 % diantaranya terdiri dari abu terbang (*fly ash*), sedang sisanya merupakan abu dasar (*bottom ash*), (Privatama, Hary, 1993).

Analisa fly ash dari PT. Ciwi Kimia Mojokerto diperoleh dari PT. Adhikarya devisi Adhimix Semarang (dalam penelitian Sutarno 1999) diperoleh hasil analisa sebagai berikut :

Tabel 2.4. Hasil Analisa Abu layang

Parameter	Satuan	Hasil Analisa
Si O ₂	%	73.28
Al ₂ O ₃	%	0.26
Fe ₂ O ₃	%	0.82
Ca O	%	2.84
Mg O	%	0.81
SO ₃	%	1.01
Alkali (Na)	%	1.40
Hilang pijar	%	1.97

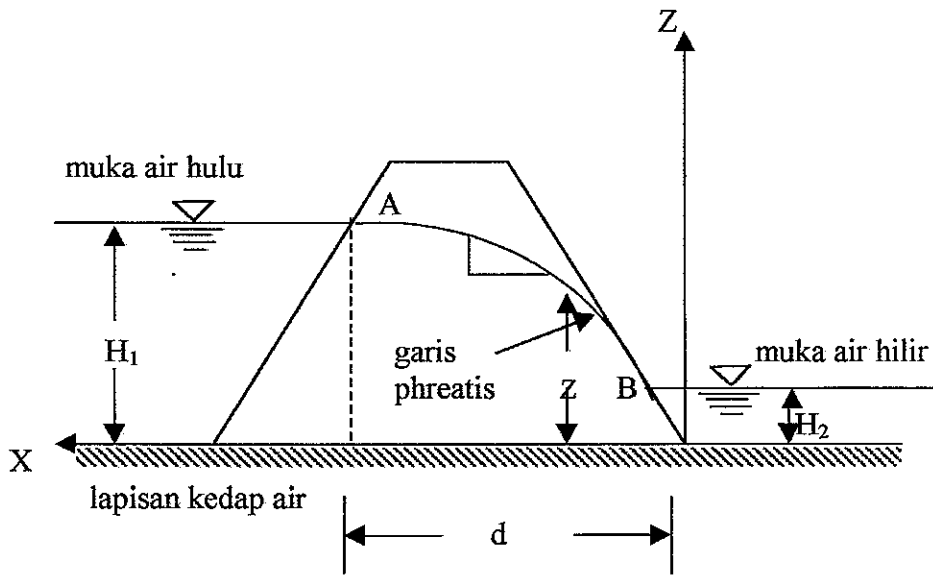
Dari hasil analisa kimia fly ash tersebut, menurut ASTM C618-86 fly ash dapat memenuhi kategori pozzolan kelas N, C, F, dan termasuk pozzolan dalam kategori mutu baik karena kadar Si O₂ + Al₂ O₃ . Fe₂ O₃ lebih dari 70 %.

2.7. Rembesan Melalui Tubuh Bendungan Urugan Homogen

Ada beberapa cara untuk menghitung besarnya debit rembesan yang melalui tubuh bendungan urugan yaitu :

2.7.1. Cara Dupuit

Besarnya debit rembesan per satuan panjang arah tegak lurus bidang gambar yang diberikan oleh Darcy adalah $q = k \cdot i \cdot A$



Gambar 2.7. Perhitungan Rembesan Cara Dupuit

Dupuit menganggap bahwa gradien hidraulik (i) adalah sama dengan kemiringan permukaan phreatis dan besarnya konstan yaitu $i = dz/dx$, maka

$$q = k \frac{dz}{dx} z \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\int_0^d q dx = \int_{H_2}^{H_1} kz \cdot dz$$

$$q = \frac{k}{2d} (H_1^2 - H_2^2) \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana: q = debit rembesan persatuan panjang bendungan

k = koefisien permeabilitas

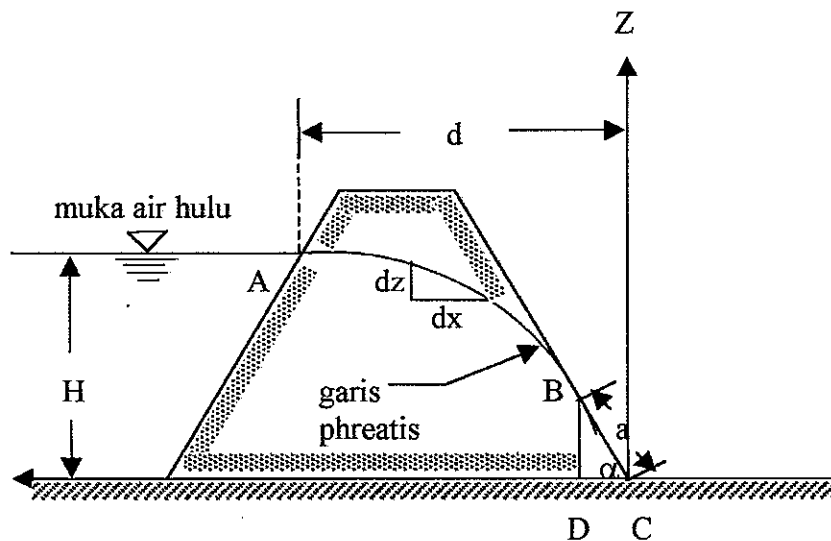
d = jarak mendatar diukur dari titik kontak permukaan air di hulu dengan bidang kemiringan bendung hingga dasar lapisan kedap air di hilir

H_1 = tinggi air di hulu bendungan

H_2 = tinggi air di hilir bendungan

2.7.2. Cara Schaffernak

Untuk menghitung besarnya debit rembesan yang melewati bendungan (Schaffernak) menganggap bahwa permukaan phreatis akan merupakan garis A-B (Gambar 2.8.) yang memotong garis kemiringan hilir pada jarak a dari dasar lapisan kedap air.



Gambar 2.8. Perhitungan rembesan cara Schaffernak

Besarnya debit rembesan per satuan panjang bendungan dihitung dengan rumus :

$$q = k \cdot i \cdot A$$

dimana :

$$i = \frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$A = BD \cdot 1 = a \cdot \sin \alpha$$

$$q = k \cdot a \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha \dots\dots\dots(2.13)$$

Dari persamaan 2.11 dan 2.13 maka diperoleh :

$$k \cdot \frac{dz}{dx} \cdot z = k \cdot a \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Jadi $a \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot dx = z dz$ atau

$$\int_{x \cdot \cos \alpha}^d a \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot dx = \int_{z \cdot \sin \alpha}^H z dz$$
$$(a \cdot \sin \alpha) (\operatorname{tg} \alpha) (d - a \cdot \cos \alpha) = \frac{1}{2} (H^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha)$$

Setelah disederhanakan dan diperoleh harga

$$a = \frac{d}{\cos \alpha} - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{H^2}{\sin^2 \alpha}} \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana :

a : panjang permukaan basah lereng bendungan bagian hilir

d : jarak mendatar dukur dari titik kontak permukaan air di hulu dengan bidang kemiringan bendungan hingga dasar lapisan kedap air di hilir.

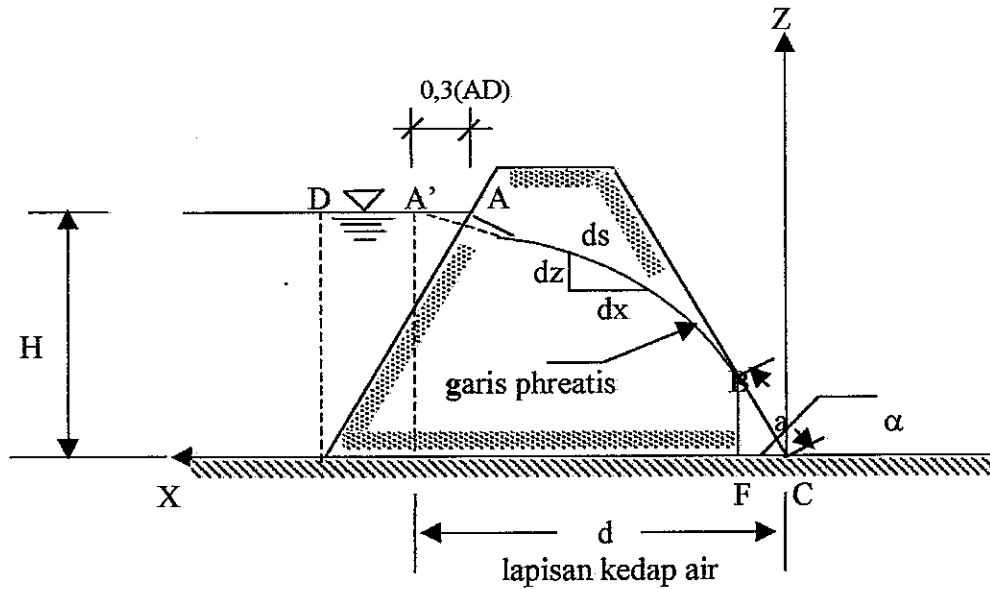
H : tinggi air di hulu bendungan

α : sudut kemiringan lereng bendungan

2.7.3. Cara Casagrande

Casagrande memberikan cara untuk menghitung besarnya debit rembesan yang melewati tubuh bendungan yang berasal dari pengujian model.





Gambar 2.9. Perhitungan rembesan cara Casagrande

Besarnya debit rembesan per satuan panjang bendungan dihitung dengan rumus :

$$q = k \cdot i \cdot A$$

dimana $i = \frac{dz}{ds}$

Jadi $q = k \cdot \frac{dz}{ds} \cdot A \dots\dots\dots(2.15)$

Pada titik B : $s = a$, $z = a \cdot \sin \alpha = A$, dan $\frac{dz}{ds} = \sin \alpha$

Maka $q = k \cdot \sin \alpha \cdot a \cdot \sin \alpha$

$$q = k \cdot a \cdot \sin^2 \alpha \dots\dots\dots(2.16)$$

dari persamaan 2.15 dan 2.16 diperoleh :

$$k \cdot \frac{dz}{ds} \cdot Z = k \cdot a \cdot \sin^2 \alpha$$

$$a \cdot \sin^2 \alpha \cdot ds = Z dz$$

$$\int_a^H a \cdot \sin^2 \alpha \cdot ds = \int_{z \cdot \sin \alpha}^H Z dz$$

dimana s = panjang total parabola

$$a \cdot \sin^2 \alpha (s - a) = \frac{1}{2} (H^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha)$$

$$a \cdot s \cdot \sin^2 \alpha - a^2 \cdot \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} (H^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha)$$

$$2 \cdot a \cdot s \cdot \sin^2 \alpha - 2 \cdot a^2 \cdot \sin^2 \alpha = H^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

$$a^2 \cdot \sin^2 \alpha - 2 \cdot a \cdot s \cdot \sin^2 \alpha + H^2 = 0$$

$$a^2 - 2 \cdot a \cdot s + \frac{H^2}{\sin^2 \alpha} = 0$$

$$a = s - \sqrt{s^2 - \frac{H^2}{\sin^2 \alpha}}$$

diambil $s = \sqrt{d^2 + H^2}$ maka

$$a = \sqrt{d^2 + H^2} - \sqrt{d^2 + H^2 - \frac{H^2}{\sin^2 \alpha}} \text{ atau}$$

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{(d^2 + H^2) \cdot \text{ctg}^2 \alpha} \dots\dots\dots (2.17)$$

Penggambaran ketinggian garis rembesan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$x = (z^2 - 4p^2)/4p$$

$$z^2 - 4p^2 = 4px$$

$$z = 2(p^2 + px)^{0.5} \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana : z = ketinggian garis permukaan rembesan.

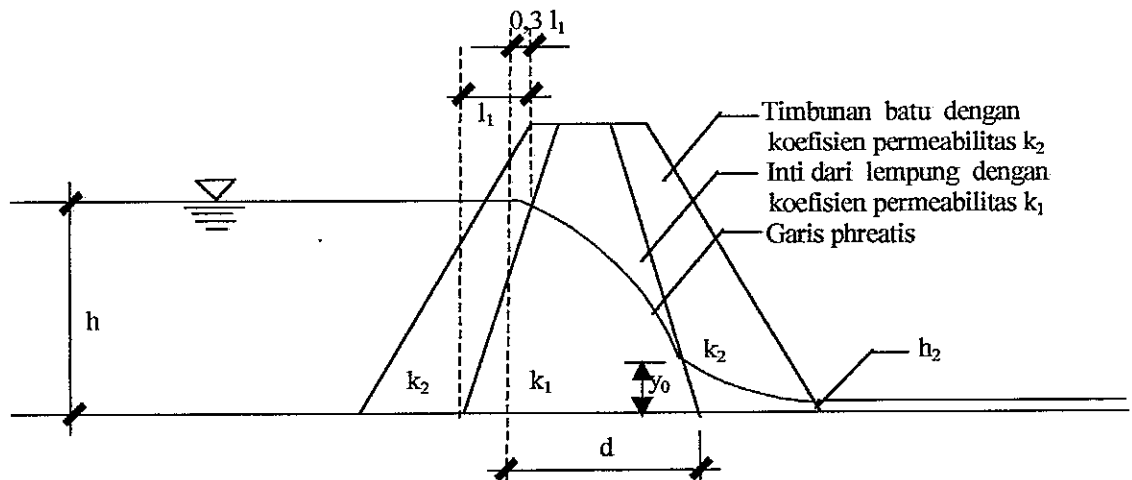
x = jarak diukur dari dasar ujung timbunan sebelah hilir.

$$p = 0,5((d^2 + H^2)^{0.5} - d)$$

2.8. Rembesan Melalui Tubuh Bendungan Urugan dengan Inti Kedap Air

Debit rembesan melalui tubuh bendungan dengan inti kedap air dari lempung dapat dihitung dengan menggunakan metode casagrade sama seperti pada bendungan urugan homogen. (Sosrodarsono 1989)

Dengan asumsi bahwa aliran rembesan melalui dua material yang mempunyai perbedaan nilai koefisien permeabilitas (k) besar, lapisan yang mempunyai nilai koefisien permeabilitas besar dianggap tidak ada. Berdasarkan asumsi tersebut maka garis permukaan aliran rembesan melalui tubuh bendungan dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Rembesan melalui bendungan urugan batu dengan inti dari lempung

Besarnya debit rembesan dihitung dengan rumus :

$$Q = k_1 \cdot y_0 \cdot L \dots\dots\dots(2.19)$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

dimana: Q = debit rembesan

k_1 = koefisien permeabilitas bahan inti

L = panjang profil melintang tubuh bendungan

Dengan anggapan debit rembesan konstant maka :

$$Q = k_1 \cdot y_0 \cdot L_0 = k_2 \cdot h_2 \cdot L$$

dengan demikian :

dimana : h_2 = tinggi permukaan basah lereng bendung bagian hilir.

k_1 = koefisien permeabilitas bahan inti.

k_2 = koefisien permeabilitas timbunan luar.

y_0 = tinggi permukaan basah lereng inti bagian hilir.

2.9. Penambahan abu layang pada tanah.

Abu layang yang merupakan limbah pembakaran batu bara mempunyai sifat pozolan karena kandungan silikanya yang dominan (Sutarno 1999) sehingga jika dicampurkan pada kapur atau tanah lempung akan membentuk majemuk dan tidak mudah larut.

Dari hasil penelitian Mukhlisin (2001) menunjukkan bahwa penambahan abu layang kedalam tanah lempung mempengaruhi sifat fisik dan mekaniknya yaitu membuat nilai batas cair, indeks plastisitas, kadar air optimum, sudut geser dan koefisien filtrasi meningkat sedangkan nilai batas plastisitas, batas susut dan kohesinya menurun.

Dari hasil penelitian Indarto (2001) menunjukkan bahwa stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan abu layang mengakibatkan angka pori dan kadar air berkurang sedangkan tegangan air pori negatif dan kepadatan kering meningkat yang berarti tanah semakin padat sehingga meningkatkan kuat geser serta mengurangi pengembangan.

Sedangkan dalam penelitian Faisal Fathani (2000) dengan menggunakan abu sekam padi sebagai tambahan pada tanah lempung, dengan penambahan abu sekam akan dapat mengurangi nilai batas cair, indeks plastisitas, kandungan fraksi lempung dan tekanan pengembangan, sedangkan nilai batas plastisitas dan batas susut semakin bertambah.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Air.

Air yang digunakan adalah air bersih di laboratorium Mekanika Tanah dan laboratorium Hidrolika Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.

2. Tanah Lempung

Tanah lempung yang digunakan diambil dari lokasi bahan inti (*core*) rencana bendungan Jatibarang, Semarang Jawa-Tengah.

3. Abu layang

Abu layang yang digunakan diambil dari pembakaran batu bara PT. Mega Safe Tyre Industri Semarang.

3.2. Alat

Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah alat yang ada di Laboratorium mekanika Tanah dan Laboratorium Hidrolika Politeknik Negeri Semarang meliputi :

1. Seperangkat saringan.
2. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr dan 1,0 gr.
3. Gelas ukur 1000 ml.
4. Hidrometer.
5. Alat uji Index Properties.

6. Alat uji Atteberg.
7. Stop watch, thermometer, dial pembacaan.
8. Alat uji pemadatan.
9. Alat uji geser.
10. Alat uji permeabilitas.
11. Alat uji swelling.
12. Oven.
13. Tank permeabilitas dan perlengkapannya.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan membuat campuran tanah lempung dan abu layang dengan variasi campuran abu layang 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat tanah lempung kering kemudian dilakukan pengujian:

- a. Karakteristik mekanik meliputi pengujian pemadatan, pengujian pengembangan, pengujian permeabilitas, pengujian geser dan pengujian susut.
- b. Pengujian debit rembesan melalui lapisan timbunan inti kedap air pada tank permeabilitas.

3.4. Prosedur Penelitian.

Prosedur pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu

3.4.1. Tahap persiapan.

Tahap persiapan meliputi pemeriksaan alat yang digunakan, pengambilan sampel tanah dan abu layang, pengujian sifat fisik tanah, pengeringan sampel,

penyaringan sampel dan pencampuran tanah dengan abu layang dengan variasi campuran sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat tanah kering.

3.4.2. Tahap pengujian.

Tahap pengujian dibedakan menjadi 2 (dua) bagian yaitu :

a. Pengujian karakteristik mekanik material meliputi

- 1). Pengujian Pematatan.
- 2). Pengujian pengembangan
- 3). Pengujian permeabilitas
- 4). Pengujian kuat geser
- 5). Pengujian susut

b. Pengujian debit rembesan melalui lapisan inti kedap air pada model timbunan yang dibuat ditank permeabilitas.

3.4.3. Kalibrasi alat.

Sebelum melakukan pengujian rembesan dari beberapa variasi campuran abu layang, yang dilakukan dengan membuat model timbunan inti kedap air pada tank permeabilitas, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi tabung piezometer yang akan dipakai untuk mengukur ketinggian air pada badan timbunan dan kalibrasi debit rembesan dengan menggunakan timbunan tanah asli (tanpa campuran abu layang) dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan menggunakan rumus.

Hal ini untuk mengetahui seberapa jauh penyimpangan yang terjadi pada pengukuran.

a. Kalibrasi tabung piezometer.

1). Ketinggian air pada tabung piezometer hasil pengukuran adalah :

h_{m1} , h_{m7} , h_{m8} , h_{m9} , h_{m10} , h_{m11} , h_{m12} , h_{m13} dan h_{m14} dengan jarak masing masing dari ujung dasar timbunan sebelah hilir adalah 140, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, dan 10 cm

2). Ketinggian air pada tabung piezometer hasil perhitungan menggunakan rumus adalah:

h_{p1} , h_{p7} , h_{p8} , h_{p9} , h_{p10} , h_{p11} , h_{p12} , h_{p13} , h_{p14} dengan jarak masing masing dari ujung dasar timbunan sebelah hilir adalah 140, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, dan 10 cm

Besarnya h_p dihitung menggunakan menggunakan rumus:

$$x = (z^2 - 4p^2)/4p \text{ (Hardiyatmo, H.C. 1992)}$$

$$z^2 - 4p^2 = 4px$$

$$z^2 = 4p^2 + 4px$$

$$z = 2 (p^2 + px)^{0.5}$$

dimana :

$z = h_p =$ tinggi air

$x =$ jarak diukur dari dasar ujung timbunan sebelah hilir

$$p = 0.5((d^2 + H^2)^{0.5} - d)$$

$H =$ tinggi air disebelah hulu timbunan.

$$d = L_3 + L_2 + 0.3 L_1 \text{ (lihat lampiran H)}$$

3). Angka kalibrasi tabung piezometer

$$K_{tb} = h_m/h_p$$

dimana

K_{tb} = angka kalibrasi tabung piezometer.

h_m = tinggi air pada tabung piezometer hasil pengukuran.

h_p = tinggi air pada tabung piezometer hasil perhitungan rumus

b. Kalibrasi debit rembesan

1). Besarnya debit rembesan yang mengalir melalui model inti bendungan adalah.:

$$Q_m = V_r/t_r \text{ dan } q_m = Q_m/b$$

dimana

Q_m = debit rembesan hasil pengukuran

V_r = Volume rembesan rata rata.

t_r = lamanya waktu pengamatan rata rata

q_m = debit rembesan persatuan lebar.

b = lebar model inti bendungan.

2). Besarnya debit rembesan hasil perhitungan dengan rumus adalah.

$$q_p = k.a.\sin^2\alpha \text{ (persamaan 2.16 halaman 25)}$$

dimana

q_p = debit rembesan persatuan lebar.

k = koefisien permeabilitas hasil pengujian falling head

a = lereng basah model sebelah hilir.

α = sudut kemiringan lereng.

3). Angka kalibrasi debit rembesan.

$$Kd = q_m/q_p$$

dimana

Kd = angka kalibrasi debit rembesan.

q_m = debit rembesan persatuan lebar pada model.

q_p = debit rembesan persatuan lebar hasil perhitungan.

3.5. Hasil pengujian dilaboratorium.

Hasil yang didapat dari pengujian dilaboratorium yang meliputi pengujian karakteristik fisik tanah , pengujian karakteristik mekanik dan pengujian rembesan untuk masing masing variasi campuran abu layang adalah data hasil pengujian yaitu :

3.5.1. Pengujian karakteristik fisik.

a) Pengujian indek proterties.

Dari pengujian indek properties akan didapat data :

- Kadar air alami (w)
- Berat isi basah alami (γ_m)
- Spesific gravity (G_s)
- Berat isi kering (γ_d)
- Angka pori (e)
- Porositas (n)
- Derajat kejenuhan (Sr)

b) Pengujian batas batas konsistensi.

Dari pengujian batas batas konsistensi akan didapat data :

- Batas cair (LL)
- Batas Plastis (PL)
- Batas susut (SL)
- Index Plastisitas (IP)

c) Pengujian analisa butiran.

Dari pengujian analisa butiran yang terdiri dari pengujian analisa ayak dan analisa hidrometer akan didapat data :

- Prosen lolos saringan No 10
- Prosen lolos saringan No 40
- Prosen lolos saringan No 200

3.5.2. Pengujian Karakteristik Mekanik

a) Pengujian pemadatan

Dari pengujian pemadatan akan didapat besarnya berat isi kering maksimum ($\gamma_{d\max}$) dan kadar air optimum (w_{opt}) untuk masing masing variasi campuran.

b) Pengujian pengembangan.

Dari pengujian pengembangan akan didapat besarnya prosen absorsi dan prosen pengembangan untuk masing masing variasi campuran

c) Pengujian permeabilitas.

Dari pengujian permeabilitas akan didapat besarnya koefisien permeabilitas (k) pada kepadatan 70%, 80%, 90%, dan 100% untuk masing masing variasi campuran.

d) Pengujian kuat geser.

Dari pengujian kuat geser akan didapat besarnya kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) untuk masing masing variasi campuran.

e) Pengujian batas susut

Dari pengujian batas susut akan didapat besarnya prosentase susut linier dan susut volumerik untuk masing masing variasi campuran.

3.5.3. Pengujian rembesan.

Dari pengujian rembesan melalui lapisan timbunan inti kedap air yang dilakukan pada tank permeabilitas akan didapat besarnya besarnya debit rembesan (Q), debit rembesan persatuan lebar (q), koefisien permeabilitas (k) dan ketinggian garis freatisnya.

3.6. Analisa Data.

Data yang didapat dari hasil pengujian dilaboratorium yang berupa data karakteristik fisik, data karakteristik mekanik dan data rembesan kemudian dianalisa.

Untuk mempermudah melihat besaran hasil pengujian dan mempermudah dalam menganalisis keterkaitan antara besaran yang satu dengan besaran lainnya maka data hasil pengujian dituangkan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.6.1. Data karakteristik fisik.

Data karakteristik fisik meliputi index properties, batas cair, batas plastis, batas susut, index plastisitas, lolos saringan nomer 10, 40 dan 200.

Dari data tersebut akan diketahui klasifikasi tanah yang dipakai.

3.6.2. Data karakteristik mekanik

Data karakteristik mekanik untuk masing masing variasi campuran abu layang adalah :

Dari pengujian pemadatan adalah berat isi kering dan kadar air optimum.

Dari pengujian pengembangan adalah absorsi dan prosen pengembangan.

Dari pengujian permeabilitas adalah koefisien permeabilitas pada kepadatan 70%, 80%, 90%, dan 100%

Dari pengujian kuat geser adalah kohesi dan sudut geser dalam.

Dari pengujian susut adalah susut linier dan susut volumerik.

Data data tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara:

- a. Berat isi kering dengan variasi campuran abu layang.
- b. Kadar air optimum dengan variasi campuran abu layang.
- c. Prosen absorsi dengan variasi campuran abu layang.
- d. Prosen pengembangan dengan variasi campuran abu layang.
- e. Koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 100%.
- f. Koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 90%.
- g. Koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 80%.
- h. Koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%.
- i. Kohesi dengan variasi campuran abu layang
- j. Sudut geser dalam dengan variasi campuran abu layang.
- k. Susut linier dengan variasi campuran abu layang.
- l. Susut volumerik dengan variasi campuran abu layang.

3.6.3. Data pengujian rembesan.

Data pengujian rembesan berupa debit rembesan, koefisien rembesan, dan ketinggian air pada tabung piezometer pada kepadatan timbunan 80% untuk masing masing variasi campuran abu layang.

Data tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara:

- a. Debit rembesan dengan variasi campuran abu layang.
- b. Koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang.

3.6.4. Data debit rembesan berdasarkan perhitungan menggunakan rumus.

Data debit rembesan dihitung menggunakan persamaan 2.16 halaman 26 yaitu

$$q = k.a.\sin^2\alpha$$

dimana

q = debit rembesan persatuan lebar.

k = koefisien permeabilitas hasil pengujian *falling head*.

a = lereng basah sebelah hilir dari model timbunan.

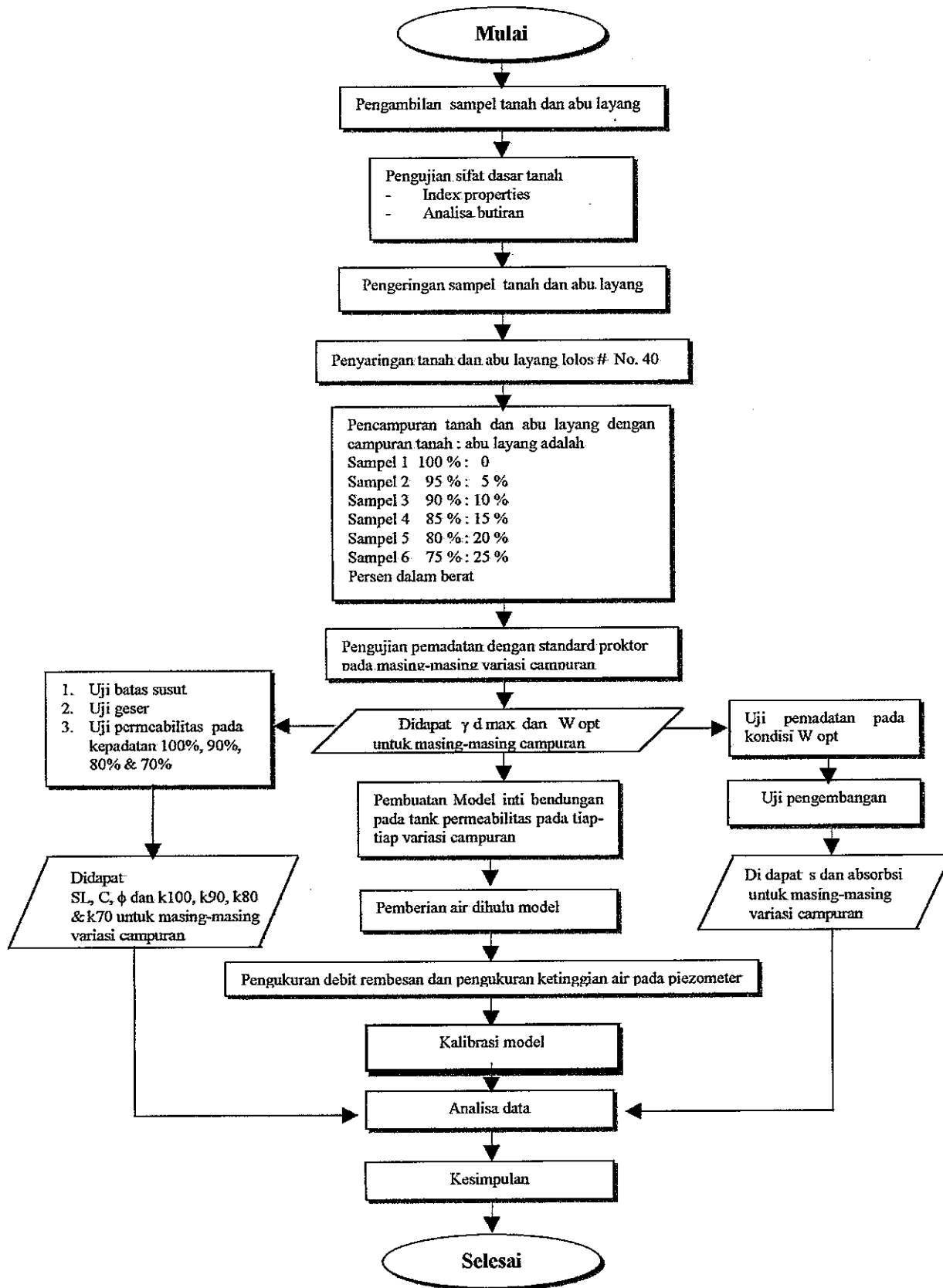
α = sudut kemiringan lereng dari model timbunan.

Debit tersebut dihitung untuk masing masing variasi campuran abu layang dan variasi kepadatan penimbunan.

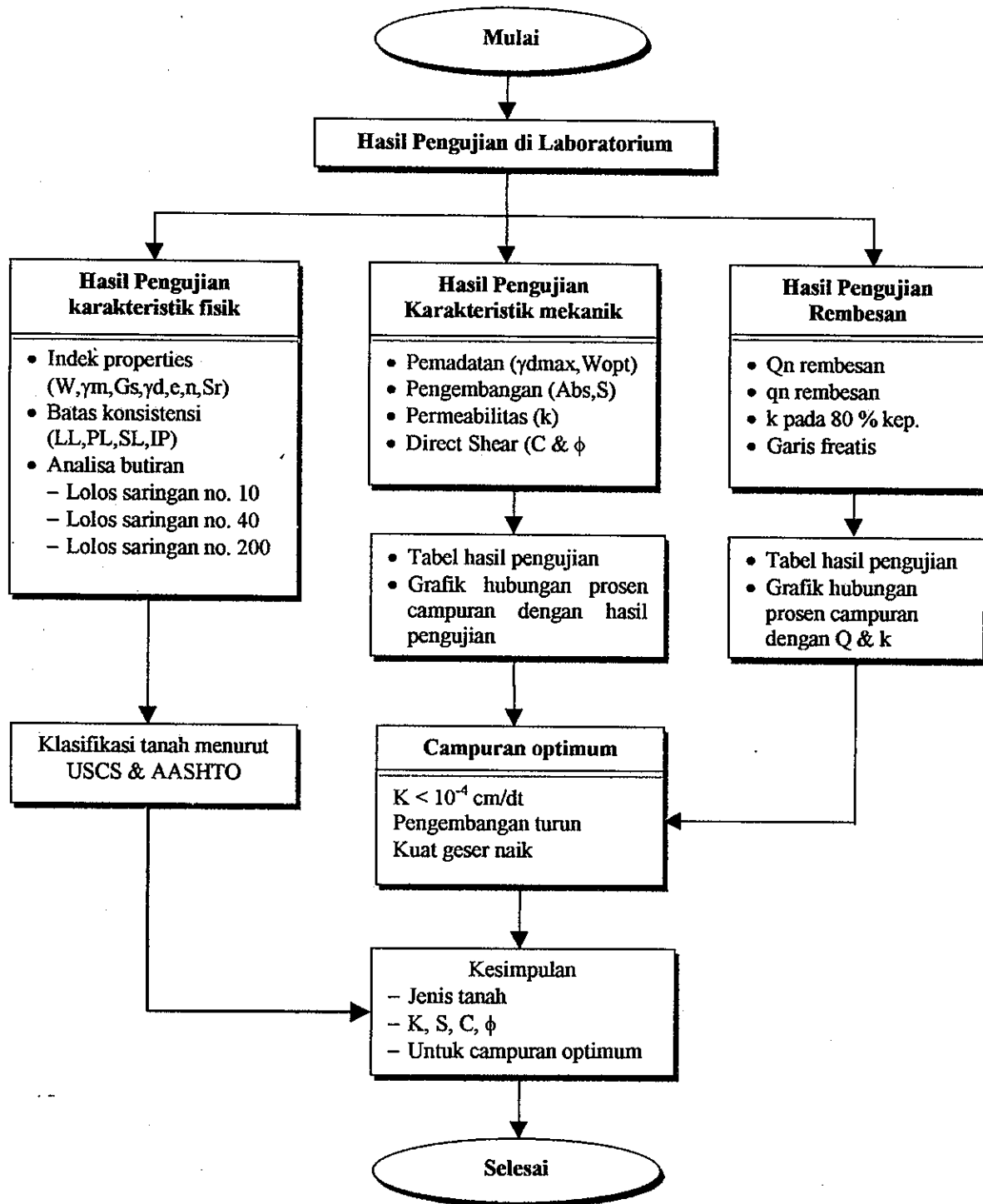
Kemudian data debit dibuat grafik hubungan antara :

- a. Debit rembesan dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 100%.
- b. Debit rembesan dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 90%
- c. Debit rembesan dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 80%
- d. Debit rembesan dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%
- e. Debit rembesan dengan variasi kepadatan pada campuran abu layang 0%.

- f. Debit rembesan dengan variasi kepadatan pada campuran abu layang 5%.
- g. Debit rembesan dengan variasi kepadatan pada campuran abu layang 10%.
- h. Debit rembesan dengan variasi kepadatan pada campuran abu layang 15%.
- i. Debit rembesan dengan variasi kepadatan pada campuran abu layang 20%.
- j. Debit rembesan dengan variasi kepadatan pada campuran abu layang 25%.



Gambar 3.1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.2. Bagan Alir Analisis

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan dilaboratorium Mekanika Tanah dan laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut:

4.1. Tahap Persiapan.

4.1.1. Pengambilan sampel

Sampel tanah diambil dari lokasi rencana pengambilan material kedap air (*impervious material*) Bendungan Jatibarang Semarang pada *borrow area A* yang berlokasi di Kelurahan Kandri Jatibarang Semarang.

Sedangkan sampel abu layang diambil dari limbah pembakaran batubara pada pabrik ban PT Mega Safe Tyre Industri Semarang.

4.1.2. Pengeringan dan Penyaringan sampel.

Sampel tanah yang diambil dari lapangan sebagian besar masih berbentuk bongkahan ,untuk mempermudah didalam pelaksanaan pengujian dilakukan pengeringan dan penyaringan. Penghalusan dilakukan dengan pemukulan menggunakan palu karet supaya butirannya tidak pecah dan penyaringan dilakukan dengan saringan no.4 dengan diameter lubang saringan 4.75 mm. Demikian juga untuk abu batubara agar butirannya seragam dilakukan penyaringan dengan saringan no.4 sama seperti ayakan yang dipakai pada ayakan tanah.

4.1.3. Pengujian Index Properties.

Pengujian index properties meliputi pengujian kadar air (w) Pengujian berat isi basah (γ_m) dan pengujian spesifik gravity (Gs). Sedangkan berat isi kering (γ_d) angka pori (e) porositas (n) dan derajat kejenuhan (Sr) dihitung menggunakan rumus berdasar besarnya kadar air, berat isi basah dan spesifik gravity.

a. Pengujian kadar air (w)

1) Pelaksanaan pengujian

- a) Cawan kadar air sebanyak 3 buah diambil, diberi kode dan ditimbang masing masing beratnya.
- b) benda uji dimasukkan kedalam cawan dan ditimbang cawan + benda uji basah
- c) cawan dan tanah basah dimasukan kedalam oven untuk dikeringkan selama 24 jam dengan temperatur 110 derajat C.
- d) setelah kering diambil dan didinginkan kemudian ditimbang berat cawan dan tanah kering.

2) Perhitungan.

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

dimana : w = kadar air dalam %.

W_1 = berat cawan.

W_2 = berat cawan + tanah basah.

W_3 = berat cawan + tanah kerin

b. Pengujian berat isi basah.

1). Pelaksanaan pengujian .

- a). silinder ring yang sudah diketahui volumenya ditimbang.
- b). silinder ring dimasukan kedalam bongkahan tanah benda uji, kemudian diambil silinder ring tersebut yang sudah berisi tanah benda uji.
- c). kedua sisi silinder ring diratakan dengan pisau.
- d). silinder ring yang sudah berisi tanah ditimbang beratnya.
- e). pengujian diulangi tiga kali.

2). Perhitungan.

$$\gamma_m = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

dimana : γ_m = berat isi basah

W_1 = berat silinder ring.

W_2 = berat silinder ring dan benda uji.

V = volume silinder ring.

c. Pengujian specific Gravity (G_s)

1). Prosedur pengujian

- a) picnometer tiga buah dan diberi kode 1, 2 dan 3
- b) di timbang masing-masing beratnya (m_1)
- c) sampel tanah kering oven di ayak dengan ayakan no. 10 (diameter lubang ayakan 2 mm) sampel yang lolos diambil ± 50 gram.

- d) Tanah yang lolos ayakan 2 mm, dimasukkan ke dalam picnometer $\pm 10 - 15$ gram, picnometer + tanah ditimbang (m_2)
- e) Tanah yang ada di dalam picnometer diberi air suling hingga tanah terendam
- f) Picnometer yang sudah berisi tanah dan air suling dimasukkan ke dalam panci yang berisi air untuk direbus
- g) Direbus hingga gelembung udara dalam tanah keluar
- h) Jika gelembung udara tidak muncul lagi, picnometer diambil dan didinginkan dalam desikator
- i) Tambahkan air suling dalam picnometer hingga penuh kemudian picnometer, tanah dan air ditimbang (m_3) dan diukur temperaturnya (t_1)
- j) Isi picnometer dituang, kemudian dicuci hingga bersih
- k) Picnometer diisi air suling hingga penuh dan ditimbang (m_4) serta diukur temperaturnya (t_2)

2). Perhitungan

$$Gs = \frac{m_2 - m_1}{\frac{1}{\alpha_2} (m_4 - m_1) - \frac{1}{\alpha_1} (m_3 - m_2)}$$

dimana Gs = specific gravity

m_1 = berat picnometer

m_2 = berat picnometer dan tanah

m_3 = berat picnometer + tanah + air

m_4 = berat picnometer + air

α_1 = faktor koreksi pada suhu air t_1

α_2 = faktor koreksi pada suhu air t

d. Berat isi kering (γ_k)

Dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w}$$

dimana γ_d = berat isi kering

γ_m = berat isi basah

w = kadar air

e. Angka pori (e)

Dihitung dengan menggunakan rumus :

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

dimana e = angka pori

G_s = specific gravity berat isi basah

γ_w = berat isi air

γ_d = berat isi kering

f. Porositas (n)

Dihitung dengan menggunakan rumus :

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

dimana n = porositas

e = angka pori

g. Derajat kejenuhan (Sr)

Dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Sr = \frac{W.Gs}{e}$$

dimana Sr = derajat kejenuhan

W = kadar air

Gs = specific gravity

e = angka pori

h. Hasil pengujian dilaboratorium.

Dari pengujian dilaboratorium didapat hasil :

Kadar air (ω) = 44,41%.

Berat isi basah (γ_m) = 1,671 gram/cc

Specific gravity (Gs) = 2,634

Berat isi kering (γ_d) = 1,157 gram/cc

Angka pori (e) = 1,276

Porositas (n) = 0,561

Derajat kejenuhan (Sr) = 91,67%

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A-1

4.1.4. Pengujian analisa butiran

Pengujian analisa butiran terdiri dari analisa ayak dan analisa hidrometer.

Untuk butiran yang lebih besar dari 0,075 mm di uji dengan ayakan sedangkan untuk butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm diuji dengan hidrometer.

a. Persiapan pengujian

- 1) sampel tanah dikeringkan dalam oven pada suhu 110° selama 24 jam
- 2) setelah kering didinginkan dalam desikator
- 3) diambil sebanyak 500 gram (w_1) kemudian direndam dalam air selama 24 jam
- 5) dipisahkan butiran yang lebih besar dari 0,075 mm dengan yang lebih kecil dari 0,075 mm dengan cara dicuci dan disaring dengan saringan no. 200 (diameter lubang saringan 0,075 mm)
- 6) butiran tanah yang tertahan saringan no. 200 dan yang lolos saringan no. 200 dikeringkan dalam oven hingga betul-betul kering

b. Pengujian ayakan

- 1) Pelaksanaan pengujian
 - a) Ayakan yang dipakai untuk pengujian menggunakan ayakan no. 4, 8, 16, 35, 60, 120, 200 dan pan atau diameter lubang ayakan 4.75, 2.36, 1.18, 0.500, 0.250, 0.125, 0.075 mm dan pan ditimbang masing-masing beratnya (w_2)
 - b) Saringan disusun dengan diameter lubang saringan besar diatas dan lubang saringan kecil dibawah dengan susunan paling bawah adalah pan
 - c) Dipasangkan didalam penggetar
 - d) Butiran yang tertahan saringan no. 200 yang sudah di oven, timbang dan masukkan ke dalam susunan saringan
 - e) Digerak selama ± 10 menit

- f) Ditimbang masing-masing saringan beserta tanah yang tertinggal disaringan tersebut (w_3)
- 2) Analisa ayakan
- a) Berat tanah tertahan (w_4) = berat saringan + tanah tertahan dikurangi berat ayakan $w_4 = w_3 - w_2$
- b) Prosen berat tanah tertahan = berat tanah tertahan dibagi berat total
 $= w_4/w_1 \times 100\%$
- c) Kemudian dihitung prosen komulatif tanah tertahan yaitu jumlah prosentase tanah yang tertahan diatas semua saringan yang lebih besar dari saringan yang bersangkutan
- d) Selanjutnya dihitung prosentase lebih halus atau prosentase lolos yaitu 100% dikurangi prosentase komulatif

c. Pengujian hidrometer

1) Pelaksanaan pengujian

- a) Ditimbang benda uji yang lolos saringan no. 200 yang telah dikeringkan sebanyak 50 gr.
- b) Dicampur dengan sodium hexametaphosphat sebanyak 4. % diberi air suling dan direndam selama 16 jam agar butiran tanah dapat saling terpisah.
- c) Sesudah direndam campuran dipindahkan kedalam mangkok mixer dan ditambah air suling kira-kira setengahnya selanjutnya dimixer selama ± 1 menit.

- d) Larutan dipindahkan ke gelas ukur dan ditambah air suling hingga volumenya 1000 ml
- e) Selanjutnya dikocok hingga larutan rata, kemudian letakkan di atas meja, jalankan stopwatch dan masukkan hidrometer ke dalam larutan secara perlahan-lahan
- f) Dilakukan pembacaan hidrometer pada waktu 1, 2, 3, dan 4 menit tanpa memindahkan hidrometer
- g) Diukur temperatur dengan menempatkan termometer pada gelas ukur
- h) Langkah e) dan g) diulang hingga didapat 2 x pembacaan sama
- i) Larutan dikocok kembali, hidrometer dimasukkan lagi kemudian dilakukan pembacaan hidrometer pada waktu 1, 2, 3, 4, 8, 15, 30 menit, 1, 2, 4, 8, 16 jam, 1, 2, 3, 4 hari setiap kali pembacaan dicatat temperaturnya
- j) No. seri hidrometer, zero corection dan miniscus corection dicatat.

2) Analisa hidrometer

a) Pembacaan aktual = Ra

b) Pembacaan terkoreksi = Rc

$$Rc = Ra + \text{Zero corection} - Ct$$

Ct = faktor koreksi temperatur

c) Prosen finer = $\frac{Rc.a}{Ws} \times \% \text{ lolos } 0,075 \text{ mm}$

a = faktor koreksi untuk berat jenis

W_s = berat sampel tanah kering untuk pengujian hidrometer

dalam pengujian ini sebesar 50 gr

d) Pembacaan hidrometer = R

$R = R_a + \text{Miniscus corection}$

e) Dicari tinggi efektif hidrometer (L) berdasarkan besarnya nilai R

f) Dicari angka koreksi berat jenis pada setiap perubahan temperatur (K)

g) Diameter butiran (D) dihitung dengan rumus :

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

dimana D = diameter butiran dalam mm

K = angka koreksi berat jenis pada setiap perubahan waktu

L = tinggi efektif hidrometer

t = waktu pembacaan hidrometer dalam menit

d. Hasil pengujian dilaboratorium.

Dari pengujian dilaboratorium didapat hasil :

Lolos saringan nomor 10 = 99,78 %

Lolos saringan nomor 40 = 92,93 %

Lolos saringan nomor 200 = 79,01 %

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A-2

4.1.5. Pengujian batas konsistensi

Pengujian batas konsistensi meliputi pengujian batas cair (LL) pengujian batas plastis (PL) dan pengujian batas susut (SL).

a. Pengujian batas cair

1) Persiapan pengujian

- a) Tanah kering udara dihaluskan dan disaring dengan saringan no. 40 (0,425 mm) yang lolos diambil seberat 300 gram
- b) Dicampur dengan air suling dan diaduk hingga berbentuk pasta
- c) Dimasukkan dalam cawan porselin dan didiamkan selama 24 jam agar kadar airnya rata

2) Pelaksanaan pengujian

- a) Tanah yang telah dipersiapkan diletakkan diatas palat kaca kemudian diaduk dengan menggunakan spatula hingga rata
- b) Alat Cassagrade diambil dan diatur tinggi jatuh cawan (tinggi jatuh 100 mm)
- c) Cawan kadar air disiapkan sebanyak 10 buah diberi kode dan ditimbang masing-masing beratnya
- d) Tanah yang telah diaduk diatas plat kaca dimasukkan kedalam cawan cassagrade
- e) Permukaan tanah dalam cawan cassagrade diratakan sejajar dengan dasar alat cassagrade
- f) Tanah pada cawan cassagrade dibuat alur dengan menggunakan grooving tool sepanjang diameternya

- g) Handle pada alat cassagrade diputar dengan kecepatan 2 x putaran perdetik hingga kedua sisi alur tanah merapat sepanjang 13 mm
 - h) Jumlah putaran handle hingga alur tanah merapat 13 mm dicatat sebagai jumlah ketukan
 - i) Setelah selesai masukkan sebagian tanah kedalam cawan kadar air yang telah diketahui beratnya dan timbang berat cawan + tanah basah kemudian oven dengan suhu 110 °C selama 24 jam kemudian ditimbang cawan + tanah kering untuk selanjutnya dicari kadar airnya
 - j) Ulangi d), e), f), g), h) dan i) 3 atau 4 kali hingga didapat pengujian dengan minimal 2x pengujian dibawah 25 ketukan dan 2x pengujian diatas 25x ketukan
- 3) Perhitungan
- a) Kadar air masing-masing pengujian (ketukan) dicari
 - b) Digambar grafik hubungan antara jumlah ketukkan dan kadar air
Jumlah ketukkan sebagai sumbu mendatar dengan skala logaritma, sedang kadar air sebagai sumbu tegak dengan skala biasa
 - c) Dibuat garis lurus melalui titik-titik tersebut
 - d) Nilai batas cair adalah besarnya kadar air pada ketukan ke 25.

b. Pengujian batas plastis

1) Prosedur pengujian

- a) Sampel tanah untuk pengujian batas plastis diambil dari sisa tanah pengujian batas cair
- b) Sampel tanah diletakkan diatas plat kaca kemudian diaduk hingga kadar airnya rata
- c) Dibuat bola-bola tanah dari sampel tanah tersebut dengan diameter 1 cm, kemudian bola tanah tersebut digeleng-geleng diatas plat kaca
- d) Penggelengan dilakukan sampai benda uji membentuk batang lidi dengan diameter 3 mm.

Bila pada waktu penggelengan ternyata sebelum benda uji mencapai 3 mm sudah retak maka benda uji disatukan kembali, ditambah air sedikit demi sedikit dan diaduk sampai rata. Apabila ternyata penggelengan dapat mencapai diameter lebih kecil dari 3 mm tanpa menunjukkan retak-retak maka benda uji dibiarkan beberapa saat agar kadar airnya berkurang sedikit

- e) Penggelengan diulangi sampai didapat gelengan timbul retak-retak rambut tepat pada saat benda uji membentuk batang lidi dengan diameter 3 mm
- f) Gelengan benda uji dimasukkan kedalam cawan untuk dicari kadar airnya.

Setiap cawan berisi ± 5 gelengan benda uji dan dibuat minimal 2 cawan kadar air

2) Perhitungan

a) Berat cawan kosong = w_1

Berat cawan dan gelengan benda uji basah = w_2

Berat cawan dan gelengan benda uji kering = w_3

b) Kadar air = W

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

c) Batas plastis sama dengan kadar air rata-rata

c. Pengujian batas susut

1) Persiapan pengujian

Contoh tanah yang digunakan sama seperti contoh tanah untuk pengujian batas cair sebanyak 150 gram.

2) Prosedur pengujian

a) Susut linier

- Cetakkan diukur panjang bagian dalamnya serta diberi oli dikelilingnya agar contoh tanah tidak melekat pada cetakkan.
- Contoh tanah diberi air suling dan diaduk-aduk dengan spatula hingga rata, kadar air yang dibutuhkan minimal sama dengan kadar air batas cair
- Contoh tanah dimasukkan dalam cetakkan hingga penuh, supaya tidak ada udara yang terperangkap didalamnya pada saat

pengisian sambil diketuk-ketuk sehingga gelembung udara naik kepermukaan, kemudian permukaan diratakan dan yang melekat dipinggir cetakkan dibersihkan dengan kain basah.

- Cetakkan beserta isinya dikeringkan dalam oven mula-mula pada temperatur 60°C supaya tanah mengering secara perlahan-lahan sehingga tidak pecah, selanjutnya dikeringkan pada temperatur 110°C sampai benar-benar kering
- Setelah kering, cetakkan beserta isinya diambil dari dalam oven dan didinginkan dalam desikator
- Kemudian diukur panjang tanah kering

b) Susut volumerik

- Cetakkan susut volume diukur volumenya (V) dan ditimbang beratnya (W_1)
- Disekeliling cetakkan bagian dalam diberi oli supaya contoh tanah tidak melekat pada cetakkan
- Contoh tanah dimasukkan dalam cetakkan kira-kira $1/3$ bagian cetakkan dan diketuk-ketuk perlahan-lahan diisi $1/3$ bagian lagi dan diketuk-ketuk terakhir diisi sampai penuh dengan diketuk-ketuk hingga ada yang tumpah keluar
- Bagian permukaan diratakan hingga betul-betul rata
- Berat cetakan berisi tanah ditimbang (W_2)
- Cetakkan beserta isinya dikeringkan dalam oven mula-mula pada temperatur 60°C supaya tanah mengering secara perlahan-

lahan sehingga tidak pecah-pecah, selanjutnya dikeringkan pada temperatur 110°C sampai benar-benar kering

- Setelah kering, cetakkan beserta isinya diambil dari oven dan didinginkan dalam desikator
- Cetakkan beserta contoh tanah kering ditimbang (W_3)
- Tanah kering dikeluarkan dari cetakkan dan diukur volumenya dengan menggunakan air raksa (V_0)

3) Perhitungan

a) Susut linier

$$\text{Susut linier} = \left(1 - \frac{\text{panjang contoh tanah kering}}{\text{panjang contoh tanah basah}} \right) \times 100 \%$$

b) Susut volumerik

$$SL = W - \left(\frac{V - V_0}{W_3 - W_1} \right) \times 100\%$$

dimana = SL = batas susut

W = kadar air

$$= \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

V = volume tanah mula-mula = volume cetakkan

V_0 = volume tanah kering

W_1 = berat cetakkan

W_2 = berat cetakkan + tanah basah

W_3 = berat cetakkan + tanah kering

d. Hasil pengujian dilaboratorium

Dari pengujian dilaboratorium didapat hasil :

Batas cair (LL) = 81,50 %

Batas plastis (PL) = 36,68 %

Batas susut (SL) = 17,56 %

Index plastisitas (IP)= 44,82 %

Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran A – 3.

4.2. Pengujian karakteristik mekanik material

4.2.1. Pengujian pemadatan

a. Alat

Pengujian pemadatan menggunakan pemadatan standar dengan menggunakan alat :

Volume cetakan = 943 cm³

Diameter cetakan = 10,16 cm

Berat pemukul = 2,50 kg

Tinggi jatuh = 30,48 cm

Jumlah lajur = 3

Jumlah pukulan/lapis = 25

b. Persiapan benda uji

- 1) Benda uji yang lolos saringan no. 4 dibuat 6 (enam) bagian tiap bagian beratnya 2,5 kg.
- 2) Tiap bagian diberi air dengan jumlah yang berbeda, diaduk hingga rata.

3) Masing-masing benda uji dimasukkan dalam kantong plastik, didiamkan selama 1 malam agar kadar airnya merata.

c) Pelaksanaan pengujian

1) Cetakan dengan keping alasnya ditimbang.

2) Salah satu dari keenam benda uji diambil dan dipadatkan dalam cetakan dengan cara sebagai berikut :

- Tanah dipadatkan dalam 3 lapisan
- Tiap lapisan dipadatkan dengan pemukul standar sebanyak 25 kali pukulan
- Perbedaan tebal masing-masing lapis tidak boleh lebih besar dari 0,5 cm
- Tinggi total tiga lapisan minimal sama dengan tinggi cetakan dan maksimal 0,50 cm diatas cetakan.

4) Dengan plat baja (skraper) kelebihan tanah diratakan dengan permukaan cetakan.

4) Cetakan beserta keping alasnya dan tanah didalamnya ditimbang.

5) Tanah dikeluarkan dan diambil sebagian untuk dicari kadar airnya.

6) Pekerjaan tersebut diulangi terhadap kelima benda uji lainnya.

d. Perhitungan

1) Berat isi tanah basah dihitung

$$\gamma_m = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

dimana γ_m = berat isi tanah basah

M_1 = berat cetakan + keping alas

M_2 = berat cetakan + keping alas + tanah

V = volume cetakan

2) Kadar airnya dihitung

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1}$$

dimana W = kadar air

W_1 = berat cawan

W_2 = berat cawan + tanah basah

W_3 = berat cawan + tanah kering

3) Berat isi kering dihitung

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + W}$$

dimana γ_d = berat isi kering

γ_m = berat isi basah

W = kadar air

4) Digambar grafik hubungan antara berat isi kering (γ_d) dengan kadar air (W) untuk masing-masing pengujian untuk mendapatkan γ_d maximum dan W optimum.

5) Gambarkan garis ZAVC dengan persamaan :

$$\gamma_a = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + W \cdot G_s}$$

dimana G_s = berat jenis tanah

γ_w = berat jenis air

W = kadar air

Pengujian pemadatan ini dilakukan pada setiap variasi campuran abu layang.

e. Hasil pengujian dilaboratorium

Dari pengujian dilaboratorium didapat :

Campuran 0 % abu layang	: Berat isi kering maksimum = 1,309 gram/cm ³
	Kadar air optimum = 36,50 %
	Spesific gravity = 2,63
Campuran 5 % abu layang	: Berat isi kering maksimum = 1,271 gram/cm ³
	Kadar air optimum = 38,30 %
	Spesific gravity = 2,60
Campuran 10 % abu layang	: Berat isi kering maksimum = 1,223 gram/cm ³
	Kadar air optimum = 41,00%
	Spesific gravity = 2,56
Campuran 15 % abu layang	: Berat isi kering maksimum = 1,190 gram/cm ³
	Kadar air optimum = 41,75%
	Spesific gravity = 2,54
Campuran 20 % abu layang	: Berat isi kering maksimum = 1,170 gram/cm ³
	Kadar air optimum = 43,80%
	Spesific gravity = 2,50
Campuran 25 % abu layang	: Berat isi kering maksimum = 1,122 gram/cm ³
	Kadar air optimum = 45,50%
	Spesific gravity = 2,45

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C

4.2.2. Pengujian pengembangan

a) Persiapan benda uji

- 1) Benda uji yang lolos saringan no. 4 diambil seberat 5 kg.
- 2) Diberi air hingga kandungan airnya optimal
- 3) Diaduk-aduk, dimasukkan dalam kantong plastik dan didiamkan 1 malam supaya kadar airnya rata

b) Pelaksanaan pengujian

- 1) Benda uji dipadatkan dengan prosedur sama seperti pengujian pemadatan dengan spesifikasi :

Volume cetakkan = 2124 cm³

Diameter cetakan = 152,4 cm

Tinggi cetakan = 11,643 cm

Berat pemukul = 2,5 kg

Tinggi jatuh = 30,48 cm

Jumlah lapis = 3

Jumlah pukulan/lapis = 56

- 2) Cetakan dan benda uji di dalamnya yang telah dipadatkan ditimbang, kemudian direndam
- 3) Pengembangan diamati pada waktu 15, 30 menit, 1, 2, 3, 4 jam, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 hari.
- 4) Benda uji diambil didiamkan sebentar, kemudian cetakan dan benda uji ditimbang setelah direndam.

c) Perhitungan

1) Berat tanah setelah dipadatkan :

$$W_3 = W_2 - W_1$$

dimana W_1 = berat cetakan

W_2 = berat cetakan + tanah

W_3 = berat tanah

2) Berat tanah setelah direndam :

$$W_5 = W_4 - W_1$$

dimana W_4 = berat cetakan + tanah setelah direndam

W_5 = berat tanah setelah direndam

3) Berat air absorpsi (W_6) = $W_5 - W_3$

4) Prosen pengembangan = $\frac{\Delta h}{h_0} \times 100\%$

dimana Δh = tinggi pengembangan

h_0 = tinggi benda uji semula

t = tinggi cetakan

Pengujian pengembangan ini dilakukan pada setiap variasi campuran abu layang.

d. Hasil pengujian dilaboratorium

Dari pengujian dilaboratorium didapat hasil :

Campuran 0 % abu layang : Prosen absorsi = 11,26 %

Prosen pengembangan = 16,73 %

Campuran 5 % abu layang	: Prosen absorsi	= 9,09 %
	Prosen pengembangan	= 13,01 %
Campuran 10 % abu layang	: Prosen absorsi	= 8,29 %
	Prosen pengembangan	= 10,02 %
Campuran 15 % abu layang	: Prosen absorsi	= 6,85 %
	Prosen pengembangan	= 7,61 %
Campuran 20 % abu layang	: Prosen absorsi	= 5,33 %
	Prosen pengembangan	= 5,25%
Campuran 25 % abu layang	: Prosen absorsi	= 4,72 %
	Prosen pengembangan	= 2,91%

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D

4.2.3. Pengujian permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan pada kepadatan 70%, 80%, 90% dan 100% untuk setiap variasi campuran. Pengujian dilakukan menggunakan cara tinggi energi turun (*Falling head*)

a. Prosedur pengujian

- 1) Benda uji dimasukkan kedalam permeameter dengan kepadatan yang diharapkan dalam hal ini ditentukan dalam prosentase berat isi kering maximum. Permukaan atas dan permukaan bawahnya dipasang kertas filter dan batu pori
- 2) Permeameter yang telah berisi benda uji diletakkan pada tempat pengujian dan dihubungkan dengan buret.

- 2) Permeameter yang telah berisi benda uji diletakkan pada tempat pengujian dan dihubungkan dengan buret.
- 3) Buret diisi air dan kran dibuka agar air mengalir melalui benda uji.
- 4) Diamkan dalam beberapa saat agar benda uji jenuh dan biarkan air keluar melalui lubang pengeluaran yang ada dibawah permeameter.
- 5) Setelah air yang keluar konstant, buret diisi air kembali hingga ketinggian tertentu, baca ketinggian air (h_0) sambil menghidupkan stopwach.
- 6) Setelah waktu tertentu (t) dibaca kembali ketinggian air dalam buret (h_1) begitu seterusnya.
- 7) Air yang keluar melalui lubang pengeluaran ditampung dalam gelas ukur untuk diukur volumenya dan suhu airnya.

b. Perhitungan

- 1) Koefisien permeabilitas pada temperatur pengujian dihitung dengan rumus :

$$K_T = 2,303 \cdot \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_0}{h_1} \text{ cm/dt}$$

dimana K_T = Koefisien permeabilitas pada suhu $T^\circ\text{C}$

a = Luas permukaan buret

L = Panjang benda uji (cm)

A = Luas penampang benda uji dalam permea meter (cm^2)

T = Waktu berlangsungnya pembacaan antara h_0 dan h_1 (detik)

h_0 = Tinggi air di buret pada awal pengujian ($t=0$)

h_1 = Tinggi air di buret pada akhir pengujian ($t=t_{uji}$)

2) Koefisien permeabilitas pada temperatur 20° C dihitung dengan rumus :

$$k_{20} = kr \cdot \frac{\eta_r}{\eta_{20}}$$

dimana k_{20} = Koefisien permeabilitas pada temperatur 20° C

η_T = Viscositas air pada temperatur T° C

η_{20} = Viscositas air pada temperatur 20° C

c. Hasil pengujian dilaboratorium

Dari pengujian dilaboratorium didapat besarnya koefisien permeabilitas (k) :

Campuran 0% abu layang : k = 2,037.10⁻⁶ cm/dt untuk kepadatan 100%

k = 5,076.10⁻⁶ cm/dt untuk kepadatan 90%

k = 1,767.10⁻⁵ cm/dt untuk kepadatan 80%

k = 8,585.10⁻⁵ cm/dt untuk kepadatan 70%

Campuran 5% abu layang : k = 3,557.10⁻⁶ cm/dt untuk kepadatan 100%

k = 8,810.10⁻⁶ cm/dt untuk kepadatan 90%

k = 3,174.10⁻⁵ cm/dt untuk kepadatan 80%

k = 1,497.10⁻⁴ cm/dt untuk kepadatan 70%

Campuran 10% abu layang : k = 7,254.10⁻⁶ cm/dt untuk kepadatan 100%

k = 1,824.10⁻⁵ cm/dt untuk kepadatan 90%

k = 6,435.10⁻⁵ cm/dt untuk kepadatan 80%

k = 3,084.10⁻⁴ cm/dt untuk kepadatan 70%

Campuran 15% abu layang : k = 1,833.10⁻⁶ cm/dt untuk kepadatan 100%

k = 4,591.10⁻⁵ cm/dt untuk kepadatan 90%

$k = 1,731 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 80%

$k = 8,151 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 70%

Campuran 20% abu layang : $k = 5,472 \cdot 10^{-5}$ cm/dt untuk kepadatan 100%

$k = 1,377 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 90%

$k = 4,988 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 80%

$k = 2,327 \cdot 10^{-3}$ cm/dt untuk kepadatan 70%

Campuran 25% abu layang : $k = 1,813 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 100%

$k = 4,527 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 90%

$k = 1,720 \cdot 10^{-3}$ cm/dt untuk kepadatan 80%

$k = 8,623 \cdot 10^{-4}$ cm/dt untuk kepadatan 70%

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran E

4.2.4. Pengujian kuat geser

Pengujian kuat geser dilakukan dengan uji geser langsung.

a. Persiapan benda uji :

- 1) Benda uji dipadatkan pada cincin pengujian dengan kadar air optimum, hingga kepadatan maximum.
- 2) Benda uji dibuat 3 buah untuk setiap variasi campuran abu layang.

b. Pelaksanaan pengujian

- 1) Benda uji dimasukkan dalam kotak geser.
- 2) Diberi beban normal untuk sample 1 sebesar 5 kg, sample 2 sebesar 10 kg, sample 3 sebesar 15 kg.

- 3) Setelah diberi beban normal segera dilakukan penggeseran benda uji dengan kecepatan geser konstan sebesar 2 mm per menit dengan cara memutar stang geser.
- 4) Selama penggeseran dibaca arloji proving ring beban geser dan arloji geser pada setiap 15 detik atau setiap benda uji bergeser 0,5 mm.
- 5) Penggeseran dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan.

c. Perhitungan

- 1) Gaya geser dihitung dengan cara mengalikan pembacaan proving ring dengan angka kalibrasi.
- 2) Tegangan geser pada setiap pembacaan dihitung :

$$\tau = \frac{P_H}{A}$$

dimana : τ = tegangan geser

P_H = gaya geser

A = luas penampang geser

- 3) Digambar grafik hubungan antara tegangan geser dan pergeseran
- 4) Tegangan geser maximum dihitung
- 5) Tegangan normal dihitung :

$$\sigma = \frac{P_V}{A}$$

dimana : σ = tegangan normal

P_V = gaya normal

A = luas penampang benda uji

- 6) Digambar grafik hubungan antara tegangan geser maximum dan tegangan normal dimana tegangan normal sebagai absis dan tegangan geser maximum sebagai ordinat, sehingga akan didapat 3 buah titik.
- 7) Dari ketiga titik tersebut dibentuk garis lurus yang memotong sumbu vertikal (τ) pada harga kohesi (C) dan memotong sumbu horisontal (σ) dengan sudut geser dalam (ϕ) sesuai persamaan :

$$\tau = C + \sigma \cdot \tan \phi$$

dimana : τ = tegangan geser

σ = tegangan normal

C = kohesi tanah

ϕ = sudut geser dalam

Pengujian kuat geser ini dilakukan pada setiap variasi campuran abu layang.

d. Hasil pengujian dilaboratorium.

Dari pengujian dilaboratorium didapat hasil :

Campuran 0 % abu layang : Kohesi = 0,360 kg/cm²

Sudut geser dalam = 9⁰

Campuran 5 % abu layang : Kohesi = 0,310 kg/cm²

Sudut geser dalam = 11⁰

Campuran 10 % abu layang : Kohesi = 0,265 kg/cm²

Sudut geser dalam = 14⁰

Campuran 15 % abu layang : Kohesi = 0,240 kg/cm²

Sudut geser dalam = 16⁰

Campuran 20 % abu layang : Kohesi = 0,210 kg/cm²

Sudut geser dalam = 18⁰

Campuran 25 % abu layang : Kohesi = 0,175 kg/cm²

Sudut geser dalam = 19⁰

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F

4.2.5. Pengujian batas susut

Pengujian batas susut dilakukan pada pengujian batas susut linier dan pengujian batas susut volumerik. Prosedur pengujian sama seperti yang diuraikan pada 4.1.5. C . Pengujian batas susut ini dilakukan pada setiap variasi campuran abu layang.

Dari pengujian dilaboratorium didapat hasil :

Campuran 0 % abu layang : Susul linier = 20,03 %

Susut volumerik = 24,65 %

Campuran 5 % abu layang : Susul linier = 18,74 %

Susut volumerik = 23,07 %

Campuran 10 % abu layang : Susul linier = 17,77 %

Susut volumerik = 21,96 %

Campuran 15 % abu layang : Susul linier = 16,02 %

Susut volumerik = 21,06 %

Campuran 20 % abu layang : Susul linier = 15,40 %

Susut volumerik = 20,74 %

Campuran 25 % abu layang : Susul linier = 15,19 %

Susut volumerik = 19,92 %

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran G

4.3. Kalibrasi

Seperti diuraikan dalam Bab III bahwa sebelum melakukan pengujian rembesan dari beberapa variasi campuran abu layang terlebih dahulu dilakukan kalibrasi tabung piezometer dan debit rembesan menggunakan model timbunan tanah asli dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan menggunakan rumus.

4.3.1. Kalibrasi tabung piezometer.

a. Ketinggian air dari hasil pengukuran.

Ketinggian air pada tabung piezometer dari hasil pengukuran untuk tanah asli yang dipadatkan hingga kepadatan 80% seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Ketinggian air pada tabung piezometer hasil pengukuran.

No	Tabung Piezometer	Jarak dari dasar timbunan sebelah hilir Cm	Tinggi air hasil pengukuran Cm
1	h_1	140	50,0
2	h_7	80	43,2
3	h_8	70	41,0
4	h_9	60	38,9
5	h_{10}	50	35,2
6	h_{11}	40	31,9
7	h_{12}	30	27,4
8	h_{13}	20	19,8
9	h_{14}	10	9,8

b. Ketinggian air hasil perhitungan

Ketinggian air pada tabung piezometer dihitung menggunakan rumus:

$$h_p = 2 (p^2 + px)^{0.5} \quad (\text{persamaan 2.18 halaman 27})$$

$$p = 0.5[(d^2 + H^2)^{0.5} - d]$$

$$d = L_3 + L_2 + 0,3 L_1$$

$$= 50 + 40 + 0,3 \cdot 50$$

$$= 105 \text{ cm}$$

H = 50 cm maka

$$P = 5,6485 \text{ cm}$$

Tabel 4.2. Ketinggian air pada tabung piezometer hasil perhitungan.

No	Tabung Piezometer	Jarak dari dasar timbunan sebelah hilir Cm	Tinggi air hasil perhitungan Cm
1	h ₆	90	46,5
2	h ₇	80	44,0
3	h ₈	70	41,3
4	h ₉	60	38,5
5	h ₁₀	50	35,5
6	h ₁₁	40	32,1
7	h ₁₂	30	28,4
8	h ₁₃	20	24,1
9	h ₁₄	10	9,8

c. Angka kalibrasi tabung piezometer

Besarnya angka kalibrasi tabung piezometer adalah perbandingan ketinggian air hasil pengukuran dengan ketinggian air hasil perhitungan rumus seperti terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Angka kalibrasi tabung piezometer.

No	Tabung Piezometer	Tinggi air hasil pengukuran Cm	Tinggi air hasil perhitungan Cm	Angka Kalibrasi
1	h_1	50,0		
2	h_7	43,2	44,0	0,98
3	h_8	41,0	41,3	0,99
4	h_9	38,9	38,5	1,01
5	h_{10}	35,2	35,5	0,99
6	h_{11}	31,9	32,1	0,99
7	h_{12}	27,4	28,4	0,96
8	h_{13}	19,8	24,1	0,82
9	h_{14}	9,8	9,8	1,00
Rata rata				0,97

4.3.2. Kalibrasi Debit Rembesan

a. Debit rembesan hasil pengukuran

Hasil pengukuran debit rembesan pada model inti bendungan untuk tanah tanpa campuran yang dipadatkan hingga kepadatan 80% seperti terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran Debit Rembesan

No. Test	Temperatur (°C)	Waktu	Vol. air pd. Gelas ukur
1	29 °C	1800 detik	103 ml
2	29 °C	1800 detik	105 ml
3	29 °C	1800 detik	105 ml
4	29 °C	1800 detik	104 ml
5	29 °C	1800 detik	105 ml
6	29 °C	1800 detik	104 ml
7	29 °C	1800 detik	104 ml
8	29 °C	1800 detik	105 ml
9	29 °C	1800 detik	105 ml
10	29 °C	1800 detik	105 ml
Rata rata	29 °C	1800 detik	104.5 ml

Besarnya debit rembesan hasil pengukuran adalah:

$$Q_p = V_r/t_r = 104,5/1800 = 0,058 \text{ ml/detik}$$

Besarnya debit rembesan persatuan lebar hasil pengukuran adalah:

$$q_p = Q_p/b = 0,058/0,18 = 0,3225 \text{ ml/dt/m}$$

b. Debit Rembesan Hasil Perhitungan

Besarnya debit rembesan persatuan lebar untuk tanah tanpa campuran, dihitung menggunakan rumus 2.16 halaman 26 dengan nilai koefisien permeabilitas (k) pada kepadatan 80% diambil dari pengujian falling head adalah:

$$q_h = k.a.\sin^2 \alpha$$

k untuk tanah tanpa campuran dengan kepadatan 80% pada suhu 20 °C

$$= 2,171.10^{-5} \text{ cm/detik}$$

a dihitung dengan persamaan 2.17 halaman 27

$$a = (d^2 + H^2)^{0.5} - (d^2 - H^2 \cot^2 \alpha)^{0.5}$$

dimana $d = 105 \text{ cm}$, $H = 50 \text{ cm}$ dan $\alpha = 45^\circ$

maka $a = 23,97 \text{ cm}$

Besarnya debit rembesan persatuan lebar :

$$qh = 1,171 \cdot 10^{-5} \cdot 23,97 \cdot \sin^2 45^\circ$$

$$= 2,602 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$$

$$= 0,2602 \text{ ml}/\text{dt}/\text{m}$$

c. Angka Kalibrasi Debit Rembesan (Kd)

Besarnya angka kalibrasi debit rembesan adalah:

$$Kd = qp/qh$$

$$= 0,3225/0,2602 = 1,24$$

Dengan angka kalibrasi rata-rata tabung piezometer sebesar 0,97 dan angka kalibrasi debit rembesan sebesar 1,24 dianggap penelitian dapat dilakukan.

4.4. Pengujian rembesan

Pengujian debit rembesan dilakukan dengan membuat model timbunan. Pengujian dilakukan pada setiap variasi campuran abu layang.

Adapun langkah pengujiannya adalah :

4.4.1. Pencetakan benda uji

a. Ukuran benda uji

Model dibuat langsung pada alat tank permeabilitas dengan ukuran :

Tinggi = 55 cm

Lebar puncak = 30 cm

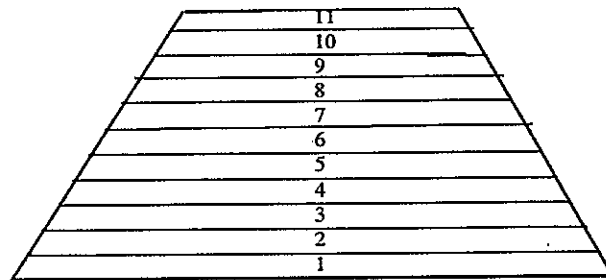
Lebar dasar = 140 cm

Panjang = 18 cm

Kemiringan talud = 1:1

b. Pemadatan benda uji

Pemadatan benda uji dilakukan dengan menggunakan penumbuk pemadatan standard dengan berat 2,5 kg dan tinggi jatuh 30,48 cm. Pemadatan dilakukan per lapisan dengan tebal lapisan 5 cm, pemadatan dilakukan pada kondisi kadar air optimum dengan nilai kepadatan 80% dari kepadatan maximum.



Gambar 4.1 Lapisan pemadatan

Untuk mendapatkan kepadatan yang seragam maka berat tanah yang akan dipadatkan pada setiap lapisnya ditentukan beratnya.

Tabel 4.5. Berat tanah per lapis yang akan dipadatkan

No.	Lapisan	Volume Timbunan Cm ³	Berat Tanah Gr
1	1	12150	12150 x 80% γ_m
2	2	11250	11250 x 80% γ_m
3	3	10350	10350 x 80% γ_m
4	4	9450	9450 x 80% γ_m
5	5	8550	8550 x 80% γ_m
6	6	7650	7650 x 80% γ_m
7	7	6750	5850 x 80% γ_m
8	8	5850	4950 x 80% γ_m
9	9	4950	4050 x 80% γ_m
10	10	4050	3150 x 80% γ_m
11	11	3150	

4.4.2. Pelaksanaan pengujian

Setelah benda uji terbentuk sesuai dengan ukuran yang ditentukan kemudian dilakukan pengujian dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mengisi air tank permeabilitas pada bagian hulu benda uji hingga ketinggian 50 cm.
- b. Didiamkan untuk beberapa waktu hingga terjadi aliran pada tubuh benda uji dengan menjaga ketinggian air di hulu tetap konstan.
- c. Diamati air yang keluar dari out late.
- d. Jika air yang keluar dari out late sudah konstan dilakukan pengukuran debit air yang keluar dengan cara mengukur volume air yang keluar dengan menggunakan gelas ukur dan mengukur waktunya untuk mendapatkan volume air tertentu dengan menggunakan stopwatch.
- e. Dilakukan juga pengamatan dan pengukuran tinggi air pada tabung piezometer.
- f. Setiap pengukuran temperatur air diukur.

4.4.3. Perhitungan

- a. Debit air yang keluar (Q)

$$Q = \frac{V}{t}$$

dimana Q = debit air yang keluar dari out late

V = volume air saat pengukuran di gelas ukur

T = waktu lamanya pengukuran.

- b. Debit per satuan lebar (q)

$$q = \frac{Q}{b}$$

dimana q = debit per satuan lebar

Q = debit aliran yang keluar out late

b = lebar benda uji

- c. Koefisien permeabilitas dihitung dengan rumus :

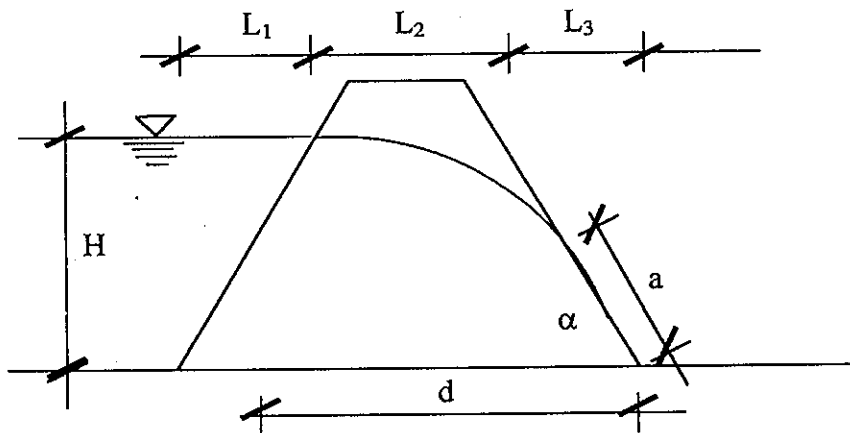
$$k_T = \frac{q}{a \cdot \sin^2 \alpha}$$

dimana k_T = koefisien permeabilitas pada suhu T

q = debit per satuan lebar

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{d^2 - H^2 \cdot \text{ctg}^2 \alpha}$$

$$d = L_3 + L_2 + 0,3 L_1$$



Gambar 4.2. Penampang melintang benda uji

α = sudut kemiringan lereng

H = ketinggian air dihulu

Pengujian permeabilitas dilakukan pada setiap variasi campuran abu layang.

4.4.4. Hasil pengujian dilaboratorium.

Dari pengujian di laboratorium didapat hasil :

Campuran 0 % abu layang : Debit rembesan = $5,80 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{dt}$

Koefisien permeabilitas = $2,17 \cdot 10^{-5} \text{ cm}/\text{dt}$

$h_7=43,2\text{cm}$, $h_8=41,0\text{cm}$, $h_9=38,9\text{cm}$, $h_{10}=35,2\text{cm}$,

$h_{11}=31,9\text{cm}$, $h_{12}=27,4\text{cm}$, $h_{13}=19,8\text{cm}$, $h_{14}=9,8\text{cm}$

Campuran 5 % abu layang : Debit rembesan = $1,04 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}$

Koefisien permeabilitas = $3,94 \cdot 10^{-5} \text{ cm}/\text{dt}$

$h_7=43,7\text{cm}$, $h_8=41,4\text{cm}$, $h_9=39,1\text{cm}$, $h_{10}=35,6 \text{ cm}$,

$h_{11}=32,1\text{cm}$, $h_{12}=27,4\text{cm}$, $h_{13}=19,8\text{cm}$, $h_{14}=9,8 \text{ cm}$

Campuran 10 % abu layang : Debit rembesan = $2,30 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}$

Koefisien permeabilitas = $8,69 \cdot 10^{-5} \text{ cm}/\text{dt}$

$h_7=44,2\text{cm}$, $h_8=41,7\text{cm}$, $h_9=39,2\text{cm}$, $h_{10}=36,1\text{cm}$,

$h_{11}=32,4\text{cm}$, $h_{12}=27,5\text{cm}$, $h_{13}=19,8\text{cm}$, $h_{14}=9,9 \text{ cm}$.

Campuran 15 % abu layang: Debit rembesan = $5,69 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}$

Koefisien permeabilitas = $2,15 \cdot 10^{-4} \text{ cm}/\text{dt}$

$h_7=44,7\text{cm}$, $h_8=42,0\text{cm}$, $h_9=39,5\text{cm}$, $h_{10}=36,5\text{cm}$,

$h_{11}=32,7\text{cm}$, $h_{12}=27,5\text{cm}$, $h_{13}=19,9\text{cm}$, $h_{14}=9,9 \text{ cm}$.

Campuran 20 % abu layang: Debit rembesan = $1,62 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}$

Koefisien permeabilitas = $6,11 \cdot 10^{-4} \text{ cm}/\text{dt}$

$h_7=45,5\text{cm}$, $h_8=42,3\text{cm}$, $h_9=39,7\text{cm}$, $h_{10}=36,9\text{cm}$,

$h_{11}=32,9\text{cm}$, $h_{12}=27,5\text{cm}$, $h_{13}=20,0\text{cm}$, $h_{14}=9,9 \text{ cm}$.

Campuran 25 % abu layang: Debit rembesan = $4,90 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}$

Koefisien permeabilitas = $1,85 \cdot 10^{-3} \text{ cm}/\text{dt}$

$h_7=46,1\text{cm}$, $h_8=42,7\text{cm}$, $h_9=39,8\text{cm}$, $h_{10}=37,3\text{cm}$,

$h_{11}=33,1\text{cm}$, $h_{12}=27,5\text{cm}$, $h_{13}=20,0\text{cm}$, $h_{14}=9,9 \text{ cm}$.

Adapun hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran H

BAB V

ANALISA DAN PEMBABASAN

5.1. Analisa Hasil Pengujian

5.1.1. Pengujian karakteristik fisik tanah

Pengujian karakteristik fisik tanah untuk contoh tanah yang digunakan dalam penelitian meliputi pengujian index properties, pengujian analisa butiran dan pengujian batas-batas konsistensi.

Dari hasil analisa pengujian di dapat hasil seperti terlihat dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil Pengujian karakteristik Fisik Tanah

No.	Pengujian	Simbol	Satuan	Hasil Uji
I.	Index Properties			
	1. Kadar air alami	W	%	44,41
	2. Berat isi basah alami	γ_m	gr/cm ³	1,671
	3. Spesific gravity	Gs	-	2,634
	4. Berat isi kering	γ_d	gr/cm ³	1,157
	5. Angka pori	e		1,276
	6. Porositas	n		0,561
	7. Derajat kejenuhan	Sr	%	91,67
II.	Batas Konsistensi			
	1. Batas cair	LL	%	81,50
	2. Batas plastis	PL	%	36,68
	3. Batas susut	SI	%	17,56
	4. Index plastisitas	PL	%	44,82
III.	Analisa Butiran			
	1. Lolos saringan no. 10		%	99,78
	2. Lolos saringan no. 40		%	92,93
	3. Lolos saringan no. 200		%	79,01

5.1.2. Pengujian karakteristik mekanik

Pengujian karakteristik mekanik meliputi pengujian pemadatan, pengembangan, permeabilitas, kuat geser, batas susut.

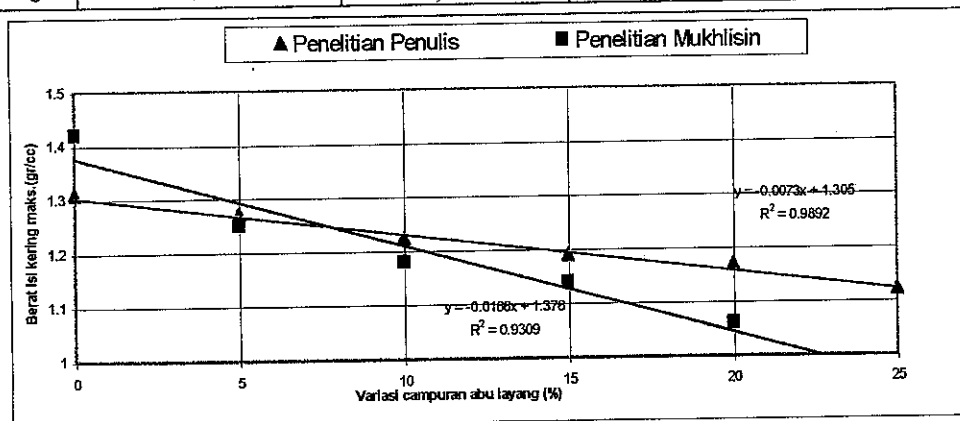
Dari hasil analisa pengujian di dapat hasil sebagai berikut :

a). Pengujian pemadatan

Dari pengujian pemadatan didapat besarnya berat isi kering maximum (γ_d max), kadar air optimum (W_{opt}) dan specific gravity untuk masing-masing variasi campuran seperti terlihat pada Tabel 5.2

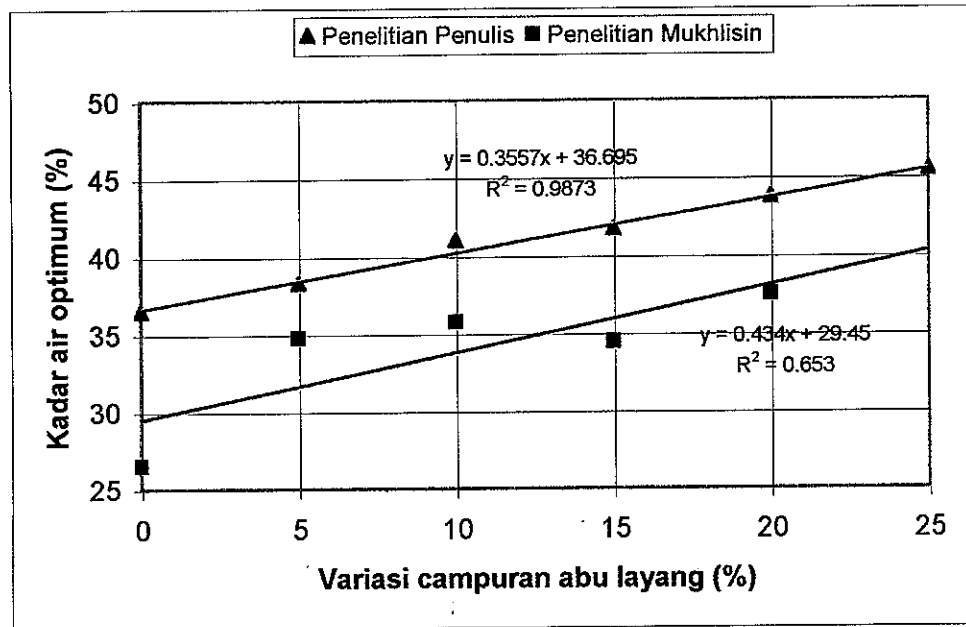
Tabel 5.2. Hasil pengujian pemadatan

No.	Variasi Campuran abu layang %	Berat isi kering max. gr/cm^3	Kadar air optimum %	Specific gravity Gs
1	0	1,309	36,50	2,63
2	5	1,271	38,30	2,60
3	10	1,223	41,00	2,56
4	15	1,190	41,75	2,54
5	20	1,170	43,80	2,50
6	25	1,122	45,50	2,45



Gambar 5.1. Grafik γ_d max dengan % variasi campuran abu layang.

Hasil penelitian (Mukhlisin 2001) tentang perbaikan tanah lempung dengan fly ash didapat persamaan : $y = - 0.0166 X + 1.376$ dan $R^2 = 0.9309$



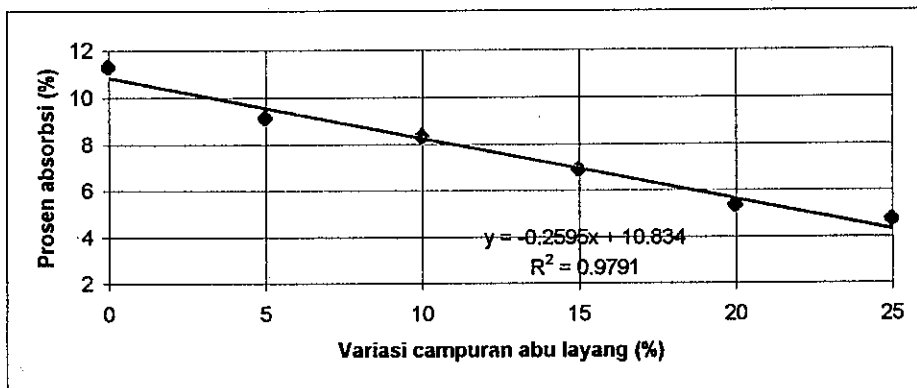
Gambar 5.2. Grafik kadar air optimum dan % campuran abu layang
 Hasil penelitian (Mukhlisin 2001) tentang perbaikan tanah lempung dengan fly ash didapat persamaan : $y = 0.434 X + 29.45$ dan $R^2=0.653$

b) Pengujian pengembangan

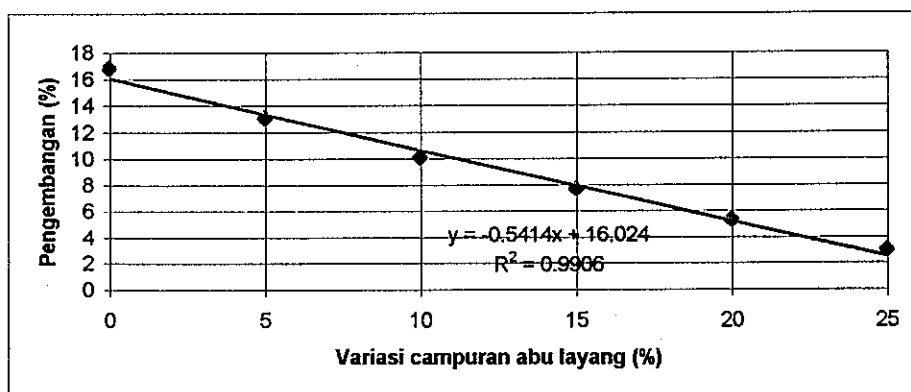
Dari pengujian pengembangan didapat besarnya prosen absorsi dan prosen pengembangan seperti terlihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil pengujian pengembangan

No.	Variasi campuran abu layang %	Prosen absorsi %	Prosen pengembangan %
1	0	11,26	16,73
2	5	9,09	13,01
3	10	8,29	10,02
4	15	6,85	7,61
5	20	5,33	5,25
6	25	4,72	2,91



Gambar 5.3. Grafik hubungan absorpsi dengan variasi camp. abu layang



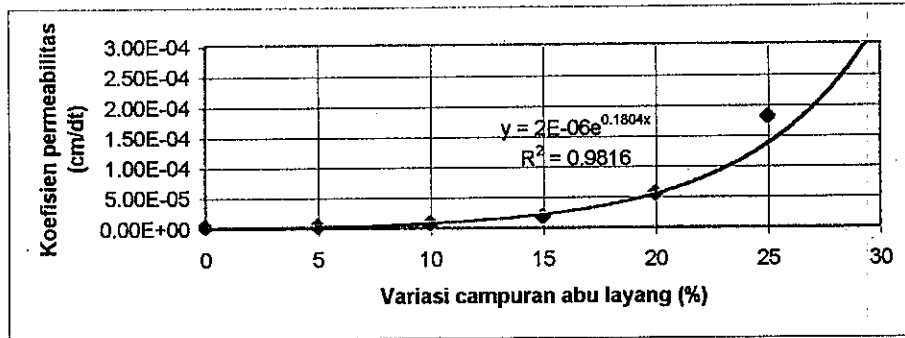
Gambar 5.4. Grafik hub. pengembangan dengan variasi abu layang

c) Pengujian permeabilitas

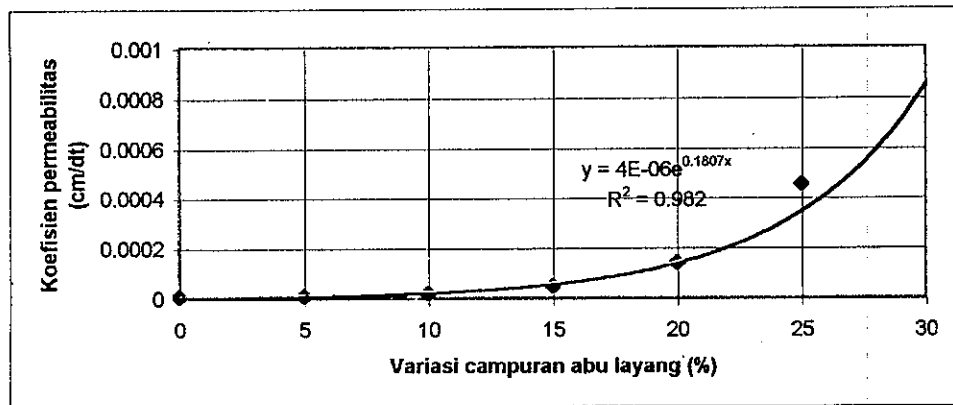
Dari pengujian permeabilitas didapat besarnya koefisien permeabilitas pada kepadatan 70%,80%,90% dan 100% seperti terlihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil pengujian permeabilitas

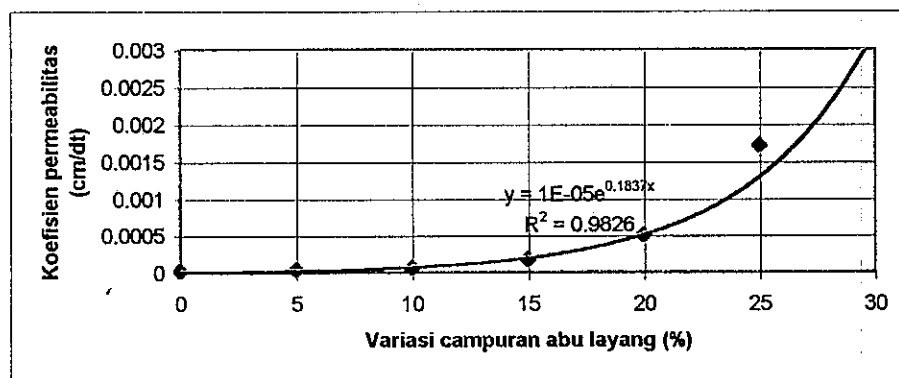
No	Variasi campuran Abu layang	K ₂₀ (cm/dt)			
		100%	90 %	80 %	70 %
1	0	2,037.10 ⁻⁶	5,076.10 ⁻⁶	1,767.10 ⁻⁵	8,583.10 ⁻⁵
2	5	3,557.10 ⁻⁶	8,810.10 ⁻⁶	3,174.10 ⁻⁵	1,497.10 ⁻⁴
3	10	7,254.10 ⁻⁶	1,824.10 ⁻⁵	6,435.10 ⁻⁵	3,084.10 ⁻⁴
4	15	1,833.10 ⁻⁵	4,591.10 ⁻⁵	1,731.10 ⁻⁴	8,151.10 ⁻⁴
5	20	5,472.10 ⁻⁵	1,377.10 ⁻⁴	4,988.10 ⁻⁴	2,327.10 ⁻³
6	25	1,813.10 ⁻⁴	4,527.10 ⁻⁴	1,720.10 ⁻³	8,623.10 ⁻³



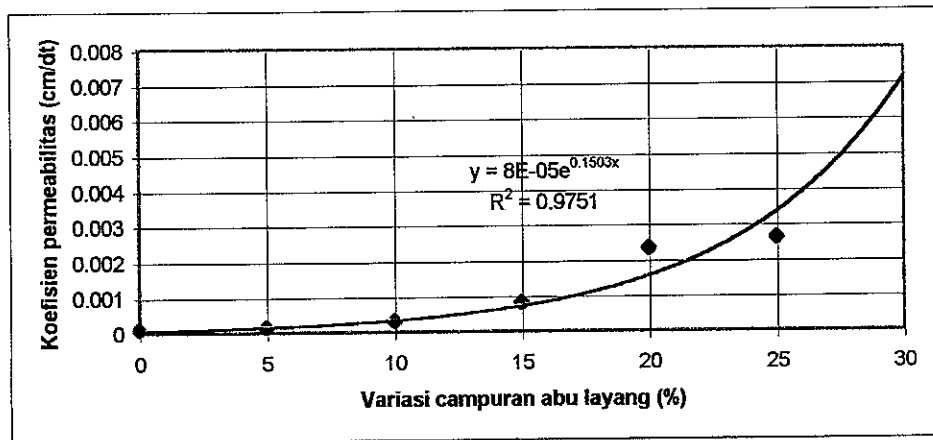
Gambar 5.5. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 100%



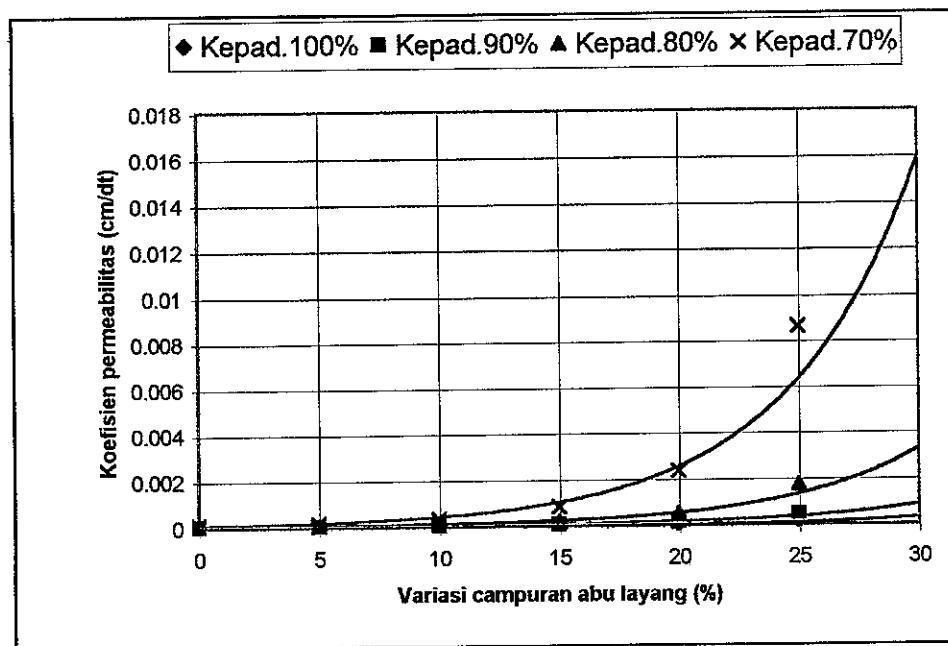
Gambar 5.6. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 90 %



Gambar 5.7. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 80 %



Gambar 5.8. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70 %



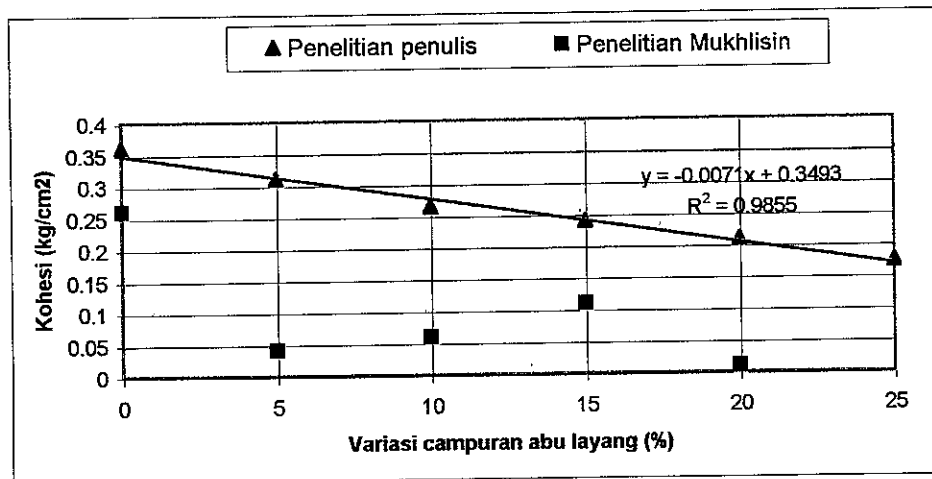
Gambar 5.9. Grafik hubungan antara koefisien permeabilitas dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%, 80%, 90% dan 100%

d) Pengujian kuat geser

Dari pengujian kuat geser didapat besarnya kohesi dan sudut geser dalam dari masing masing variasi campuran abu layang seperti pada Tabel 5.5.

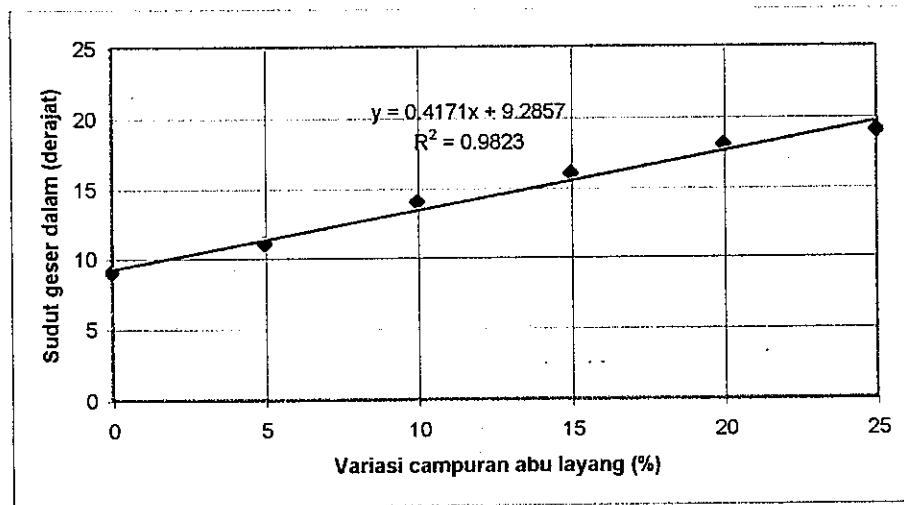
Tabel 5.5. Hasil pengujian kuat geser

No.	Variasi campuran abu layang	Kohesi (c) kg/cm ²	Ø derajat
1	0	0,360	9
2	5	0,310	11
3	10	0,265	14
4	15	0,240	16
5	20	0,210	18
6	25	0,175	19



Gambar 5.10. Grafik hubungan antara kohesi dengan variasi campuran abu layang

Hasil Penelitian (Mukhlisin 2001) tentang perbaikan tanah lempung dengan fly ash didapat persamaan : $Y = -0.0086 X + 0.182$ dan $R^2 = 0.4751$



Gambar 5.11. Grafik hubungan antara sudut geser dalam dengan variasi campuran abu layang

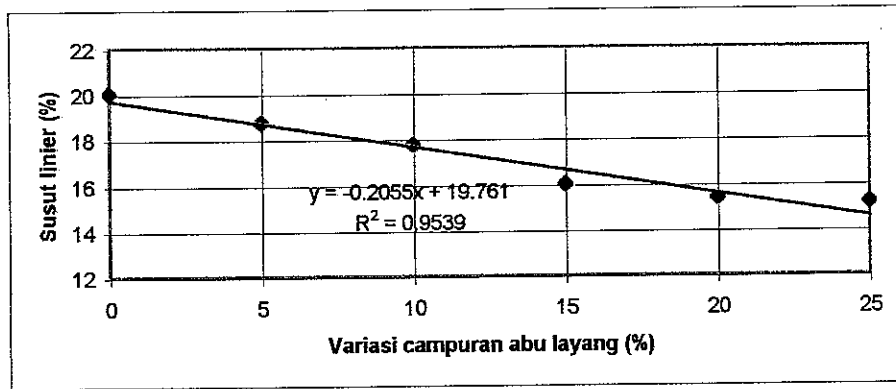
Hasil penelitian (Mukhlisin 2001) tentang perbaikan tanah lempung dengan fly ash didapat persamaan : $Y = 1,291X + 30,585$ dan $R^2 = 0,9039$

e) Pengujian batas susut

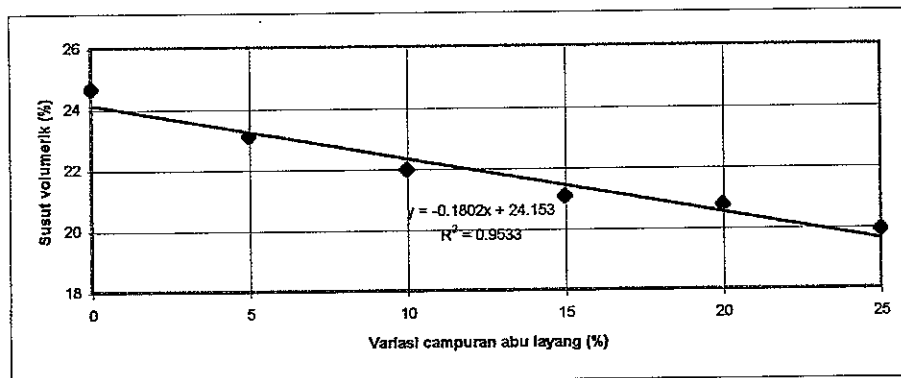
Dari pengujian batas susut didapat besarnya susut linier dan susut volumerik seperti terlihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Hasil pengujian batas susut

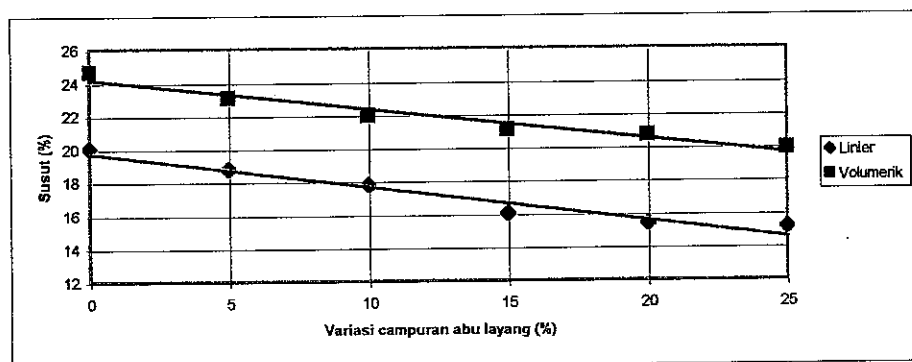
No.	Variasi campuran abu layang	Batas susut	
		Linier %	Volume %
1	0	20,03	24,65
2	5	18,74	23,07
3	10	17,77	21,96
4	15	16,02	21,06
5	20	15,40	20,74
6	25	15,19	19,92



Gambar 5.12. Grafik hubungan antara susut linier dengan variasi campuran abu layang



Gambar 5.13. Grafik hubungan antara susut volumerik dengan variasi campuran abu layang.



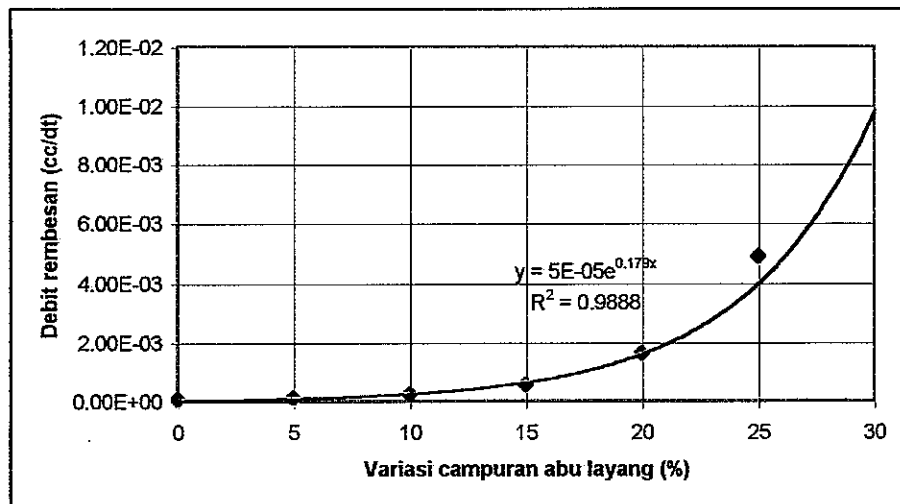
Gambar 5.14. Grafik hubungan antara susut linier, susut volumerik dengan variasi campuran abu layang

5.1.3 Pengujian rembesan

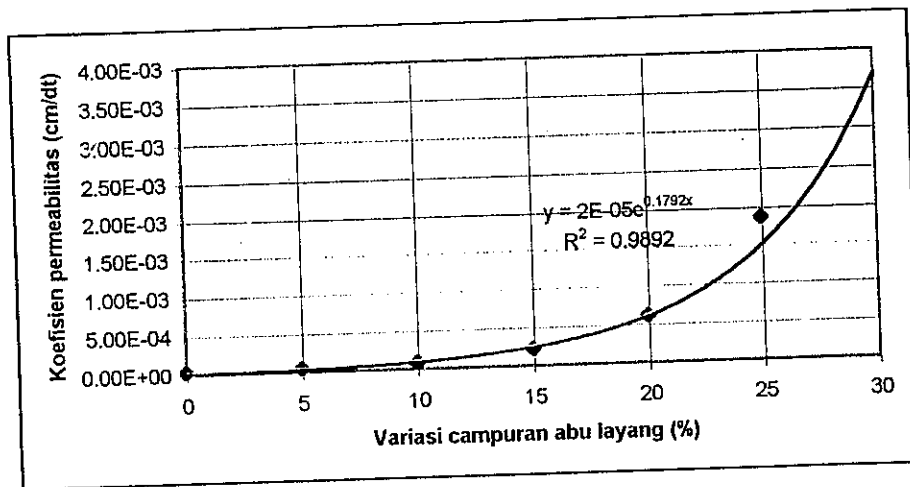
Dari pengujian debit rembesan didapat besarnya debit rembesan, ketinggian garis freatik dan koefisien permeabilitas pada kepadatan 80% untuk masing masing variasi campuran abu layang seperti terlihat pada Tabel 5.7. dan Tabel 5.8.

Tabel 5.7. Debit rembesan dan koef. permeabilitas pada kepadatan 80%

No.	Variasi campuran abu layang	Q cm ³ /dt	k ₂₀ cm/dt
1	0	5,80.10 ⁻⁵	2,17.10 ⁻⁵
2	5	1,04.10 ⁻⁴	3,94.10 ⁻⁵
3	10	2,30.10 ⁻⁴	8,69.10 ⁻⁵
4	15	5,69.10 ⁻⁴	2,15.10 ⁻⁴
5	20	1,62.10 ⁻³	6,11.10 ⁻⁴
6	25	4,90.10 ⁻³	1,85.10 ⁻³



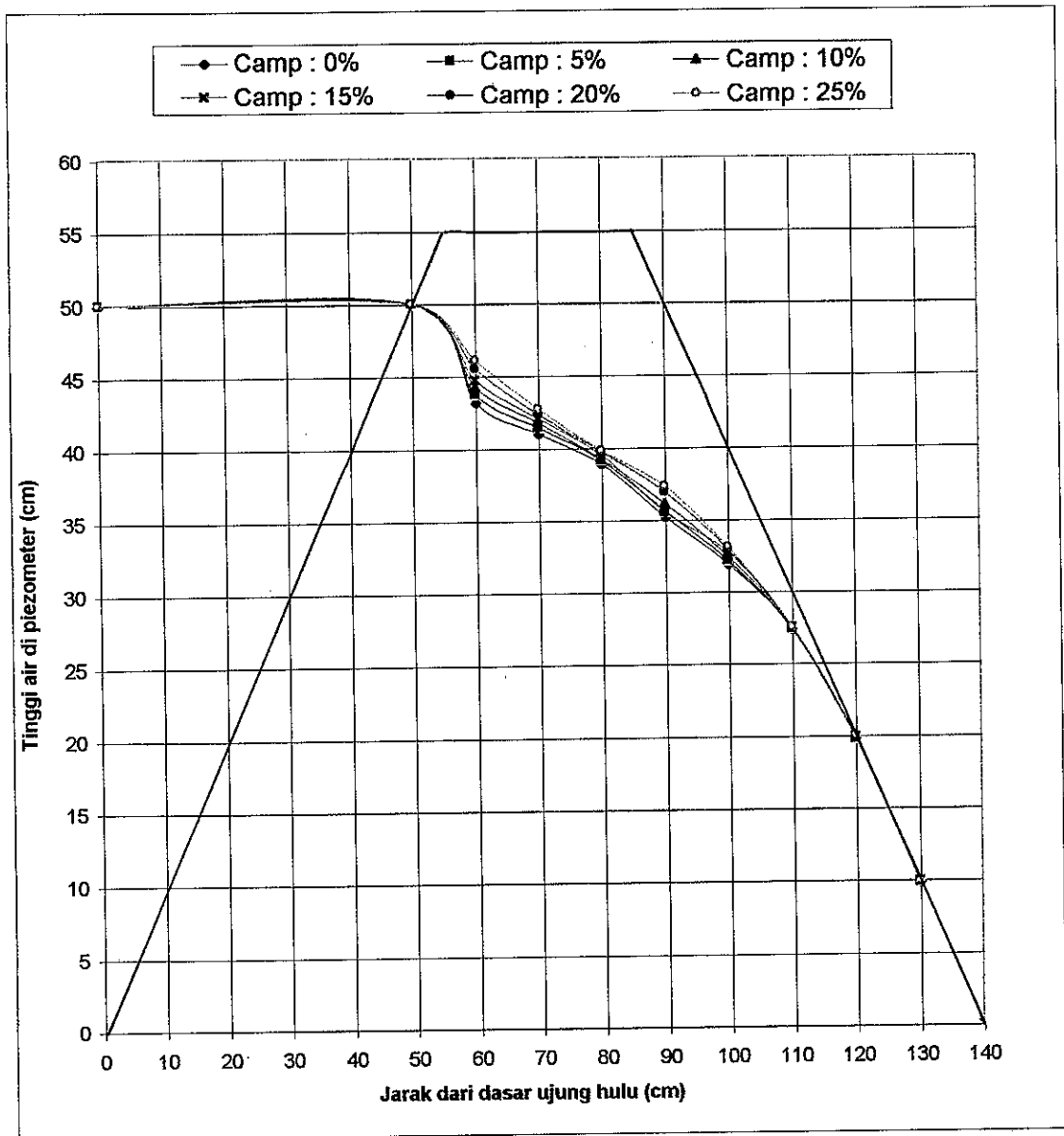
Gambar 5.15 Grafik hubungan antara debit rembesan dengan variasi campuran abu layang.



Gambar 5.16. Grafik hubungan antara koef. permeabilitas dengan variasi campuran abu layang.

Tabel 5.8. Ketinggian muka air pada tabung piezometer

No	Ketinggian air pada tabung piezometer	Variasi campuran abu layang					
		0 %	5%	10%	15%	20%	25%
1	h_1 (cm)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
2	h_7 (cm)	43,2	43,7	44,2	44,7	45,5	46,1
3	h_8 (cm)	41,0	41,4	41,7	42,0	42,3	42,7
4	h_9 (cm)	38,9	39,1	39,2	39,5	39,7	39,8
5	h_{10} (cm)	35,2	35,6	36,1	36,5	36,9	37,3
6	h_{11} (cm)	31,9	32,1	32,4	32,7	32,9	33,1
7	h_{12} (cm)	27,4	27,4	27,5	27,5	27,5	27,5
8	h_{13} (cm)	19,8	19,8	19,8	19,9	20	20
9	h_{14} (cm)	9,8	9,8	9,9	9,9	9,9	9,9



Gambar 5.17. Pola garis freatik dari beberapa variasi campuran abu layang.

5.1.4. Debit rembesan persatuan lebar hasil perhitungan

Dengan menggunakan nilai koefisien permeabilitas hasil pengujian falling head besarnya debit rembesan persatuan lebar melalui model inti bendungan dapat dihitung dengan persamaan :

$$q = k.a.\sin^2\alpha \text{ (persamaan 2.16 hal.26)}$$

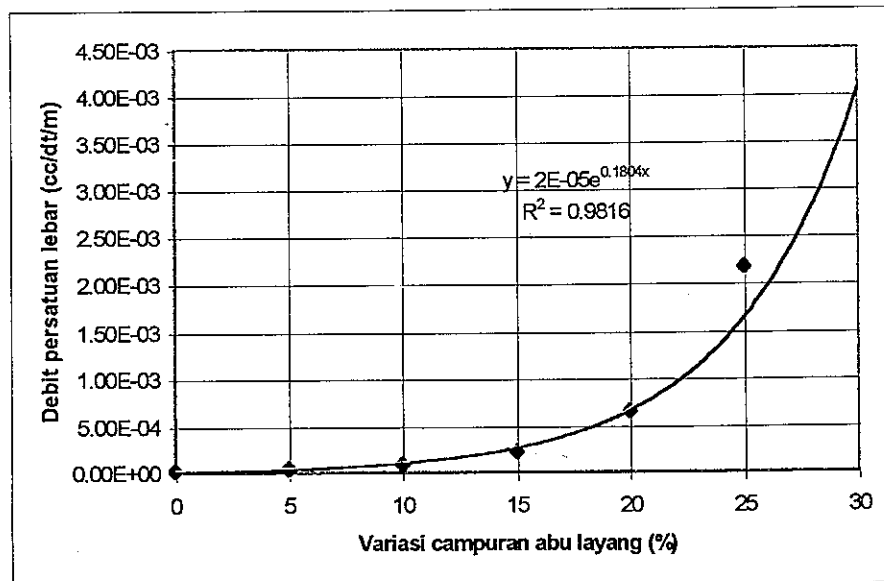
$$a = (d^2 + H^2)^{0.5} - (d^2 - H^2 \cot^2 \alpha)^{0.5}$$

dengan $d = 105 \text{ cm}$, $H = 50 \text{ cm}$, $\alpha = 45^\circ$

maka $a = 23,97 \text{ cm}$

Tabel 5.9. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16. pada kepadatan 100%

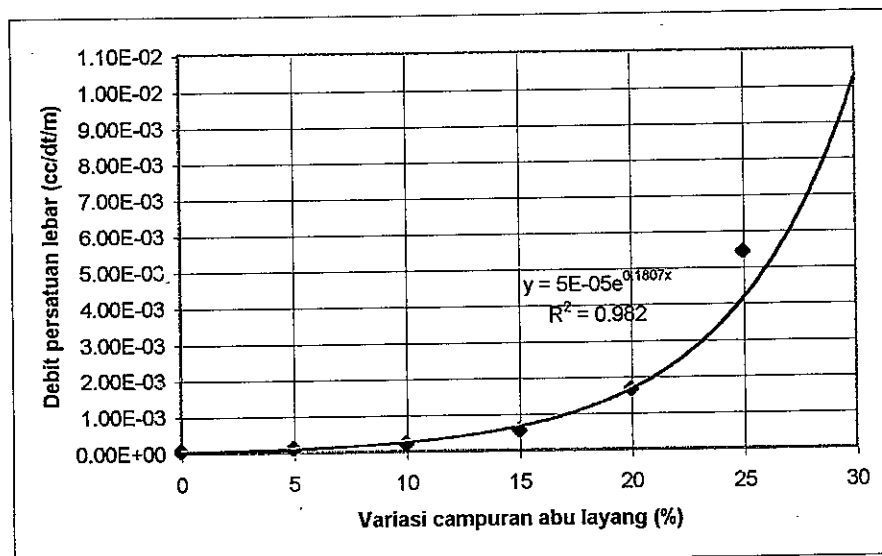
NO	Variasi campuran abu layang %	k_{20} cm/dt	q cm ³ /dt/m
1	0	$2,037 \cdot 10^{-6}$	$2,441 \cdot 10^{-5}$
2	5	$3,557 \cdot 10^{-6}$	$4,263 \cdot 10^{-5}$
3	10	$7,254 \cdot 10^{-6}$	$8,694 \cdot 10^{-5}$
4	15	$1,833 \cdot 10^{-5}$	$2,197 \cdot 10^{-4}$
5	20	$5,472 \cdot 10^{-5}$	$6,558 \cdot 10^{-4}$
6	25	$1,813 \cdot 10^{-4}$	$2,173 \cdot 10^{-3}$



Gambar 5.18. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 100%

Tabel 5.10. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16. pada kepadatan 90%

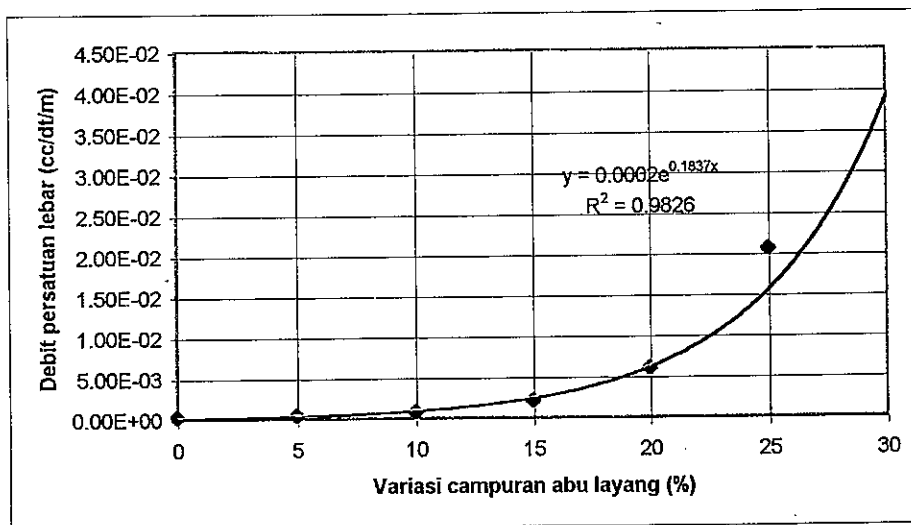
NO	Variasi campuran abu layang	k_{20}	q
	%	cm/dt	cm ³ /dt/m
1	0	$5,076 \cdot 10^{-6}$	$6,084 \cdot 10^{-5}$
2	5	$8,810 \cdot 10^{-6}$	$1,056 \cdot 10^{-4}$
3	10	$1,824 \cdot 10^{-5}$	$2,186 \cdot 10^{-4}$
4	15	$4,592 \cdot 10^{-5}$	$5,504 \cdot 10^{-4}$
5	20	$1,377 \cdot 10^{-4}$	$1,650 \cdot 10^{-3}$
6	25	$4,527 \cdot 10^{-4}$	$5,426 \cdot 10^{-3}$



Gambar 5.19. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 90%

Tabel 5.11. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16. pada kepadatan 80%

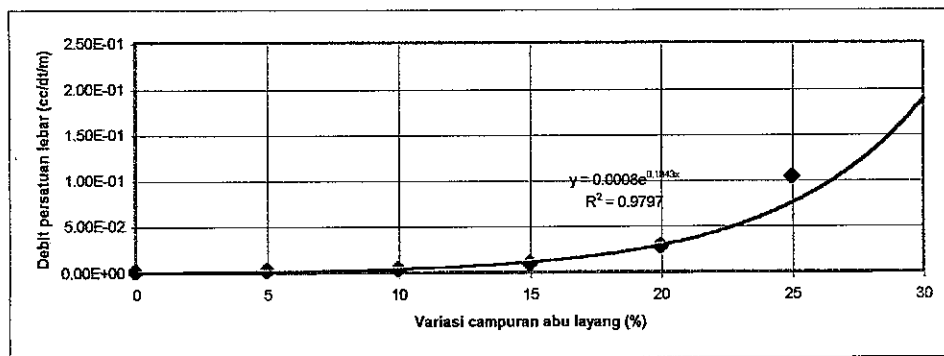
NO	Variasi campuran abu layang %	k_{20} cm/dt	q cm ³ /dt/m
1	0	$1,767 \cdot 10^{-5}$	$2,118 \cdot 10^{-4}$
2	5	$3,174 \cdot 10^{-5}$	$3,804 \cdot 10^{-4}$
3	10	$6,435 \cdot 10^{-5}$	$7,712 \cdot 10^{-4}$
4	15	$1,731 \cdot 10^{-4}$	$2,075 \cdot 10^{-3}$
5	20	$4,988 \cdot 10^{-4}$	$5,978 \cdot 10^{-3}$
6	25	$1,720 \cdot 10^{-4}$	$2,061 \cdot 10^{-2}$



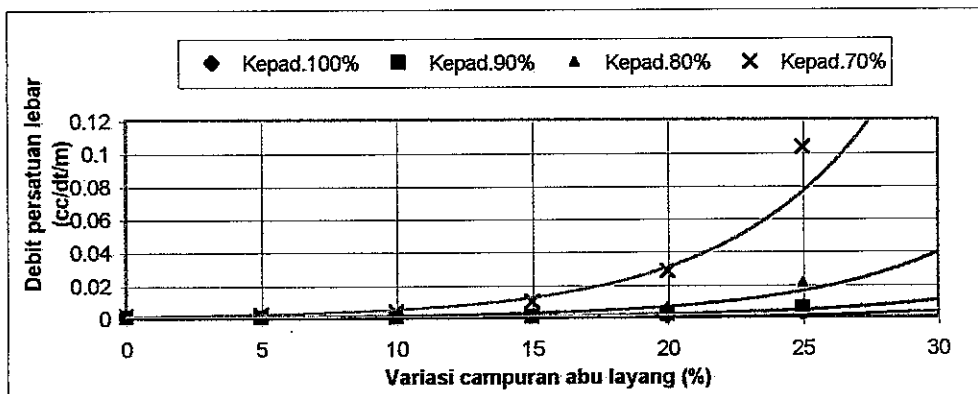
Gambar 5.20. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 80%

Tabel 5.12. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16. pada kepadatan 70%

NO	Variasi campuran abu layang (%)	k_{20} cm/dt	q cm ³ /dt/m
1	0	$8,583 \cdot 10^{-5}$	$1,029 \cdot 10^{-3}$
2	5	$1,497 \cdot 10^{-4}$	$1,794 \cdot 10^{-3}$
3	10	$3,084 \cdot 10^{-4}$	$3,696 \cdot 10^{-3}$
4	15	$8,151 \cdot 10^{-4}$	$9,769 \cdot 10^{-3}$
5	20	$2,327 \cdot 10^{-3}$	$2,789 \cdot 10^{-2}$
6	25	$8,623 \cdot 10^{-3}$	$1,033 \cdot 10^{-1}$



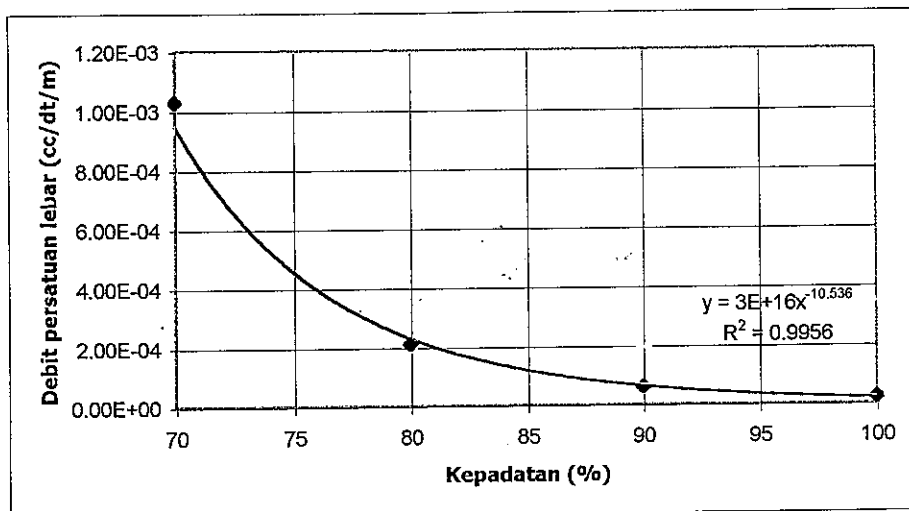
Gambar 5.21. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan variasi campuran abu layang pada kepadatan 70%



Gambar 5.22. Grafik hub. antara debit persatuan lebar dengan variasi camp. abu layang pada kepadatan 100%,90%,80% dan 70%

Tabel 5.13. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16 untuk campuran 0%

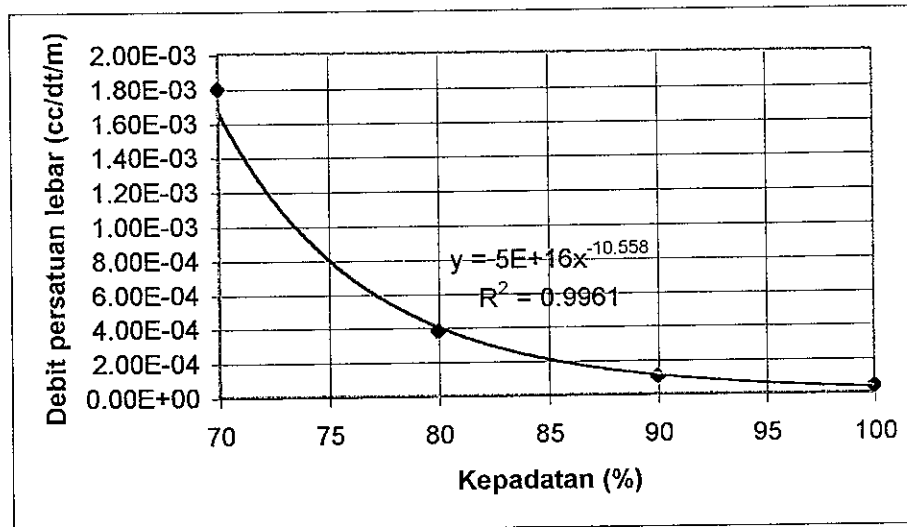
NO	Kepadatan %	k_{20} cm/dt	q cm ³ /dt/m
1	100	$2,037 \cdot 10^{-6}$	$2,441 \cdot 10^{-5}$
2	90	$5,076 \cdot 10^{-6}$	$6,084 \cdot 10^{-5}$
3	80	$1,767 \cdot 10^{-5}$	$2,118 \cdot 10^{-4}$
4	70	$8,583 \cdot 10^{-5}$	$1,029 \cdot 10^{-3}$



Gambar 5.23. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 0% abu layang

Tabel 5.14. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16 untuk campuran 5%

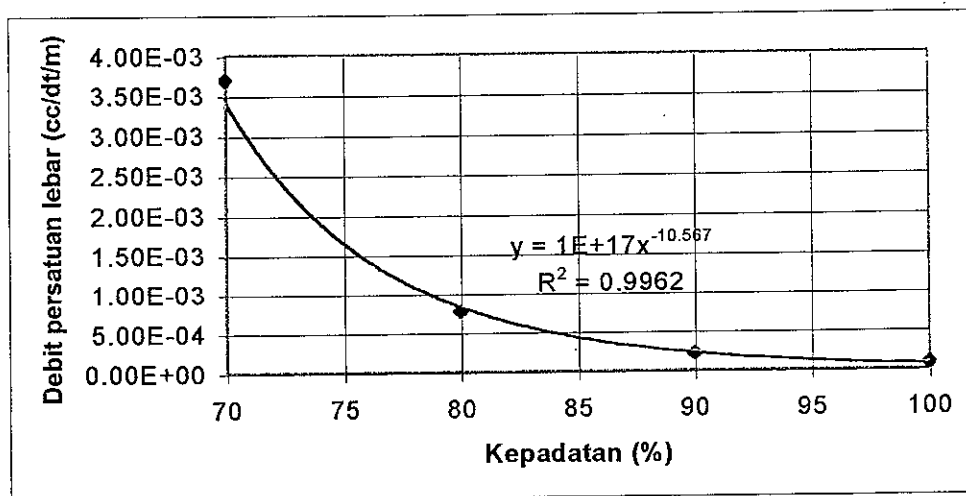
NO	Kepadatan	k_{20}	q
	%	cm/dt	cm ³ /dt/m
1	70	$1,497 \cdot 10^{-4}$	$1,794 \cdot 10^{-3}$
2	80	$3,174 \cdot 10^{-5}$	$3,804 \cdot 10^{-4}$
3	90	$8,810 \cdot 10^{-6}$	$1,056 \cdot 10^{-4}$
4	100	$3,557 \cdot 10^{-6}$	$4,263 \cdot 10^{-5}$



Gambar 5.24. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 5% abu layang

Tabel 5.15. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16 untuk campuran 10%

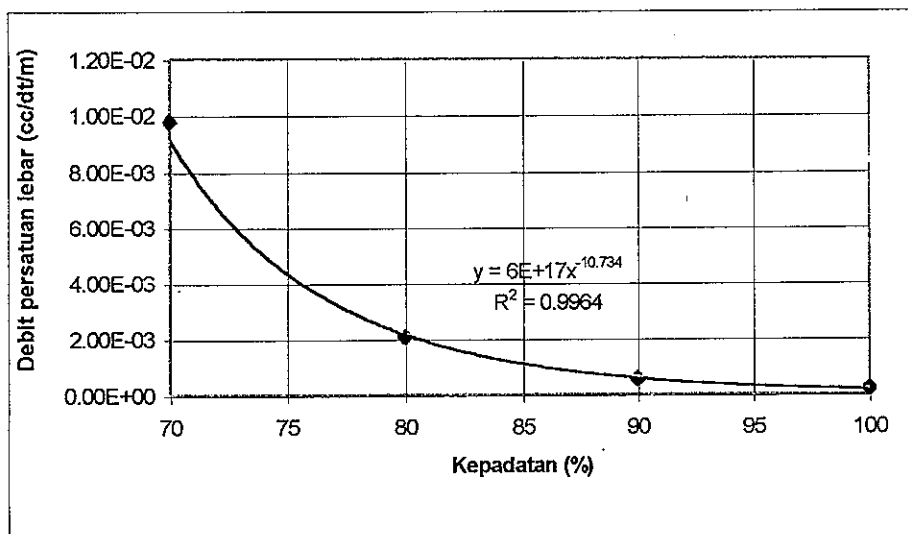
Kepadatan	k_{20}	q
%	cm/dt	cm ³ /dt/m
70	$3,084 \cdot 10^{-4}$	$3,696 \cdot 10^{-3}$
80	$6,435 \cdot 10^{-5}$	$7,712 \cdot 10^{-4}$
90	$1,824 \cdot 10^{-5}$	$2,186 \cdot 10^{-4}$
100	$7,254 \cdot 10^{-6}$	$8,694 \cdot 10^{-5}$



Gambar 5.25. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 10% abu layang

Tabel 5.16. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16 untuk campuran 15%

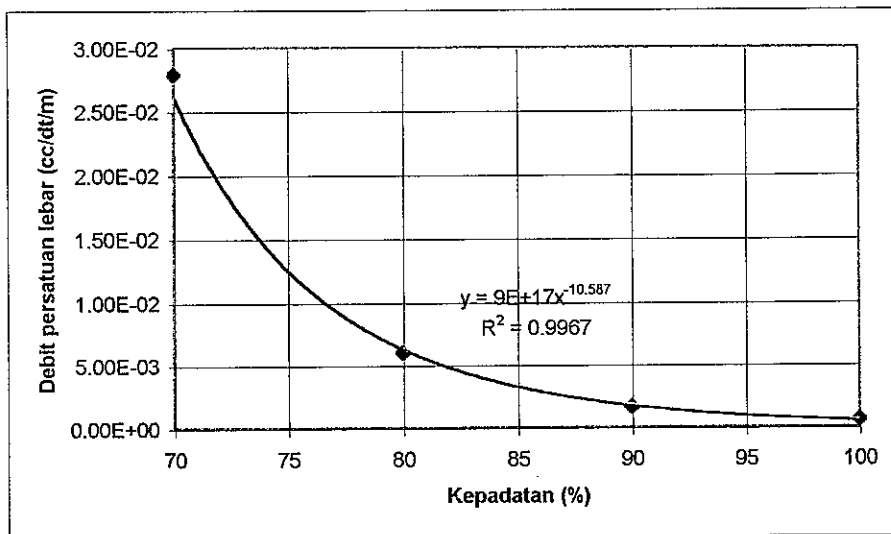
NO	Kepadatan %	k_{20} cm/dt	q cm ³ /dt/m
1	70	$8,151 \cdot 10^{-4}$	$9,769 \cdot 10^{-3}$
2	80	$1,731 \cdot 10^{-4}$	$2,075 \cdot 10^{-3}$
3	90	$4,591 \cdot 10^{-5}$	$5,502 \cdot 10^{-4}$
4	100	$1,833 \cdot 10^{-5}$	$2,197 \cdot 10^{-4}$



Gambar 5.26. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 15% abu layang

Tabel 5.17. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16 untuk campuran 20%

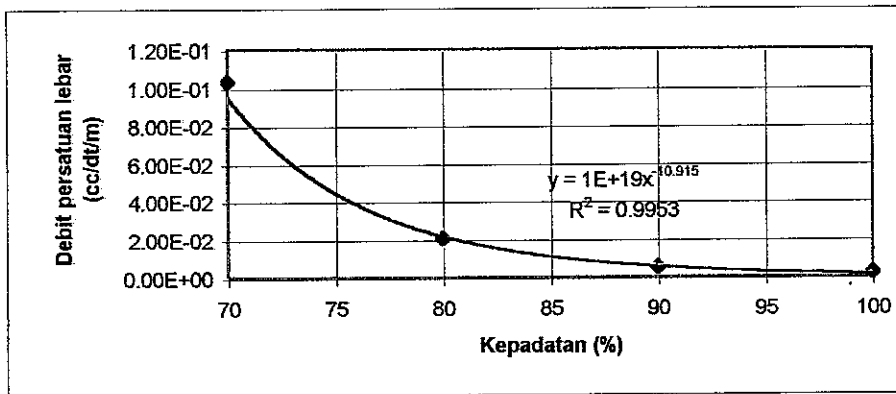
NO	Kepadatan	k_{20}	q
	%	cm/dt	cm ³ /dt/m
1	70	$2,327 \cdot 10^{-3}$	$2,789 \cdot 10^{-2}$
2	80	$4,988 \cdot 10^{-4}$	$5,978 \cdot 10^{-3}$
3	90	$1,377 \cdot 10^{-4}$	$1,650 \cdot 10^{-3}$
4	100	$5,472 \cdot 10^{-5}$	$6,558 \cdot 10^{-4}$



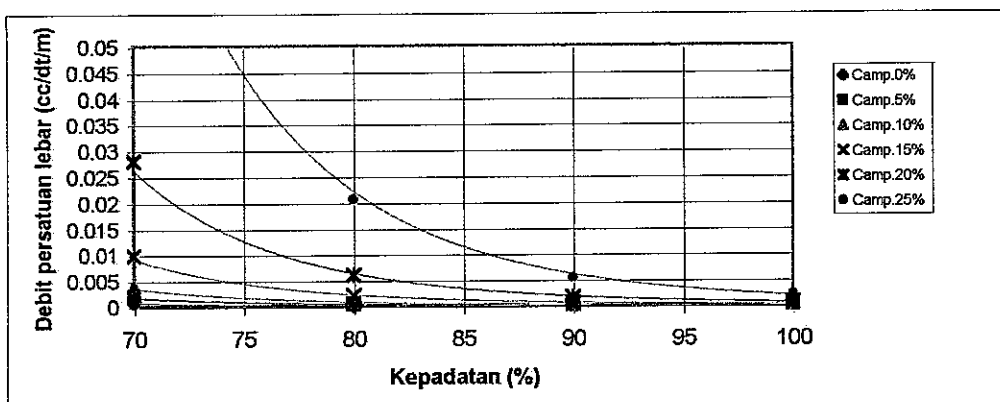
Gambar 5.27. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 20% abu layang

Tabel 5.18. Debit rembesan perhitungan rumus 2.16 untuk campuran 25%

NO	Kepadatan %	k_{20} cm/dt	q cm ³ /dt/m
1	70	$8,623 \cdot 10^{-3}$	$1,033 \cdot 10^{-1}$
2	80	$1,720 \cdot 10^{-3}$	$2,061 \cdot 10^{-2}$
3	90	$4,527 \cdot 10^{-4}$	$5,426 \cdot 10^{-3}$
4	100	$1,813 \cdot 10^{-4}$	$2,173 \cdot 10^{-3}$



Gambar 5.28. Grafik hubungan antara debit persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 25% abu layang



Gambar 5.29. Grafik hubungan antara debit rembesan persatuan lebar dengan kepadatan pada campuran 0%,5%,10%,15%,20% dan 25%

5.2. Pembahasan Hasil Pengujian.

5.2.1. Karakteristik fisik tanah

Hasil pengujian karakteristik fisik tanah yang meliputi pengujian index properties pengujian batas-batas konsistensi dan pengujian analisa butiran terlihat pada Tabel 5.1. Dari hasil pengujian tersebut didapat :

Lolos saringan No. 10 sebesar 99,78 %

Lolos saringan No. 40 sebesar 92,93 %

Lolos saringan No. 200 sebesar 7,01 %

Nilai batas cair (LL) sebesar 81,50 %

Nilai batas plastis (PL) sebesar 36,68 %

Nilai index plastisitas (IP) sebesar 44,62 %

Berdasarkan nilai tersebut maka :

- a. Klasifikasi tanah menurut sistim unified (USCS) adalah CH yaitu lempung dengan plastisitas tinggi.
- b. Klasifikasi tanah menurut sistim AASHTO adalah A-7-5.

5.2.2. Karakteristik fisik campuran

Hasil pengujian karakteristik fisik campuran antara tanah dan abu layang yang meliputi pengujian spesifik gravity dan pengujian batas-batas konsistensi seperti terlihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19. Karakteristik fisik campuran

Karakteristik Fisik	Variasi campuran abu layang					
	0	5%	10%	15%	20%	25%
Gs	2,63	2,60	2,56	2,54	2,50	2,45
LL	81,50%	83,05%	84,80%	85,10%	86,30%	86,80%
PL	36,68%	38,55%	40,33%	41,64%	43,51%	44,98%
IP	44,82%	44,50%	44,47%	43,46%	42,95%	41,82%
SL	17,56%	18,41%	19,32%	31,75%	22,74%	24,12%

Dari Tabel 5.19. tersebut diatas menunjukkan bahwa secara umum dengan peningkatan variasi campuran abu layang maka batas cair (LL), batas palastis (PL) dan batas susut (SL) mempunyai kecenderungan meningkat. Sedangkan spesiifik gravity, index plastisitas (IP) menurun.

5.2.3. Karakteristik mekanik

Hasil pengujian karakteristik mekanik yang meliputi pengujian pemadatan, pengujian pengembangan, pengujian permeabilitas, pengujian kuat geser dan pengujian susut terlihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Karakteristik mekanik

No	Jenis pengujian	Simbul	Satuan	Variasi campuran abu layang					
				0%	5%	10%	15%	20%	25%
1.	Pengujian Pematatan a. Berat isi kering maks.	γ_d maks	gr/cm ³	1,309	1,271	1,223	1,19	1,17	1,122
				36,50	38,03	40,90	41,75	43,8	45,50
2.	Pengujian Pengembangan a. Absorsi	W opt	%	11,26	9,09	8,29	6,85	5,33	4,72
				16,73	13,01	10,02	7,61	5,25	2,91
3.	Pengujian permeabilitas a. k pada kepadatan 100%	k ₂₀	cm/dt	$2,037 \cdot 10^{-6}$	$3,577 \cdot 10^{-6}$	$7,254 \cdot 10^{-6}$	$1,833 \cdot 10^{-5}$	$5,572 \cdot 10^{-5}$	$1,813 \cdot 10^{-4}$
				$5,076 \cdot 10^{-6}$	$8,810 \cdot 10^{-6}$	$1,824 \cdot 10^{-5}$	$4,591 \cdot 10^{-5}$	$1,377 \cdot 10^{-4}$	$4,453 \cdot 10^{-4}$
				$1,767 \cdot 10^{-5}$	$3,174 \cdot 10^{-5}$	$6,435 \cdot 10^{-5}$	$1,731 \cdot 10^{-4}$	$4,988 \cdot 10^{-4}$	$1,720 \cdot 10^{-3}$
				$8,583 \cdot 10^{-5}$	$1,497 \cdot 10^{-4}$	$3,084 \cdot 10^{-4}$	$8,151 \cdot 10^{-3}$	$2,327 \cdot 10^{-3}$	$8,623 \cdot 10^{-3}$
4.	Pengujian kuat geser a. Kohesi	C	kg/cm ²	0,360	0,310	0,265	0,240	0,210	0,175
				9	11	14	16	18	19
5.	Pengujian susut a. Susut linier	SI	%	20,03	18,74	17,77	16,02	15,40	15,19
				24,65	23,07	21,96	21,06	20,74	19,92
	b. Susut volumerik	Sv	%						

Dari Tabel 5.20. tersebut diatas dapat diamati bahwa semakin naik variasi campuran abu layang maka :

a. Pada pengujian pemadatan

1) Berat isi kering **turun**

Yaitu pada campuran 0% = 1,309 gr/cm³ dan pada 25% = 1,122 gr/cm³

Penurunan secara linier dengan persamaan :

$$Y = -0,0073 X + 1,305 \text{ dengan } R^2 = 0,9882$$

2) Kadar air optimum **naik**

Yaitu pada campuran 0% = 36,50 % dan pada 25% = 45,50 %

Kenaikan secara linier dengan persamaan :

$$Y = 0,3557 X + 36,695 \text{ dengan } R^2 = 0,9873$$

b. Pada pengujian pengembangan

1) Absorsi **turun**

Yaitu pada campuran 0% = 11,26 % dan pada 25% = 4,72 %

Penurunan secara linier dengan persamaan :

$$Y = -0,2595 X + 10,834 \text{ dengan } R^2 = 0,9791$$

2) Pengembangan **turun**

Yaitu pada campuran 0% = 16,73 % dan pada campuran 25% = 2,91 %

Penurunan secara linier dengan persamaan :

$$Y = -0,5414 X + 16,024 \text{ dengan } R^2 = 0,9906$$

c. Pada pengujian permeabilitas

1) Koefisien permeabilitas **naik**

Pada campuran 0%= $2,037 \cdot 10^{-6}$ dan pada campuran 25% = $1,813 \cdot 10^{-4}$ untuk kepadatan 100%

Kenaikan tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 2,10^{-6} e^{0,1804X} \text{ dengan } R^2 = 0.9816$$

Pada campuran 0%= $5,076 \cdot 10^{-6}$ dan pada campuran 25% = $4,527 \cdot 10^{-4}$ untuk kepadatan 90%

Kenaikan tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 4,10^{-6} e^{0,1807X} \text{ dengan } R^2 = 0.982$$

Pada campuran 0%= $1,767 \cdot 10^{-5}$ dan pada campuran 25% = $1,720 \cdot 10^{-3}$ untuk kepadatan 80%

Kenaikan tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 1,10^{-5} e^{0,1837X} \text{ dengan } R^2 = 0.9826$$

Pada campuran 0%= $8.583 \cdot 10^{-5}$ dan pada campuran 25% = $8,623 \cdot 10^{-3}$ untuk kepadatan 70%

Kenaikan tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 8,10^{-5} e^{0,1503X} \text{ dengan } R^2 = 0.9751$$

d. Pada pengujian kuat geser

1) Kohesi **turun**

Yaitu pada campuran 0% = $0,360 \text{ kg/cm}^2$ dan pada campuran 25% = $0,175 \text{ kg/cm}^2$

Penurunan secara linier dengan persamaan :

$$Y = -0,0071 X + 0,3493 \text{ dengan } R^2 = 0,9855$$

2) Sudut geser dalam **naik**

Yaitu pada campuran 0% = 9^0 dan pada campuran 25% = 19^0

Kenaikan secara linier dengan persamaan :

$$Y = 0,4171 X + 9,2857 \text{ dengan } R^2 = 0,9823$$

e. Pada pengujian susut

1) Susut linier **turun**

Yaitu pada campuran 0% = 20,03% dan pada campuran 25% = 15,19%

Penurunan secara linier dengan persamaan :

$$Y = -0,2055 X + 19,761 \text{ dengan } R^2 = 0,9539$$

– Susut volumerik **turun**

Yaitu pada campuran 0% = 24,65% dan pada campuran 25% = 19,92%

Penurunan secara linier dengan persamaan :

$$Y = -0,1802 X + 24,153 \text{ dengan } R^2 = 0,9533$$

5.2.4. Rembesan

Hasil pengujian rembesan yang dilakukan pada tank permeabilitas seperti terlihat pada Tabel 5.7. dan 5.8 serta Gambar 5.13, 5.14. dan 5.15.

Dari hasil tersebut dapat diamati bahwa semakin naik variasi campuran abu layang maka :

a. Debit rembesan **naik**

Yaitu pada campuran 0% = $5,80 \cdot 10^{-5}$ dan pada campuran 25% = $4,90 \cdot 10^{-3}$ untuk kepadatan 80%

Kenaikan tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 5E-05e^{0,179x} \text{ dengan } R^2 = 0,9888$$

dimana : y = debit rembesan.

x = variasi campuran abu layang

b. Koefisien permeabilitas naik

Yaitu pada campuran 0% = $2,17 \cdot 10^{-5}$ dan pada campuran 25% = $1,85 \cdot 10^{-3}$ untuk kepadatan 80%

Kenaikan tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 2E-05e^{0,1792x} \text{ dengan } R^2 = 0,9892$$

dimana : y = Koefisien permeabilitas.

x = variasi campuran abu layang.

c. Garis freatis

Garis freatisnya cenderung naik dan sudut pertemuan antara lereng model inti bendungan sebelah hulu dengan garis freatis semakin besar.

5.2.5. Debit rembesan hasil perhitungan dengan rumus.

Hasil perhitungan dengan rumus 2.16 besarnya debit rembesan persatuan lebar seperti terlihat pada Tabel 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 dan 5.18. serta Gambar 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, dan 5.25.

Dari hasil tersebut dapat diamati bahwa :

a. Semakin naik variasi campuran abu layang maka debit rembesan persatuan lebar semakin naik (membesar) yaitu:

1) Pada campuran 0% = $2,441 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan pada campuran 25% = $2,173 \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ pada kepadatan 100%

Kenaikannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 2.10^{-5}e^{0.1804x} \text{ dengan } R^2 = 0,9816$$

- 2) Pada campuran 0% = $6,084.10^{-5} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan pada campuran 25% = $5,426.10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ pada kepadatan 90%

Kenaikannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 5.10^{-5}e^{0.1807x} \text{ dengan } R^2 = 0,982$$

- 3) Pada campuran 0% = $2,118.10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan pada campuran 25% = $2,061.10^{-2} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ pada kepadatan 80%

Kenaikannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 2.10^{-4}e^{0.1837x} \text{ dengan } R^2 = 0,9826$$

- 4) Pada campuran 0% = $1,029.10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan pada campuran 25% = $1,033.10^{-1} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ pada kepadatan 70%

Kenaikannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 8.10^{-4}e^{0.1843x} \text{ dengan } R^2 = 0,9797$$

b. Semakin tinggi kepadatannya debit rembesan persatuan semakin turun (kecil)

- 1) Pada campuran 0% untuk kepadatan 70% = $1,029.10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan untuk kepadatan 100% = $2,441.10^{-5} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$

Penurunannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 3E+716x^{-10,536} \text{ dengan } R^2 = 0,9956$$

- 2) Pada campuran 5% untuk kepadatan 70% = $1,794.10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan untuk kepadatan 100% = $2,263.10^{-5} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$

Penurunannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 5E+16x^{-10,558} \text{ dengan } R^2 = 0,9961$$

3) Pada campuran 10% untuk kepadatan 70% = $3,696 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan untuk kepadatan 100% = $8,694 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$

Penurunannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 1E+17x^{-10,567} \text{ dengan } R^2 = 0,9962$$

4) Pada campuran 15% untuk kepadatan 70% = $9,769 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan untuk kepadatan 100% = $2,197 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$

Penurunannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 6E+17x^{-10,734} \text{ dengan } R^2 = 0,9964$$

5) Pada campuran 20% untuk kepadatan 70% = $2,789 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan untuk kepadatan 100% = $6,558 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$

Penurunannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 9E+17x^{-10,587} \text{ dengan } R^2 = 0,9967$$

6) Pada campuran 25% untuk kepadatan 70% = $1,033 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$ dan untuk kepadatan 100% = $2,173 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{dt}/\text{m}$

Penurunannya tidak linier dengan persamaan :

$$Y = 1E+19x^{-10,915} \text{ dengan } R^2 = 0,9963$$

5.2.6. Campuran abu layang yang optimal.

Dari pengujian permeabilitas didapat besarnya koefisien permeabilitas pada kepadatan 90% :

Pada campuran 0% abu layang $k = 5,076 \cdot 10^{-6} \text{ cm}/\text{dt}$

Pada campuran 5% abu layang $k = 8,810 \cdot 10^{-6} \text{ cm}/\text{dt}$

Pada campuran 10% abu layang $k = 1,824 \cdot 10^{-5} \text{ cm}/\text{dt}$

Pada campuran 15% abu layang $k = 4,591 \cdot 10^{-5} \text{ cm}/\text{dt}$

Pada campuran 20% abu layang $k = 1,377.10^{-4}$ cm/dt

Pada campuran 25% abu layang $k = 4,453.10^{-6}$ cm/dt

Berdasarkan persyaratan umum lapisan kedap air pada bendungan bahwa besarnya koefisien permeabilitas yang disyaratkan pada kepadatan 90% tidak melebihi 1.10^{-4} cm/dt, maka penambahan abu layang sebesar 15% merupakan campuran yang optimal.

Dilihat dari nilai pengembangan, dengan penambahan abu layang akan memperkecil pengembangan sehingga memperkecil resiko terjadinya retak akibat pengembangan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari data yang diperoleh melalui pengujian di laboratorium, hasil analisa dan pembahasan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penambahan abu layang kedalam tanah lempung mempengaruhi karakteristik fisik dan mekaniknya, yaitu nilai spesifik gravity, berat isi kering, kohesi pengembangan, susut linier dan susut volumerik menurun sedangkan batas cair, batas plastis kadar air optimum koefisien permeabilitas sudut geser dalam dan rembesan naik.
2. Berdasarkan persyaratan umum untuk lapisan inti bendungan besarnya koefisien permeabilitas ($k \leq 10^{-4}$ cm/dt maka dari hasil pengujian tersebut campuran abu layang yang optimal adalah 15% yaitu besarnya koefisien permeabilitas (k) = $4,599.10^{-5}$ cm/dt untuk kepadatan 90% , dan $k = 1,833.10^{-5}$ cm/dt untuk kepadatan 100%. sudut geser dalam = 16° , kohesi = $0,240$ kg/cm², pengembangan = 7,61 %, susut linier = 16,02%, dan susut volumerik = 21,06% .Sedangkan tanah lempung tanpa campuran abu layang besarnya koefisien permeabilitas (k) = $5,076.10^{-6}$ untuk kepadatan 90% dan $k = 2,037.10^{-6}$ untuk kepadatan 100%, sudut geser dalam = 9° kohesi = $0,360$ kg/cm², pengembangan = 16,73 %, susut linier = 20,03% dan susut volumerik = 24,65%. Jadi terjadi kenaikan sudut geser dalam sebesar 7° , penurunan kohesi sebesar $0,12$ kg/cm², penurunan pengembangan sebesar 9,12 %, penurunan susut linier sebesar 4,01% dan penurunan susut volumerik sebesar 3.59%.

3. Dengan kenaikan sudut geser dalam maka akan meningkatkan kuat gesernya sehingga konstruksi bendungan akan lebih stabil. Sedangkan penurunan nilai pengembangan dan nilai susutnya akan memperkecil terjadinya kebocoran pada tubuh bendungan.
4. Prosentase kepadatan sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai koefisien permeabilitas, semakin kecil prosen kepadatan semakin besar nilai koefisien permeabilitasnya dengan kenaikan tidak linier.

6.2. Saran-saran

Untuk pengembangan dan peningkatan penelitian ini maka:

1. Diperlukan penelitian dengan range variasi campuran abu layang yang lebih kecil agar didapat hasil pengujian dan gambar grafik yang lebih teliti.
2. Pada pengujian rembesan menggunakan tank permeabilitas diperlukan penelitian pembasahan dan pengeringan secara berulang untuk mengetahui perbedaan debit rembesan.
3. Diperlukan penelitian menggunakan abu layang dengan ukuran butiran halus saja (lolos saringan no 200) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap porositas, angka pori dan koefisien permeabilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Aziz Ismar,H,1979. *Ground Water Engineering* : Geotechnical and Ground water Engineering Consultan.
- Bambang Ismanto,1991. *Porosity and absorption Properties of Fired " Soil-Fly Ash Agregates For Road Pavement Material "*:Jurnal Teknik Sipil ITB Bandung.
- Bambang Triatmojo, 1993. *Hidraulika II* . Yogyakarta : Beta offset.
- Bowles, J . R . 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. USA : Mc. Graw Hill Book Company.
- Craig, F. T. 1987. *Soil Mechanics*. Fourth Edition. London : The English Language : Book Society, The British Standard Institution
- Das Braja, M. 1985. *Principles of Geotechnical Engineering*. Texas : PWS Publishers.
- Fahmi, Muhammad Arifudin, 1997. *Pengaruh variasi kadar abu sekam padi pada tanah lempung untuk bahan inti kedap air*,Thesis tidak dipublikasikan : UGM Yogyakarta.
- Faisal, Fathoni. 2000. *Potensi Abu Sekam Padi untuk mengurangi Tekanan Pengembangan Lempung ekspansif*, Forum Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 1992 . *Mekanika Tanah . 1* . Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. 1996 . *Teknik Pondasi I . 1* . Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

- Herman Wahyudi, 1998. *Elolusi Mikropori didalam Partikel lempung Selama Penurunan Konsolidasi*. Jurnal Teknik Sipil ITB. Bandung.
- Indarto, 2001. *Pengaruh Siklus Pembasahan pengeringan berulang terhadap properti dinamik Tanah lempung ekspansif tidak jenuh yang distabilisasi dengan Fly Ash Menggunakan Alat Triaksial Siklik*. Surabaya Seminar Nasional ITS.
- Mukhlisin, 2001. *Perbaikan tanah lempung sebagai bahan inti kedap air dengan fly ash*. Politeknik Negeri Semarang : Jurusan Teknik Sipil
- Nurhamidah, 1998. *Pengaruh penambahan pasir terhadap kembang susut dan permeabilitas tanah lempung*. Thesis tidak dipublikasikan : UGM Yogyakarta.
- Priyatama, Hery, 1993. *Abu terbang dan Pemanfaatannya*. Seminar nasional FT. UGM, Yogyakarta.
- Sasongko Djoko, 1996. *Teknik Sumber Daya Air*, Jakarta : Erlangga.
- Sharp, 1981. *Hidraulic Modelling London* : Butterworths.
- Shirley, *Geoteknik dan Mekanika tanah Penyelidikan lapangan dan Laboratorium*. Bandung . : Nova.
- Soediby, 1993 *Teknik Bendungan* : Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono Suyono, Takeda K. 1989. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Sudewo, Erry. 1991. *Pemanfaatan Abu Terbang* . Seminar Mekanika bahan PAU FT UGM. Yogyakarta.
- Sunjoto, 1989. *Aliran Bawah Permukaan*. Yogyakarta : PAU Teknik UGM.

Supranto, j, 1994. *Statistik Teori dan Aplikasi*. Jakarta : Erlangga.

Sutarno, dkk, 1999. *Pemanfaatan limbah abu layang (fly ash) sebagai lahan pengganti semen portland*. Politeknik Negeri Semarang : Jurusan teknik Sipil.

Verrvijt, A, 1970. *Theory of Ground Water Flow*. Netherlands : Delf University of Teknologi.

Willliam Lambe, Robert V. W, 1969. *Soil Mechanics*. Toronto : Massachu setts Institut of Technology.

_____, 1987. *Pedoman Keamanan Bendungan*. Jakarta : Yayasan badan Penerbit PU.

_____, 1981. *Job Sheets for hidraulic laboratory*. Bandung : PEDC

_____, 1974 , *Design of Small Dams*. Calcutta : United States Departement of the Interior Bureau of Reclamation.