



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI PENYEBAB KANTUNG BALLAS PADA JALAN REL
BERDASARKAN KARAKTERISTIK BALLAS DAN DRAINASE**

SKRIPSI

**QI YAHYA
0806329533**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI PENYEBAB KANTUNG BALLAS PADA JALAN REL
BERDASARKAN KARAKTERISTIK BALLAS DAN DRAINASE**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik**

**QI YAHYA
0806329533**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
BIDANG KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Qi Yahya

NPM : 0806329533

Tanda Tangan



Tanggal : 10 Juli 2012

STATEMENT OF ORIGINALITY

**This undergraduate thesis is the result of my own work,
and all sources of both quoted and referred
had I stated correctly.**

Name : Qi Yahya

Student Number : 080329533

Signature : 

Date : 10th July 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Qi Yahya
NPM : 0806329533
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Sripsi : Identifikasi Penyebab Kantung Ballas Pada Jalan Rel Berdasarkan Karakteristik Ballas dan Drainase

Telah berhasil diujikan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Sigit P, DEA

Penguji : Ir. Alan Marino, MSc

Penguji : Ir. Heddy. R. Agah, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by:

Name : Qi Yahya
Student Number : 0806329533
Study Program : Civil Engineering
Thesis Title : Identification Of The Cause Of Mud Pumping On
Railway by Ballas and Drainage Characteristics

Has been successfully defended before the Council of Examiners and was accepted as part of the requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering degree in Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia

BOARD OF EXAMINERS

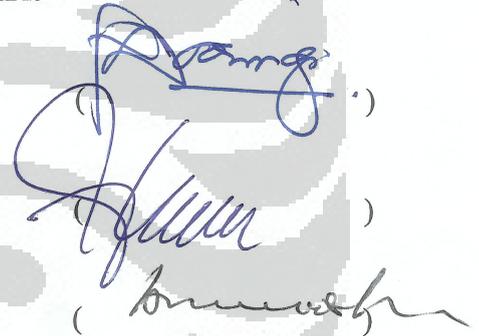
Adviser : Dr. Ir. Sigit .P , DEA

Examiner : Ir. Alan Marino, M.Sc

Examiner : Ir. Heddy. R. Agah, M.Eng

Defined in : Depok

Date : 10th July 2012



KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH

Puji Syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir strata satu berupa skripsi ini . Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan yang diberikan oleh berbagai pihak yang telah membantu dari masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini, maka skripsi ini tidak dapat diselesaikan oleh penulis. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Sigit P, DEA selaku pembimbing 1 dan Ir. Rachmadi, MSc selaku pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga serta pemikirannya untuk mengarahkan saya dalam pembuatan skripsi ini.
- 2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan moral dan material agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 3) Pak Eko, Pak Adit, Pak Sukardi, Pak Tri, dan seluruh jajaran PT.KAI atas segala bantuan selama pengumpulan data dan survey lokasi.
- 3) Pak Narto, Pak Wardoyo, Mas Anto, Eka Permana, Sandy Sanjaya, dan rekan-rekan lainnya sebagai laboran dan asisten di lab mekanika tanah yang telah membantu saya selama pengujian.
- 4) Amila Zulfa, Afimonika, M. Satrio P, Aisyah Sean dan seluruh sahabat sipil lingkungan 2008 yang telah membantu selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap agar Allah SWT dapat membalas kebaikan dari semua pihak yang telah membantu selesainya skripsi ini, semoga skripsi ini dapat member manfaat yang nyata dan berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 10 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Qi Yahya
NPM : 0806329533
Program studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Identifikasi Penyebab Kantung Ballas Pada Jalan Rel Berdasarkan Karakteristik Ballas dan Drainase

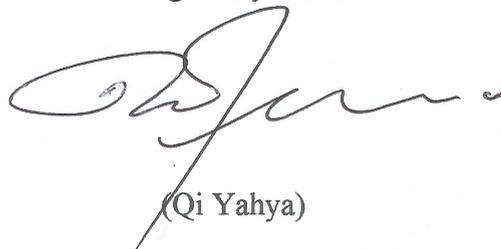
Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2012

Yang Menyatakan



(Qi Yahya)

ABSTRAK

Nama : Qi Yahya
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Identifikasi Penyebab Kantung Ballas Pada Jalan Rel Berdasarkan Karakteristik Ballas dan Drainase

Ballas hingga kini diketahui sebagai tumpukan batu dibawah struktur atas dari jalan rel dan berfungsi untuk memberi stabilitas, menyalurkan beban dan meneruskan rembesan air ke lapisan di bawahnya yaitu tanah dasar. Kerusakan umum yang terjadi pada bagian ballas khususnya di Indonesia adalah kerusakan yang diakibatkan oleh terciptanya kantong ballas. dimana terjadi *mud pumping* atau pencampuran endapan lumpur dari tanah dasar dibawah lapisan ballas dengan lapisan ballas itu sendiri, hal ini akan menyebabkan daya dukung struktur ballas untuk menopang beban diatasnya melemah dan berpotensi meruntuhkan struktur jalan rel itu sendiri. Karakteristik dari tanah dasar mempunyai pengaruh besar terhadap proses ini. Tipisnya lapisan ballas dan adanya genangan air menjadi faktor awal terjadinya kantong ballas. Tentu saja ada faktor-faktor yang mempengaruhi terciptanya genangan air tersebut. Tidak adanya drainase ideal, dan tipisnya lapisan ballas menjadi faktor-faktor pemicu genangan tersebut. Serta kondisi tanah dasar yang memiliki karakter lempung yang ekspansif, nilai IP tinggi dan sulit meluuskan air menjadi ciri-ciri tanah dasar yang punya potensi terjadinya kantong ballas.

Keywords:

Jalan rel, ballas, tanah dasar, kadar air, mud pumping

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
STATEMENT OF LEGITIMATION.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Penelitian.....	4
1.4 Dasar Teori yang Digunakan.....	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Struktur Umum Jalan Rel.....	7
2.1.1 Pendahuluan.....	7
2.1.2 Struktur Atas.....	8
2.1.3 Struktur Bawah.....	10
2.1.4 Lapisan Dasar.....	10
2.2 Balast.....	12
2.2.1 Fungsi dan Kegunaan.....	12
2.2.2 Karakteristik.....	12
2.2.3 Komponen.....	13
2.2.4 Kerusakan.....	16
2.2.5 Perawatan.....	17
2.3 Drainase Rel.....	19
2.3.1 Pengantar.....	19
2.3.2 Drainase Permukaan.....	19
2.3.3 Drainase Bawah Permukaan.....	20
2.3.4 Drainase Lereng.....	20
3 METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Sumber Data.....	22
3.2 Alur.....	22
3.3 Gambaran Umum Lokasi Studi.....	24
3.3.1 Geografi.....	24
3.3.2 Geologi.....	25
3.3.3 Iklim dan Cuaca.....	26
3.3.4 Hidrologi Sungai.....	26

3.3.5	Jalan Rel Sebagai Jalur Transportasi.....	27
3.3.6	Penggunaan Lahan Kota Depok.....	28
4	PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	29
4.1	Survey Lapangan.....	29
4.1.1	Struktur Jalan Rel.....	29
4.2	Pengujian Laboratorium.....	48
4.2.1	Pendahuluan.....	48
4.2.2	Pengolahan Data.....	49
4.3	Analisa.....	77
4.3.1	Analisa Data Lapangan.....	77
4.3.2	Analisa Data Laboratorium.....	85
4.3.3	Hubungan Tanah Dasar dengan Pembentukan Kantung Ballas 92	
5	KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1	Kesimpulan.....	94
5.2	Saran.....	95
	DAFTAR PUSTAKA	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ballas Atas	15
Tabel 2.2 Ballas Bawah.....	15
Tabel 2.3 Komponen Lain Yang Diizinkan	15
Tabel 3.1 Jumlah Penumpang Kereta Api MENurut Stasiun Kota Depok Tahun 2007.....	28
Tabel 4.1 Kondisi Badan Jalan Rel.....	31
Tabel 4.2 Kondisi Ballas	35
Tabel 4.3 Kondisi Saluran Drainase.....	40
Tabel 4.4 Jumlah Kecrotan Di Wilayah Depok- Citayam (dalam m).....	43
Tabel 4.5 Pengujian Yang dilakukan	48
Tabel 4.6 Data Sampel A	65
Tabel 4.7 Nilai CBR Sampel A.....	66
Tabel 4.8 Data Sampel B	66
Tabel 4.9 Nilai CBR Sampel B.....	67
Tabel 4.10 Data Sampel C	67
Tabel 4.11 Nilai CBR Sampel C.....	68
Tabel 4.12 Kecrotan Berdasarkan Kondisi Badan Jalan.....	78
Tabel 4.13 presentase kecroton dan panjang jalannya	78
Tabel 4.14 Kecrotan Berdasarkan Tinggi Badan Jalan.....	79
Tabel 4.15 presentase kecroton dan panjang jalannya	79
Tabel 4.16 Kecrotan Berdasarkan Tebal Ballas.....	80
Tabel 4.17 presentase kecroton dan panjang jalannya	81
Tabel 4.18 Kecrotan Berdasarkan Keberadaan Drainse	82
Tabel 4.19 presentase kecroton dan panjang jalannya	82
Tabel 4.20 kondisi kecroton berdasarkan lapisan ballas dan drainase.....	84
Tabel 4.21 presentase kecroton dan panjang jalannya	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.22 Hasil Uji Laboratorium Tanah Dasar.....	86
Tabel 4.23 Tabel Klasifikasi Tanah Lempung.....	87
Tabel 4.24 Klasifikasi Tanah Lempung Dan Lanau	87
Tabel 4.25 Referensi Klasifikasi Tanah Dari Beberapa Sumber	89
Tabel 4.26 klasifikasi tanah berdasarkan k permeabilitas (BS 8004, 1986).....	91
Tabel 4.27 klasifikasi tanah berdasarkan permeabilitas (Cassagrande, 1938).....	91
Tabel 4.28 klasifikasi tanah berdasarkan permeabilitas (weasley).....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Penelitian	23
Gambar 3.2 Peta Jenis Tanah Kota Depok.....	25
Gambar 4.1 jalan rel dari stasiun citayam (selatan) ke satasiun depok (utara)	29
Gambar 4.2 Gambar badan jalan rel ideal untuk timbunan	30
Gambar 4.3 Gambar badan jalan rel ideal untuk galian.....	31
Gambar 4.4 Dataran yang lebih tinggi (kiri) berhimpitan pemukiman (Kanan)..	33
Gambar 4.5 Bersebelahan Jalan Raya (Kiri) dan Dinding Penahan (Kanan)	33
Gambar 4.6 Kondisi Ballas	34
Gambar 4.7 Ballas tipis tanpa bahu (kiri) dan Ballas sedang dengan bahu (kanan)	35
Gambar 4.8 ballas dibawah bantalan (kiri) beda ketinggian (kanan).....	36
Gambar 4.9 Alur Pemeliharaan Ballas.....	37
Gambar 4.10 Lokasi Pengambilan tanah Dasar Km.35	38
Gambar 4.11 Tidak ada Saluran Drainase (kiri) dan Saluran Drainase (kanan)...	39
Gambar 4.12 Ada Genangan (kiri) dan tidak Ada drainase (kanan).....	40
Gambar 4.13 Kecrotan Basah	44
Gambar 4.14 Kecrotan Kering	45
Gambar 4.15 Gambaran Bantalan Retak (Kiri) dan Gambar Bantalan Patah (Kanan).....	46
Gambar 4.16 Dongkrak Rel	46
Gambar 4.17 Pengisian Ballast	47
Gambar 4.18 Ballast Kotor (kiri) dan Pengisian Kembali (Kanan).....	47
Gambar 4.19 Data Sampel A	49
Gambar 4.20 Data Sampel B.....	49
Gambar 4.21 Data Sampel C.....	50
Gambar 4.22 Hasil Sampel A.....	50
Gambar 4.23 Hasil Sampel B.....	51
Gambar 4.24 Hasil Sampel C.....	51
Gambar 4.25 Data Sampel A	52
Gambar 4.26 Data Sampel B.....	52
Gambar 4.27 Data Sampel C.....	53
Gambar 4.28 Hasil Pengujian Sampel A.....	54
Gambar 4.29 Hasil Pengujian Sampel B.....	54
Gambar 4.30 Hasil Pengujian Sampel C.....	54
Gambar 4.31 Hasil Pengujian Specific Gravity	55
Gambar 4.32 Hasil Sampel A.....	56
Gambar 4.33 Hasil Sampel B.....	56
Gambar 4.34 Hasil Sampel C.....	57
Gambar 4.35 Hasil Pengolahan Sampel A.....	57

Gambar 4.36 Hasil Pengolahan Sampel.....	57
Gambar 4.37 Hasil Pengolahan Sampel C.....	58
Gambar 4.38 Grafik Sampel A.....	58
Gambar 4.39 Grafik Sampel B.....	59
Gambar 4.40 Grafik Sampel C.....	59
Gambar 4.41 Sampel A.....	61
Gambar 4.42 Sampel B.....	63
Gambar 4.43 Sampel C.....	64
Gambar 4.44 Grafik Sampel A.....	65
Gambar 4.45 Grafik Sampel B.....	66
Gambar 4.46 Grafik Sampel C.....	67
Gambar 4.47 Grafik hubungan swell dengan Waktu Sampel A.....	69
Gambar 4.48 Grafik Hubungan Swell dengan Waktu Sampel B.....	70
Gambar 4.49 Grafik Hubungan Swell dengan Waktu Sampel C.....	71
Gambar 4.50 Hasil Pengujian Permeabilitas.....	71
Gambar 4.51 Diagram Mohr Sampel A.....	73
Gambar 4.52 Hasil Dan Diagram Keruntuhan Sampel A.....	74
Gambar 4.53 Diagram Mohr Sampel B.....	75
Gambar 4.54 Hasil Dan Diagram Keruntuhan Sampel B.....	75
Gambar 4.55 Diagram Mohr Sampel C.....	76
Gambar 4.56 Hasil Dan Diagram Keruntuhan Sampel C.....	77
Gambar 4.57 klasifikasi menurut perbandingan IP dan LL.....	88
Gambar 4.58 Klasifikasi Berdasarkan Ukuran Butiran.....	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan transportasi menggunakan Kereta Api seakan naik turun di Indonesia. Ketika awal kemunculannya kereta api ini menjadi primadona dalam pilihan perjalanan jarak menengah. Seiring berjalannya waktu, disebabkan oleh kecenderungan pembangunan dalam penyediaan jalan raya dan kebijakan lainnya yang mendorong perkembangan kendaraan pribadi di Indonesia membuat kereta Api semakin lama semakin menjadi alternative ke sekian. Kereta api masih menjadi pilihan utama tapi hanya untuk mayoritas masyarakat menengah ke bawah atau pada waktu-waktu tertentu seperti mudik lebaran dan lainnya. Namun seiring dengan mulai semakin jenuhnya arus lalu lintas jalan raya yang tak pernah bisa supply memenuhi demand karena semakin kita menambah jalan justru semakin juga masyarakat cenderung memilih kendaraan pribadi, kereta api perlahan-lahan mulai mendapat perhatian kembali.

Salah satu factor cukup berpengaruh dalam transportasi kereta api adalah penyediaan infrastrukturnya yang lebih mahal dibandingkan yang lainnya. Untuk gerbong keretanya saja dimana kita yang sebenarnya sudah dapat memproduksi sendiri dalam negeri melalui PT.INKA untuk rangkaian gerbong kereta pun masih sesekali kalah saing dengan hibah gerbong kereta dari Jepang yang lebih dipilih karena dianggap lebih murah, padahal jika kita menggunakan produk sendiri secara tidak langsung kita mendorong ekonomi makro negeri. Namun sekali lagi besarnya biaya dalam penyediaan transportasi kereta api yang selalu menjadi alasan utama yang sulit untuk diabaikan.

Infrastruktur yang cukup memakan biaya besar adalah pengadaan jalan rel yang merupakan syarat utama jalur kereta bisa dibangun. Bahan dasar rel yang berasal dari baja dan besi inilah yang menjadi titik pengeluaran terbesar yang bisa dihitung tidak akan memberikan keuntungan secara langsung dalam

jangka waktu yang panjang. Disinilah peran pemerintah yang paling besar untuk mengambil peran dengan melakukan subsidi dalam pembangunan jalan rel.

Kebutuhan biaya yang cukup besar maka diprioritaskan pembangunan jalan rel harus seefisien mungkin mulai dari pembuatan hingga perawatannya dan dapat berguna dalam jangka waktu yang panjang sehingga biaya totalnya akan lebih murah. Dengan pertimbangan itulah maka dalam pengadaannya jalan rel ini harus direncanakan dengan sebaik mungkin serta bisa digunakan dalam jangka waktu yang panjang serta mudah dan murah untuk perawatannya. Struktur jalan rel sendiri terbagi dari beberapa bagian seperti rel, sambungan, bantalan, penambat, ballast, subgrade dan lainnya. Jika kita menginginkan rel dengan daya tahan yang baik maka kita juga harus memastikan komponen-komponen rel tersebut juga dalam keadaan baik dan tidak mempunyai potensi kerusakan yang besar dan semua itu akan dimulai dari perancangan yang benar dan sesuai prosedur dengan mempertimbangkan factor-faktor eksternal lainnya yang mungkin ada.

Salah satu bagian dari jalan rel adalah ballast. Ballast yang berupa tumpukan batu dibawah struktur atas rel merupakan bagian penting yang tidak mendapat perhatian sebesar rel itu sendiri khususnya dalam maintainance. Padahal pemeliharaan adalah permasalahan utama pemerintahan kita. Jika ballast tidak terawat dengan baik maka dapat menimbulkan potensi kerusakan besar pada jalan rel karena ballast lah yang menanggung dan menyalurkan beban dari rel.

Penyebab kerusakan pada ballast yang cukup besar adalah ketika timbulnya kantung ballast yang salah satunya disebabkan oleh adanya ballas kotor dan bercampur lumpur. Kotornya ballas dapat terjadi karena banyak ballas yang sudah mengalami keausan maupun factor dari luar seperti adanya genangan air dan lumpur. Keausan pada ballas dapat ditimbulkan oleh berbagai hal misalnya tekanan yang diterima terlalu besar atau gradasi agregat yang tidak bagus. Jika sudah terjadi keausan maka tekanan yang ada akan mendesak ballast hingga tanah dasar yang berada dibawahnya akan mengalami penurunan dan membentuk kantung ballast yang jika berlanjut

akan menyebabkan longsornya seluruh struktur jalan rel. Kasus anjlok pada beberapa jalan rel terjadi akibat pengaruh ballast ini.

Potensi terbentuknya kantung ballast ini selalu ada, namun ada factor eksternal yang mendorong cepatnya kerusakan oleh kantung ballast, yaitu factor rembesan air. Air yang masuk ke kantung ballast akan terperangkap dan seperti sifatnya pada jalan raya, jika ada air yang menggenang pada suatu perkerasan lalu perkerasan tersebut mendapatkan tekanan maka air itu akan mempercepat kerusakan pada perkerasan tersebut, hal ini juga berlaku pada ballast. Ditambah dengan kondisi cuaca di Indonesia yang cenderung banyak hujan dan tidak dapat diperkirakan maka perhatian terhadap pengaruh air terhadap ballast ini harus diperhatikan lebih dalam. Air yang mengganggu stabilitas ballast ini bisa berasal dari air permukaan, yang datang dari air hujan atau air dari drainase yang tidak baik, bisa juga berasal dari muka air tanah yang tinggi pada suatu daerah tertentu misalnya di tepi pantai, resapan, dan lainnya.

Salah satu jalan rel dengan frekuensi perjalanan kereta yang tinggi adalah jalur krl jabodetabek. Dalam lintasan jalan rel jabodetabek, jalur kereta dari st. Depok hingga st. Citayam merupakan daerah yang sering ditemukan terjadinya kantung ballas dan oleh karena itu dipilih oleh penulis untuk menjadi daerah studi pada penelitian ini.

Dalam penulisan ini, hal mengenai factor-faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas ballast dan kantung ballast inilah yang akan menjadi pembahasan utama. Jika kita ingin menyelesaikan suatu permasalahan kita harus memulainya dengan mengenali dan menganalisa permasalahan tersebut. Selain itu kita juga akan melakukan penelitian mengenai karakteristik tanah dasar dimana sering terjadi fenomena kantung ballas dan nantinya akan dianalisa hubungan sifat tanah dan kondisi di lapangannya. Harapan dari penulisan ini adalah kita akan dapat mengetahui karakter ballast terhadap factor-faktor yang mempengaruhinya mulai dari awal perancangan hingga masa penggunaannya di masing-masing daerah.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan yaitu:

1. Mengetahui factor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya kantung ballas di jalan rel depok-citayam
2. Mengetahui karakteristik tanah dasar pada lokasi tersebut.
3. Memberikan solusi terhadap fenomena tersebut.

1.3 Batasan Penelitian

Ruang Lingkup dan Batasan penelitian ini adalah:

1. Pembahasan yang ditinjau hanya pada struktur bawah rel yaitu ballas dan tanah dasar
2. Fungsi dari bagian stuktur yang berada diatas ballast dianggap berjalan dengan seharusnya.
3. Derah yang ditinjau sebagai fokus penelitian pada lintasa jalan rel Depok-citayam.

1.4 Dasar Teori yang Digunakan

Dasar teori yang digunakan adalah teori perkerasan jalan rel yang akan memberi gambaran sebab akibat dari struktur jalan rel secara keseluruhan. Pertama kali pembahasan akan dimulai dengan mendalami ilmu pada perancangan jalan rel dan PD 10 sebagai acuan dasar PT.KAI

Teori lain yang digunakan adalah mengenai ilmu geotek yang membahas sifat fisik tanah dan karakternya. Keberadaan air pada subgrade pun harus dicari dasarnya yang menjelaskan sifat-sifat air yang mempunyai potensi besar mengganggu stabilitas ballast.

1.5 Metode Penelitian

Metode penyusunan penulisan ini berdasarkan atas:

- a) Metode Perpustakaan

Metode ini digunakan untuk mendapatkan acuan dari studi pustaka.

- b) Observasi Lapangan

Observasi dilakukan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam analisis.

c) Metode Bimbingan

Metode yang melibatkan dosen pembimbing untuk mendapatkan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir.

d) Metode uji lab dengan pengujian sample tanah dasar yang diambil dari lokasi

1.6 Sistematika Penulisan

Sebagai gambaran dari penelitian yang dilakukan dan untuk mempermudah dalam melakukan analisa terhadap permasalahan yang ada, maka karya tulis ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada tahap ini akan ada penjelasan tentang latar belakang yang mendasari penelitian ini, tujuan penelitian yang menjelaskan point-point yang ingin didapat dari penulisan ini, ruang lingkup dan batasan masalah,serta dasar teori yang digunakan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : LANDASAN TEORI

Pada BAB II inilah akan ada penjabaran dari teori-teori dasar dan ilmu-ilmu yang akan digunakan sebagai acuan selama penelitian ini. Bab ini menjelaskan lebih rinci dari apa yang sudah dicantumkan pada bagian dasar teori pada BAB I.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menunjukan metode yang akan digunakan dalam penelitian yang berhubungan dengan penalaran alur penelitian yang menjelaskan bagaimana akhirnya kita dapat memperoleh tujuan yang dicapai berdasarkan teori yang digunakan.

BAB 4 : PENGOLAHAN DAN ANALISA

Pada Bab ini akan dilakukan penjabaran mengenai data yang telah dikumpulkan serta pengolahannya. Lalu akhirnya akan ditutup dengan analisa terhadap data yang telah terkumpul dan diolah tersebut

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menjadi bab penutup yang menjelaskan hasil yang didapatkan dari penelitian ini dan berbagai saran untuk pembaca, dan penelitian kedepannya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Umum Jalan Rel

2.1.1 Pendahuluan

Struktur jalan rel kereta api pada umumnya terdiri dari dua rel sejajar yang diletakkan diatas bantalan yang berupa balok melintang. Bantalan itu yang menjadi pengikat dari kedua batang rel tersebut. Jalan rel ini akan terbentang dari satu daerah ke daerah lainnya karena kereta memang hanya akan bisa berjalan diatas rel. Di beberapa negara maju mungkin kereta sudah ada yang menggunakan teknologi magnet sehingga tidak menggunakan jalan rel konvensional lagi tapi sudah menggunakan teknologi magnet sebagai landasan dari kereta itu sendiri sehingga dapat mencapai kecepatan yang jauh lebih tinggi karena berhasil mengabaikan faktor gaya gesek. Namun di Indonesia sendiri jalan untuk kereta yang tersedia masih berupa jalan re konvensional dan itu pun masih hanya di beberapa daerah saja adanya.

Jalan rel sendiri akan disesuaikan perancangannya dengan rencana pembebanan dan kecepatan maksimum. Kecepatan maksimum itu yang akan membagi jalan rel menjadi 2, untuk kecepatan rendah <120 km/jam dan kecepatan tinggi >120 km/jam. Di Indonesia jalan rel kereta masih sebatas kereta dengan kecepatan rendah meskipun sudah ada rencana pembangunan rel kereta kecepatan tinggi antara Jakart-Surabaya. Salah satu yang berbeda dari kelas rel ini adalah pada beda panjang sepur, sepur sendiri adalah jarak antara kedua batang rel. Semakin besar sepur maka semakin kereta itu memiliki sensifitas guling yang semakin kecil, semakin pendek jarak antara bantalan, semakin tinggi kecepatan yang dapat diangkut namun semakin besar R yang dibutuhkan dalam perancangan geometrinya saat menikung. Di Indonesia lebar sepur jalan rel kita masih kategori sepur sempit <1435 mm.

Secara umum struktur jalan rel terbagi atas beberapa lapisan. Lapisan paling atas biasa disebut sebagai struktur atas pada jalan rel terdiri dari bagian Rel itu sendiri dan bantalan yang sudah disebutkan diatas. Rel akan dapat terikat

dengan sebuah alat yang disebut penambat. Selanjutnya dibawahnya ada struktur bawah jalan rel yang biasa disebut sebagai struktur bawahnya yaitu lapisan ballast yang terdiri dari ballast atas dan ballast bawah. Lapisan ballast ini terdiri dari batu-batu pecah dan merupakan tempat dudukan dari struktur atas rel. Lapisan paling bawah disebut sebagai lapisan dasar yang terdiri dari tanah dasar dan badan jalan rel. Selanjutnya akan dibahas lebih mendetail mengenai komponen-komponen struktur jalan rel tersebut.

2.1.2 Struktur Atas

2.1.2.1. Rel

Rel merupakan tempat dimana roda dari kereta akan berpijak. Disinilah tegangan dari pergerakan dan beban kereta pertama kali akan diterima oleh struktur jalan rel. Tugas dari rel adalah meneruskan beban dari roda ke bantalan. Rel dibuat dari bahan logam yaitu baja, bentuk rel sendiri berupa profile yang terbagi secara umum menjadi 3 jenis yaitu rel kepala dua, rel alur, dan rel Vignola. Rel berkepala dua adalah rel standar, rel alur mempunyai jalur khusus roda di bagian kepalanya dan rel Vignola menyerupai rel berkepala dua namun memiliki kepala yang sesuai dengan kasut roda dan bagian kaki yang lebar sehingga stabil dan mudah ditambatkan.

Komponen rel sendiri terbagi menjadi 3 bagian yaitu bagian kepala rel, badan rel, dan kaki rel. Ketiga komponen itu memiliki tugasnya masing-masing. Kepala rel merupakan tempat berpijaknya roda dan akan member pengaruh terhadap kualitas perjalanan. Bagian badan rel dirancang untuk mampu menghasilkan kuat geser yang tinggi sedangkan untuk bagian kaki member kestabilan terhadap guling. Bagian kaki re juga berfungsi mendistribusikan gaya secara merata ke bantalan yang juga menjadi tempat bertambatnya rel.

Menurut panjangnya rel dibagi menjadi tiga, yaitu rel standar dengan panjang 25 meter, rel pendek yang merupakan penyambungan dari beberapa rel standard an memiliki panjang maksimum sebesar 100 meter. Penyambungan rel ini biasa dilakukan dengan pengelasan dan panjang dari rel disesuaikan dengan mempertimbangkan kemudahan pengangkutannya ke lapangan. Selanjutnya dilapangan rel pendek itu akan disambung-sambung kembali menjadi rel panjang. Penyambungan rel ini kembali dilakukan dengan pengelasan. Panjang minimum

rel panjang ini sendiri akan disesuaikan dengan jenis bantalan yang digunakan, dengan bantalan kayu umumnya memberikan panjang rel minimum lebih besar dibandingkan dengan bantalan beton, hal ini berhubungan dengan pemuaian rel, gaya normal pada rel, dan gaya lawan bantalan.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam rel ini adalah kemungkinan-kemungkinan kerusakan yang berupa keausan, terjadinya tekuk (buckling) pada rel, terjadinya rel patah dan pemuaian atau penyusutan pada bagian ujung rel. Kesemua hal diatas harus diperhatikan karena dapat memberikan dampak yang cukup berbahaya.

2.1.2.2. Bantalan

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya bahwa bantalan merupakan tempat dimana kedua rel ditambatkan. Bantalan sendiri terdiri dari bantalan membujur dan melintang, namun pada umumnya yang digunakan adalah bantalan dengan arah melintang karena dengan bantalan arah membujur akan memberikan beberapa dampak negative salah satunya membuat air hujan mempunyai kemungkinan tertampung pada struktur rel lebih besar.

Secara umum fungsi dari bantalan seperti berikut;

1. Mendukung rel dan meneruskan beban dari rel ke ballast dengan bidang sebaran yang lebih luas.
2. Menjaga jarak antara rel beserta kemiringannya serta memberikan stabilitas dudukan pada ballast.
3. Menghindarkan kontak langsung air tanah dan rel.

Pembagian jenis bantalan akan disesuaikan dengan bahan dasar bantalan itu sendiri, apakah bantalan kayu, baja atau beton. Pemilihan dari jenis ini akan disesuaikan dengan kelas jalan rel, rencana penggunaan, dan biaya. Ketiga jenis bantalan tersebut tentu saja memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi jarak antar bantalan, seperti tipe potongan dan kekuatan rel, jenis dan kekuatan bantalan, ballast tempat bantalan, dan beban gandar, volume dan kecepatan dari kereta api. Secara umum di Indonesia jarak antara bantalan adalah 60 cm. Selain itu hal yang harus diperhatikan dari sebuah bantalan adalah bagaimana kedudukannya terhadap

ballast. Bantalan yang tertanam dengan baik pada ballast akan memberikan support terhadap geser yang baik baik ke arah samping maupun longitudinal.

2.1.2.3. Penambat

Rel akan terikat ke bantalan dengan sebuah penambat. Penambat ini merupakan hal yang sangat penting karena akan menjaga kekokohan, jarak sepur, dan kekuatan menerima beban akan terjaga. Semakin tinggi kecepatan kereta api yang melewati rel maka semakin kuat juga penambat yang dibutuhkan. Penambat rel harus mempunyai kuat jepit yang mencukupi untuk penggunaan jangka panjang dan pada umumnya menggunakan alas karet yang berfungsi untuk meredam getaran dan melindungi permukaan bantalan.

2.1.3 Struktur Bawah

Ballast merupakan lapisan dibawah struktur atas. Lapisan ballast akan menjadi tempat kedudukan bagi bantalan dan akan menerima pembebanan dari atas dan meneruskannya ke lapisan dibawahnya dengan pendistribusian gaya yang lebih luas. Komponen utama penyusun ballast adalah batuan pecah. Ballast sendiri bertugas untuk menjaga agar kedudukan dari jalan rel tetap pada tempatnya. Secara umum ballast dibagi menjadi dua lapisan, yaitu ballast atas dan ballast bawah. Kedua lapisan ini memiliki perbedaan gradasi agregat penyusunnya. Untuk lebih detailnya pembahasan tentang ballast akan dibahas di sub-bab berikutnya.

2.1.4 Lapisan Dasar

2.1.4.1. Tanah Dasar

Pada pembahasan sebelumnya dijelaskan bahwa pembebanan yang ada pada struktur jalan rel akan diterima dan didistribusikan oleh setiap lapisan ke lapisan yang berada di bawahnya. Tanah dasar adalah lapisan yang berada dibawah struktur bawah yaitu ballast dan menerima langsung pembebanan dari ballast. Karena sebelumnya setiap pembebanan yang diterima akan selalu didistribusikan secara lebih merata maka tegangan yang diterima pada tanah dasar sudah lebih kecil dibandingkan lapisan-lapisan diatasnya.

Fungsi dari tanah dasar sendiri adalah;

1. Mendukung beban yang diteruskan oleh ballast
2. Meneruskan beban ke badan jalan rel
3. Memerikan landasan rata untuk ballast

Tanah dasar dapat merupakan tanah asli yang berada dilokasi, bahan yang diperbaiki, ataupun bahan buatan. Semua itu sesuai dari kemampuan dari tanah tersebut yang harus memenuhi daya dukung terhadap ballast dan juga memiliki penurunan yang rendah dan masih diizinkan sehingga tidak merusak struktur jalan rel secara keseluruhan. PT. KA menetapkan bahwa daya dukung minimal yang harus dipenuhi oleh tanah dasar ialah sebesar 8% nilai CBR untuk tanah dasar dengan ketebalan 30 cm. Dalam konstruksinya tanah dasar memiliki kemiringan 5% kearah luar, ini berfungsi dalam penanggulangan masalah drainase karena tanah dasar harus mencapai kepadatan 100% kepadatan kering maksimum.

2.1.4.2. Badan Jalan

Sama seperti tanah dasar, badan jalan dapat terbuat dari bahan keadaan asli, bahan buatan maupun bahan yang diperbaiki. Untuk letaknya badan jalan rel dapat berada di daerah pantai, pegunungan, dan dataran. Dengan letak jalan rel yang beragam sedangkan jalan rel sendiri mempunyai batasan kelandaian yang lebih ketat dibandingkan dengan jalan raya maka badan jalan harus selalu menyesuaikan kondisi existing dengan kondisi yang dibutuhkan oleh jalan rel tersebut. Cara-cara pemenuhannya adalah dengan melakukan galian, timbunan ataupun kondisi asli jika memang sudah memadai.

Pemilihan galian dan timbunan menyesuaikan dengan kebutuhan, jika ketinggian tanah asli lebih rendah dari yang direncanakan maka akan dilakukan timbunan, begitu juga sebaliknya. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan keduanya, yaitu;

1. Badan jalan harus dapat menopang beratnya sendiri dan beban di atasnya dengan aman.
2. Mampu mempertahankan sifat-sifat tekniknya khususnya ketahanan dalam gaya-gaya pembebanan.
3. Penurunan tanah yang terjadi harus sesuai dengan yang diizinkan.
4. Mengantisipasi bahaya lonsor

5. Permukaan atas tanah dasar harus >75 cm diatas elevasi muka air tanah

Jika dalam pengerjaannya bahan tanah asli tidak cukup kuat secara geoteknik maka akan memnungkinkan untuk dilakukan perbaikan bahan ataupun penggunaan bahan buatan. Perbaikan bahan dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat teknik dari tanah dengan melakuakn berbagai pencampuran seperti pencampuran tanah asli dengan kapur, semen, bitumen dan lainnya.

2.2 Balast

2.2.1 Fungsi dan Kegunaan

Lapisan ballast berada diatas lapisan tanah dasar dan dibawah struktur atas. Ballast termasuk lapisan yang masih menerima tegangan yang besar yang diakibatkan oleh lalu lintas kereta api. Fungsi dari ballast antara lain:

1. Meneruskan beban dari bantalan ke lapisan tanah dasar dengan pendistribusian yang lebih luas.
2. Memberi landasan yang kokoh untuk struktur rel atas dan mencegah terjadi pergeseran ataupun perpindahan.
3. Meneruskan air yang diterima dari bagaian diatasnya ke lapisan dibawahnya.
4. Meredam getaran yang terjadi saat keretabergerak.
5. Memberi dukungan kekenyalan terhadap bantalan.
6. Mencegah terjadinya kehidupan vegetasi di bawah daerah struktur rel.
7. Mencegah kontak langsung muka air tanah denga struktur atas rel.

Dengan berbagai fungsinya diatas maka dibutuhkan adanya komponen ballast yang baik. Ballast harus dapat digunakan dalam waktu yang panjang dan memiliki daya dukung yang baik. Material ballast juga harus memiliki prosedur perawatan dan pemeliharaan yang mudah dan memadai. Keberadaan ballast juga berguna sebagai peredam suara dari kereta yang lewat.

2.2.2 Karakteristik

Ballast sendiri terbagi menjadi ballast atas dan ballast bawah. Ballast atas terbuat dari agregat yang lebih baik dibandingkan dengan ballast bawah hal ini dikarenakan ballast atas memiliki tugas yang lebih besar yaitu menerima tegangan

besar secara langsung dari struktur rel dan juga harus memberikan kekenyalan dan meredam getaran pada bantalan selama kereta lewat. Sebenarnya tidak bermasalah ketika ballast bawah juga menggunakan agregat ballast atas hanya saja untuk biaya jadi tergolong lebih mahal. Umumnya ballast atas terdiri dari batu pecah dengan gradasi tertentu yang memiliki sifat saling kunci dan saling gesek yang baik. Ballast bawah dapat terbuat dari kerikil halus, sedang atau pasir kasar.

Profil ballast akan disesuaikan dengan kondisi dimana ballast tersebut diletakan. Jika berada pada jalan lurus ballast akan berbentuk seperti biasa dengan semakin bawah maka lebar ballast akan semakin besar dengan tujuan pendistribusian beban pun semakin luas dan tegangan akan semakin mengecil. Pada jalan menikung posisi ballast pun akan menyesuaikan dengan kondisi rel. Rel akan mengalami peninggian pada sisi luar ketika menikung, dengan begitu ballast akan mengikuti peninggian tersebut juga agar tetap memberi daya dukung yang diinginkan.

Ketebalan ballast berhubungan erat dengan kuat dukung tanah dasar yang berada di bawahnya, disamping juga berhubungan dengan bahan ballast, beban roda, dan kecepatan kereta rencana. Namun meskipun secara daya dukung tanah dasar sendiri tanah dasar sudah memenuhi namun ballast tetap dibutuhkan untuk alasan-alasann lain seperti kekenyalan, drainase, meredam getaran dan lainnya.

Rumus ketebalan ballas sebagai berikut:

$$Z_{\min} = \frac{S-B}{2} \operatorname{tg} \Theta$$

Z= tebal min ballas (m)

S= jarak bantalan (m)

B= lebar bantalan (m)

Θ = Sudut gesek internal bahan ballas (m)

2.2.3 Komponen

Ballast tersusun dari agregat kasar, khususnya ballast atas yang harus terbuat dari batu pecah dengan kualitas yang baik. Agregat pada ballast atas harus memiliki daya ikatan antar agregat yang baik karena berfungsi untuk mendukung

jalur rel tetap pada tempatnya dan juga meredam getaran. Untuk itu dibutuhkan gradasi yang baik dan seragam supaya tidak ada pemusatan tegangan jika gradasi agregat tidak baik.

Bahan yang ideal untuk balast harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Mampu mempertahankan kedalaman bahan yang diperlukan untuk mendistribusikan beban kereta api yang lewat ke tanah dasar
2. Material yang akan digunakan untuk balast tidak boleh terlalu kaku tetapi harus elastis
3. Bahan untuk balast harus mampu mengikat secara natural sedemikian rupa sehingga memiliki grip kuat untuk mempertahankan posisi dan mencegah gerakan horisontal mereka selama perjalanan kereta
4. Mampu untuk mengalirkan air dengan segera tanpa banyak yang meresap apalagi tertampung.
5. Cukup kuat dalam hal resistensi terhadap abrasi

Agregat

Beberapa agregat yang umum digunakan sebagai agregat pada ballast adalah:

1. Batu pecah
2. Kerikil
3. Abu / abu
4. Pasir
5. Kankar
6. Moorum
7. Brick Ballas

Gradasi

Pada struktur jalan rel ballas dibagi menjadi dua jenis yaitu ballas atas dan bawah. Keduanya memiliki fungsi berbeda sehingga memiliki kriteria agregat yang berbeda juga. Masing-masing lapisan memiliki standard an syarat gradasi agregat masing-masing.

Tabel 2.1 Ballas Atas

ukuran nominal (inch)	persen lolos saringan							
	ukuran saingan (inch)							
	3	2.5	2	1.5	1	0.75	0.5	3/8
2,5-0.75	100	90-100	25-60	25-60		0-10	0-5	
2-1		100	95-100	35-70	0-15		0-5	
1.5- 0.75			100	90-100	20-15	0-15		0-5

Sumber: PD 10 PT. KAI

Tabel 2.2 Ballas Bawah

Ukuran Saringan	2	1	3/8	no 10	no 40	no 200
% lolos optimum	100	95	67	38	21	7
yang diizinkan	100	90-100	50-84	26-50	12-30	0-10

Sumber: PD 10 PT. KAI

Tabel 2.3 Komponen Lain Yang Diizinkan

bahan lunak mudah pecah	<3%
bahan lolos saringan 200	<1%
gumpalan lempung	<0.5%
keausan pada los angeles	<40%
partikel tipis / panjang	<5%

Sumber: PD 10 PT. KAI

Persyaratan-persyaratan gradasi diatas untuk mencapai kekenyalan dan daya kunci antara agregat yang diinginkan serta mampu menahan beban rencana baik untuk ballas atas dan bawah. Untuk komponen lain disyaratkan agar tidak terjadi penguncian pada lapisan ballas yang dapat mematikan pergerakan, menyebabkan ballas mati, dan membuat gradasi tidak baik sehingga memungkinkan terjadinya perangkap pada air, atau potensi bisa masuknya komponen lain ke lapisan ballas.

Pemadatan

Pada tahap konstruksinya, lapisan ballast ini harus dilakukan pemadatan. Pemadatan harus dilakukan dengan baik dan benar serta merata sehingga memperoleh kepadatan lapangan yang disyaratkan yaitu 100% kepadatan kering

maksimum menurut standar ASTM D 698. Untuk mencapai kepadatan yang homogen maka dalam proses pematatannya dilakukan secara berlapis-lapis. Setiap lapisan yang telah dipadatkan tidak boleh melebihi 15 cm.

2.2.4 Kerusakan

Beberapa permasalahan atau kerusakan pada ballast adalah sebagai berikut:

1. Penurunan ballast
2. Perusakan bantalan
3. Berkurangnya sifat kenyal pada ballast
4. Terjadinya kantong ballast.

Penurunan ballast

Penurunan pada ballast merupakan kerusakan umum yang sering terjadi pada ballast. Sebenarnya setiap konstruksi struktur mempunyai kemungkinan untuk terjadinya penurunan hanya saja tentu ada batasan penurunan maksimum untuk struktur tersebut. Jika penurunan yang terjadi terlalu besar maka akan merusak struktur rel secara keseluruhan. Penurunan sendiri dapat terjadi karena beban berulang yang terlalu besar, tanah dasar yang tidak kuat, keausan pada material ballast, dan hal-hal lainnya. Selain penurunan ketinggian yang cukup berbahaya adalah kelongsoran pada ballast itu sendiri.

Perusakan bantalan

Pada suatu kasus ballast dapat merusak bantalan yang berada di atasnya secara tidak langsung. Hal ini terjadi jika komposisi ballast tidak homogen sehingga daya dukung ballast terhadap bantalan pun tidak merata dan menimbulkan momen. Jika sudah mencapai limitnya bantalan akan rusak oleh momen itu. Tidak homogenya ballast bisa terjadi karena salah perencanaan, tidak baiknya gradasi agregat, ataupun keausan pada agregat.

Berkurangnya sifat kenyal pada ballast

Debu dan sampah yang menempel dan mengotori ballast atau lumpur yang membuat endapan yang mengikat ballast sehingga tidak dapat bergerak seperti rencana dan menyebabkan berkurangnya kekenyalan ballast tersebut. Keausan juga dapat menyebabkan partikel menjadi kecil dan terperosok ke rongga-rongga sehingga menyebabkan hal yang serupa. Berkurangnya kekenyalan pada ballast

akan berakibat buruk pada kereta karena dengan kekenyalan yang kecil maka setiap getaran dan hentakan akan sangat terasa sehingga mengganggu kenyamanan dan juga berpotensi menimbulkan kerusakan pada bantalan, rel, maupun kereta.

Terjadinya kantung ballast

Gesekan yang terus terjadi antar partikel akan menimbulkan keausan dan pengecilan partikel, hal tersebut membuat rongga antar partikel semakin kecil juga. Dengan mengecilnya rongga permeabilitas akan berkurang sehingga kondisi ballast tidak lagi homogeny. Kondisi ini ditambah dengan debu dan sampah yang juga menutupi rongga membuat beban yang diterima tidak dapat terdistribusi dengan merata lagi sehingga membuat bagian yang sudah “mati” tersebut semakin terbebani dan akhirnya member dampak buruk pada tanah dasar. Hal ini dapat diperparah dengan masuknya air yang akan terjebak pada daerah “mati” tersebut. Pada akhirnya tanah dasar pada bagian tersebut akan merosot membentuk kantung yang akan terisi oleh agregat ballast di atasnya dan biasa disebut sebagai kantung ballast.

Terjadinya kantung ballast akan sangat dipercepat jika sedang musim hujan, karena pengaruh air yang sangat besar dalam mempercepat kerusakan. Selain dari air hujan ataupun air permukaan dari luar permukaan, air tanah pun dapat mempengaruhi kantung ballast. Lumpur yang merembes ke atas karena tekanan dari atas yang berulang kali sangat memicu terciptanya ballast mati yang merupakan langkah awal terbentuknya kantung ballast.

Jika kantung ballast sudah terbentuk maka potensi kerusakan pada seluruh struktur jalan rel akan menjadi besar. Secara perlahan jika tidak segera ditangani kantung ballast akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh tekanan yang ada dari ballast beserta air akan terus menekan tanah dasar ke arah dalam dan samping sehingga ketika sudah sampai pada limitnya keseluruhan struktur akan amblas. Fenomena ini merupakan salah satu penyebab anjloknya rel pada beberapa daerah.

2.2.5 Perawatan

Dengan pembahasan sebelumnya kita mengetahui bahwa dengan fungsi ballast yang besar beserta beberapa permasalahan yang mungkin terjadi

dibutuhkan pemeliharaan yang baik pada ballast. Perlu diadakan inspeksi rutin untuk mengecek kestabilan ballast karena jika sudah tercipta kantung ballast maka percepatan kerusakan akan bertambah. Perencanaan diawal harus dibuat sebaik mungkin dengan dilengkapi rencana pemeliharaan dan inspeksi. Secara rutin harus ada treatment pada ballast sendiri seperti penggantian agregat, pembersihan ballast, dan lainnya.

Selain dengan pemeliharaan dan inspeksi, perencanaan drainase juga berperan penting dalam keawetan ballast. Seperti yang diketahui bahwa air adalah factor utama perusakan pada struktur jalan rel dimana ballast sendiri bertugas untuk sesegera mungkin menuluskan air ke lapisan dibawahnya. Untuk itu dalam perencanaan dan pemeliharaan jalan rel diperlukan perhatian besar terhadap system drainase yang ada beserta pemantauan terhadap muka air tanah.

Penggunaan Geosentik dan Eastern Region

Ada beberapa cara dalam mensiasati pengaruh buruk air terhadap struktur jalan rel khususnya ballast. Beberapa cara yang umum digunakan adalah penggunaan geosentik dan cara Eastern Region. Kedua metode ini memiliki trik yang sama yaitu melakukan pembatasan antara ballast dengan lapisan tanah dasar. Hal ini berfungsi untuk mencegah terjadinya rembesan muka air tanah ke ballast dan juga untuk mencegah kedua lapisan ini mengalami percampuran bahan yang mana adalah penyebab awal terbentuknya kantung ballast. Perbedaannya adalah pada lapisan pembatasnya, untuk geosentik menggunakan geosentik filter sedangkan untuk Eastern Region menggunakan seng bergelombang.

Lapisan pemisah itu juga akan mengarahkan air yang masuk, baik dari atas maupun bawah, kearah luar dari struktur jalan dimana terdapat saluran drainase di kedua sisinya sehingga tidak ada air yang terjebak di ballast. Dengan pemisahan bahan yang terjaga tersebut maka sifat teknik dari kedua lapisan juga akan terjaga. Di satu sisi daya dukung lapisan terhadap tegangan juga sudah diperhitungkan bahkan untuk beberapa kasus geosentik membantu kekuatan strukturalnya.

2.3 Drainase Rel

2.3.1 Pengantar

Adanya air pada struktur jalan rel khususnya ballast memiliki dua pengaruh, yang pertama pengaruh terhadap daya dukung rel dan yang kedua pengaruh terhadap keawetan dari ballast. Dengan begitu sangat penting dalam membuat perencanaan yang baik pada sistem drainase nya. Drainase jalan rel sendiri secara umum didefinisikan sebagai sistem pengaliran/ pembuangan air di suatu daerah jalan rel agar tidak terjadi genangan air. Pembuangan sendiri dapat dengan sekedar memanfaatkan gravitasi maupun dengan penggunaan pompa. Di Indonesia sendiri secara umum masih hanya mengandalkan saluran konvensional yang mengandalkan gravitasi. Fungsi dari drainase adalah menghindari segala gangguan terhadap lalu lintas kereta api dan struktur rel yang diakibatkan oleh genangan air dan rembesan air di struktur rel baik secara langsung ataupun jangka panjang.

Jenis dari saluran drainase jika ditinjau dari letaknya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Drainase permukaan
2. Drainase bawah permukaan
3. Drainase lereng

2.3.2 Drainase Permukaan

Drainase permukaan bertujuan untuk mengalirkan seluruh air dari permukaan agar tidak mengganggu struktur jalan rel. Drainase ini pun terbagi dua yaitu drainase melintang dan memanjang. Drainase melintang adalah drainase yang melintang jalan rel sedangkan untuk drainase memanjang adalah drainase di kedua sisi jalan rel yang memanjang.

Agar dapat berfungsi dengan baik, saluran drainase diharapkan mempertimbangkan beberapa hal seperti kondisi eksisting yang berpotensi merusak sistem drainase dan gaya-gaya yang akan bekerja pada saluran drainase. Untuk saluran memanjang mungkin tidak terlalu membutuhkan perkuatan khusus karena tidak menerima gaya langsung dari kereta namun harus tetap mempertimbangkan gaya lateral struktur bawah dan tanah, namun untuk saluran

melintang yang berada dibawah struktur atas jalan rel membutuhkan perkuatan khusus. Perkuatan dapat menggunakan susunan batu atau beton dengan penutup dari beton bertulang atau baja bergelombang.

Kemiringan

Kemiringan dari saluran akan mempengaruhi kecepatan aliran air di saluran. Jika kemiringan tinggi maka aliran air akan semakin cepat begitu juga sebaliknya. Namun kita harus memperhatikan juga bahwa semakin cepat aliran air akan menimbulkan gesekan yang besar juga terhadap saluran sehingga potensi untuk longsor atau terjadi erosi akan besar, jika terlalu lambat pun akan ada kemungkinan pengendapan pada saluran yang lama-lama akan menyebabkan pendangkalan.

2.3.3 Drainase Bawah Permukaan

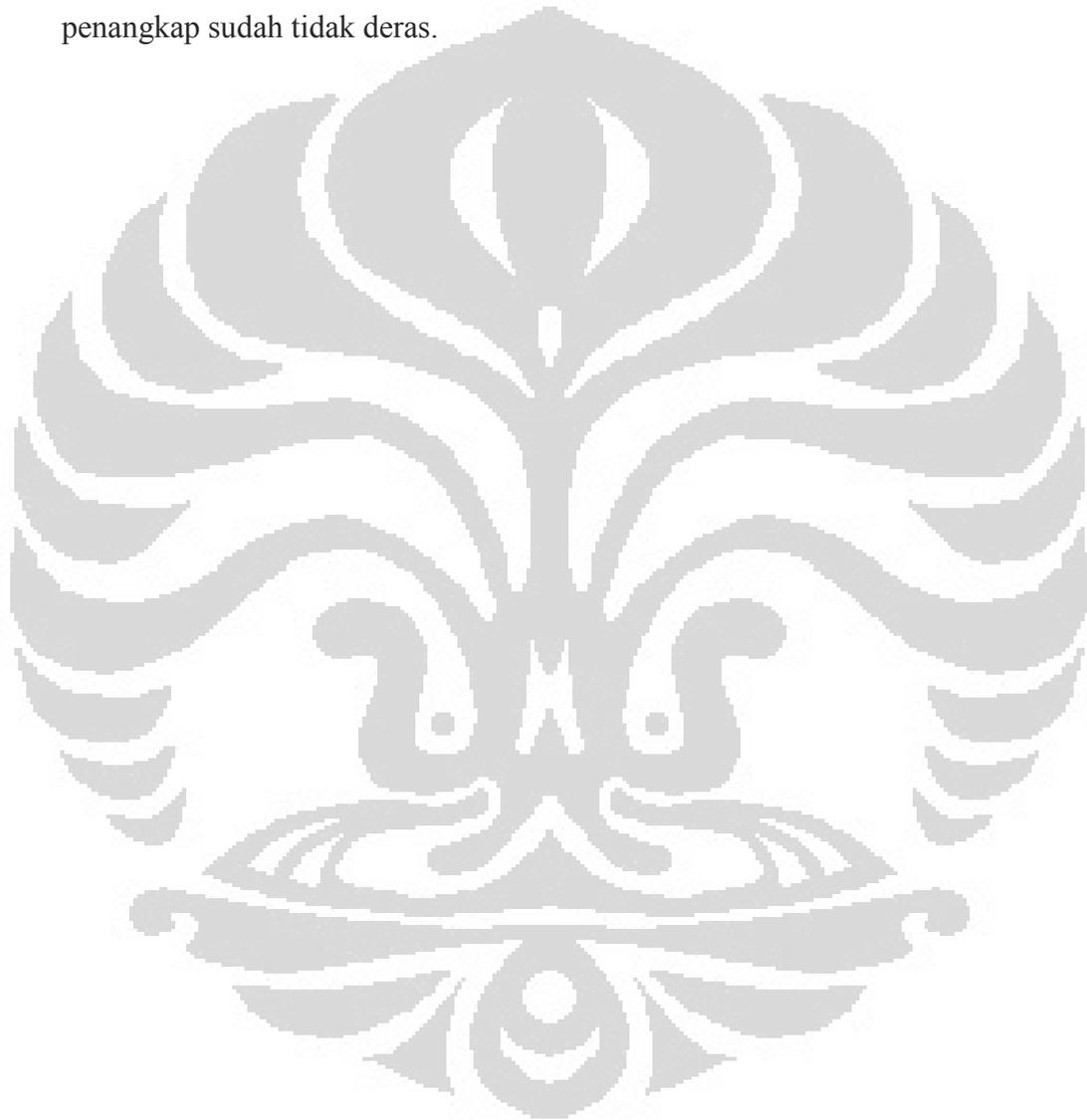
Jika drainase permukaan bertujuan mengamankan jalan rel dari gangguan air permukaan maka drainase bawah permukaan bertujuan untuk melindungi jalan rel dari gangguan air dibawah permukaan atau air tanah. Pada daerah-daerah tertentu memungkinkan muka air tanah berada cukup tinggi hingga batas yang dapat mengganggu struktur jalan rel dengan begitu dibutuhkan penanganan khusus dengan drainase bawah permukaan. Dengan begitu dapat diketahui bahwa drainase yang akan dibuat berada pada kedalaman muka air tanah tersebut sehingga mencegah air tanah itu merembes lebih tinggi lagi hingga member gangguan. Umumnya drainase bawah permukaan tanah merupakan drainase memanjang.

Konstruksi drainase bawah permukaan umumnya berbentuk pipa-pipa yang berada dibawah permukaan baik di kanan maupun kiri struktur rel dan diatasnya dipadatkan kerikil sebagai penutup dan diatas kerikil tersebut diberi lapisan kedap air. Dengan begitu maka laliran air dari bawah jalan rel akan teralihkan ke saluran tersebut sebelum mencapai lapisan diatasnya.

2.3.4 Drainase Lereng

Drainase lereng terdiri dari beberapa saluran yang bertingkat mulai dari saluran punggung yang berada dibagian lereng paling atas, saluran tengah yang

berada pada bagian tengah lereng, dan saluran penangkap yang berada disamping jalan rel. Saluran tersebut dibuat sedemikian rupa untuk memenuhi tujuan dari drainase lereng yaitu mencegah aliran air yang terlalu deras pada lereng yang berpotensi memicu erosi atau longsor pada lereng dan juga mencegah adanya limpasan air lereng kebadan jalan rel. Dengan membuat tingkatan saluran maka secara bertahap aliran akan terminimalisasi sehingga ketika mencapai saluran penangkap sudah tidak deras.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

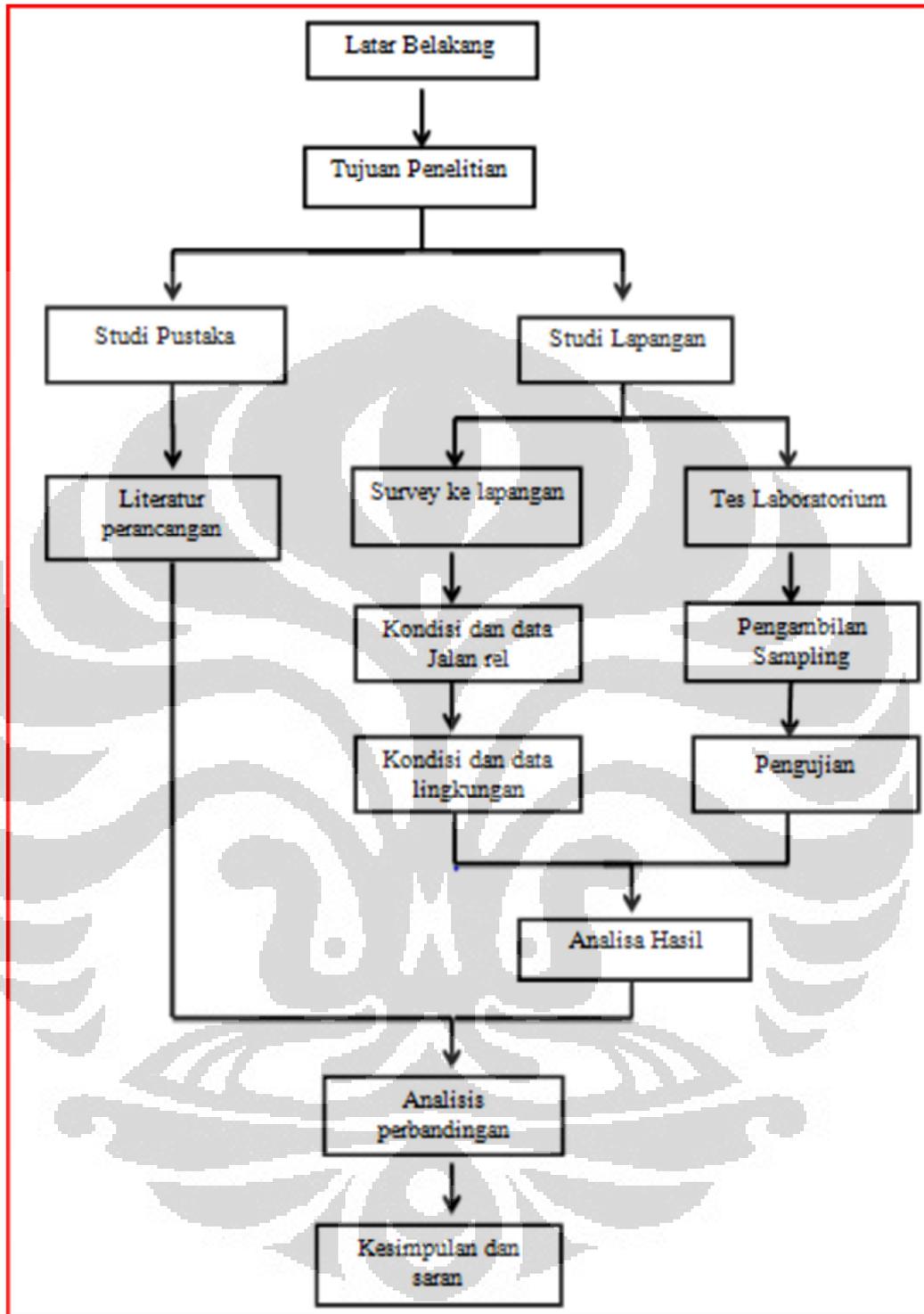
Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data-data primer dan sekunder serta bahan literatur. Data primer didapat dengan melakukan uji lab yaitu:

1. Melakukan pengujian pada tanah dasar yang diambil dan menganalisa karakteristiknya
2. Melakukan tinjauan langsung ke lapangan dan mendata kondisi existing disana
Sedangkan data sekunder dapat diperoleh dari instansi pemerintah dan swasta seperti Departemen Perhubungan, PT. KAI dan instansi lainnya yaitu berupa:
 1. Perancangan dan perawatan dari daerah rawan terjadinya kantong ballast
 2. Area jalan rel yang mengalami kerusakan kantong ballast beserta persentase dan tingkat kerusakan jalannya.

3.2 Alur

Prosedur pelaksanaan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap pertama adalah menentukan alat dan teknik uji lab yaitu dengan menentukan prosedur pengerjaannya.
2. Tahap kedua adalah dengan melakukan survei ke lapangan untuk pengumpulan data, literature serta pengambilan tanah sample
3. Tahap ketiga adalah melakukan pengujian lab dengan prosedur yang sudah ditetapkan.
4. Tahap berikutnya merangkum kesimpulan perbandingan antara literature dan hasil observasi lapangan serta menganalisa hasil uji lab
5. Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan dari hasil penelitian tersebut



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian

Sumber: Olahan Sendiri

3.3 Gambaran Umum Lokasi Studi

Lokasi studi yang ditinjau dalam penelitian ini adalah daerah kota Depok khususnya untuk jalan rel mulai dari stasiun Depok sampai dengan stasiun citayam. Dibawah ini beberapa gambaran umum mengenai kota Depok itu sendiri.

3.3.1 Geografi

Posisi geografis Kota Depok terletak pada koordinat 60 19'00" – 60 28'00" Lintang Selatan dan 106043'00" – 106055'30" Bujur Timur. Jika kita menelusuri kota Depok sesuai dengan bentangan jalan rel yaitu dari Selatan ke Utara maka akan ditemukan daerah dataran rendah dengan perbukitan bergelombang lemah yang memiliki elevasi antara 50 – 140 meter diatas permukaan laut dan mempunyai kemiringan lerengnya kurang sekitar 15 persen kebawah, khususnya untuk daerah selatan memiliki kemiringan lereng yang lebih besar. Kemiringan ini berada pada daerah-daerah yang dilewati oleh beberapa sungai yang berada di Kota Depok dan jika tidak di perhatikan dengan baik dapat berpotensi menimbulkan genangan dan banjir.

Batas-batas wilayah Kota Depok sebagai berikut :

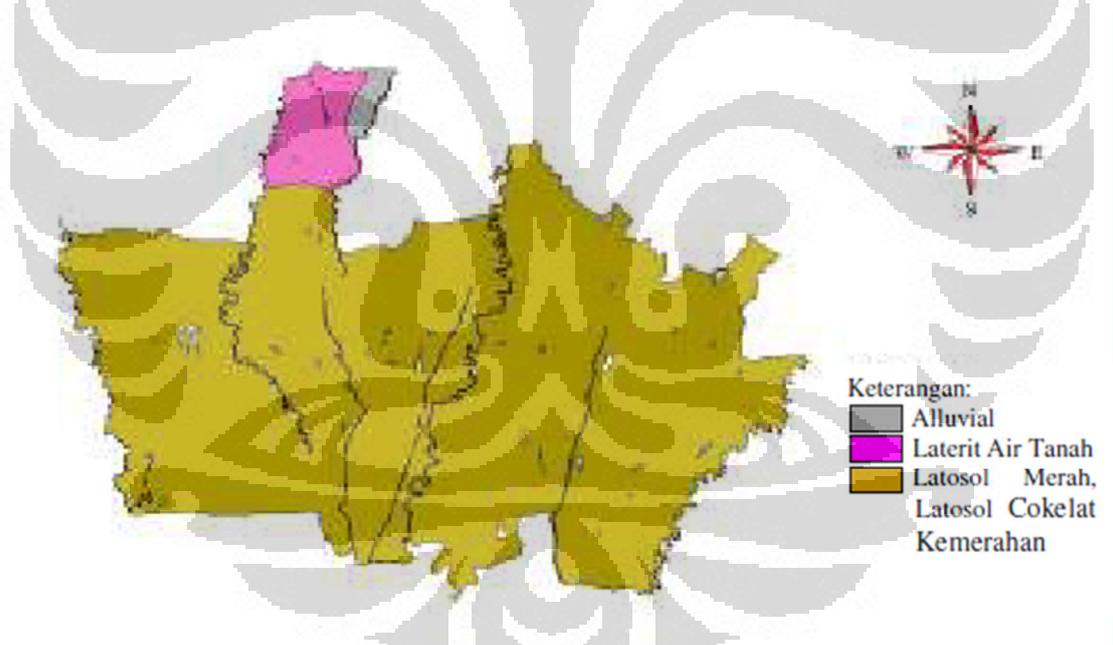
1. Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Ciputat Kabupaten Tangerang dan Wilayah Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
2. Sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Podok Gede Kota Bekasi dan Kecamatan Gunung Putri Kabupaten Bogor.
3. Sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Cibinong dan Kecamatan Bojonggede Kabupaten Bogor.
4. Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Parung dan Kecamatan Gunung sindur Kabupaten Bogor.

Untuk jalur kereta api terbentang mulai dari wilayah selatan yang berbatasan dengan Kecamatan Bojong Gede Kabupaten Bogor hingga ke utara yang berbatasan dengan wilayah DKI Jakarta

3.3.2 Geologi

Secara umum ada tiga jenis tanah pada daerah Kota Depok :

1. Tanah Alluvial, tanah endapan yang masih muda, terbentuk dari endapan lempung, debu dan pasir, umumnya tersikap di jalur-jalur sungai, tingkat kesuburan sedang - tinggi.
2. Tanah Latosol coklat kemerahan, tanah yang belum begitu lanjut perkembangannya, terbentuk dari tufa vulkan andesitis – basaltis, tingkat kesuburannya rendah – cukup, mudah meresapkan air, tanah terhadap erosi, tekstur halus.
3. Asosiasi Latosol merah dan laterit air tanah, tanah latosol yang perkembangannya dipengaruhi air tanah, tingkat kesuburan sedang, kandungan air tanah cukup banyak, sifat fisik tanah sedang – kurang baik.



Gambar 3.2 Peta Jenis Tanah Kota Depok

Sumber: BAPPENAS Depok

Jika dilihat dari Peta jenis tanah kota Depok di atas maka akan terlihat bahwa jenis tanah yang mendominasi khususnya untuk wilayah selatan adalah jenis tanah latosol merah dan coklat merah.

3.3.3 Iklim dan Cuaca

Depok memiliki dua musim cuaca seperti yang terjadi di seluruh Indonesia yaitu musim kemarau dan penghujan. Untuk curah hujan di kota ini Kondisi curah hujan di seluruh wilayah di daerah Depok relatif sama, dengan rata-rata curah hujan sebesar 327 mm/bulan. Wilayah Depok termasuk dalam daerah beriklim tropis dengan perbedaan curah hujan yang cukup kecil dan dipengaruhi oleh iklim musim, secara umum musim kemarau terjadi antara bulan April-September dan musim hujan antara Oktober-Maret. Namun tetap saja terkadang cuaca tidak menentu meski tetap didominasi oleh musim yang sedang berlangsung.

3.3.4 Hidrologi Sungai

Beberapa sungai yang mengalir melalui kota Depok adalah sebagai berikut:

1. Sungai Angke

Sungai ini merupakan batas wilayah antara kota Depok dan Kabupaten Tangerang, mengalir kearah utara, Sungai Angke ini mempunyai perbedaan debit yang besar antara musim hujan dan musim kemarau.

2. Sungai Ciliwung

Sungai Ciliwung digunakan sebagai sumber mata air baku bagi kota Depok dan Jakarta. Pada perbatasan dengan DKI Jakarta dan Jawa Barat pada musim kemarau mempunyai debit sebesar 9,06-13,40 m³/detik.

3. Sungai Pesanggrahan

Sungai ini merupakan sumberdaya air terpenting untuk Sawangan, dan kondisi air berwarna coklat bercampur Lumpur dan Kotoran. Sungai ini mempunyai fluktuasi yang tinggi antara musim hujan dan musim kemarau. Bahkan pada musim hujan sering menimbulkan banjir setempat. Berdasarkan data debit dari Balitbang PU, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan Bandung antara 1992 – 1996 statistik pengukuran Sawangan debit minimum adalah $Q_{min} = 350$ lt/detik (sumber RTRW Kota Depok tahun 2000). Pada jalan rel dari st Depok hingga stasiun Citayam selalu berdampingan posisinya dengan sungai Ciliwung.

Danau/Situ

Selain sungai, di Depok juga terdapat beberapa danau/situ. Menurut Bagian Lingkungan Hidup di Kota Depok terdapat sekitar 25 situ. Sementara itu hasil survey lapangan yang dilaksanakan oleh Innerindo Dinamika terdapat sekitar 30 situ. Situ citayam menjadi situ yang berada disekitar daerah jalan rel citayam-depok

Air Tanah

Di kota Depok banyak ditemukan sumur gali untuk kebutuhan air bagi kehidupan masyarakat. Pada umumnya kondisi sumur gali baik, tetapi air tawar di sebagian tempat kondisinya keruh dan berbau, untuk kedalaman rata-rata air tanah dangkal adalah 10 m.

3.3.5 Jalan Rel Sebagai Jalur Transportasi

Depok yang terletak diantara Bogor dan Jakarta menjadi salah satu jalur transportasi utama ketiga kota tersebut. Keberadaan Jakarta sebagai Ibukota Negara dan salah satu pusat perekonomian dan lapangan kerja membuat banyak orang bertransportasi ke dan dari Jakarta, termasuk juga penduduk di Kota Bogor dan Depok. Salah satu lalu lintas angkutan yang menjadi pilihan banyak orang adalah kereta api. Angkutan KRL merupakan alat transportasi yang banyak diminati karena biayanya yang relative murah dan cepat sampai di tujuan. Di Depok sendiri ada 5 stasiun kereta api dari wilayah selatan hingga utara.

Tabel 3.1 Jumlah Penumpang Kereta Api Menurut Stasiun Kota Depok Tahun 2007

No Kode	Stasiun	Umum	Kartu		Jumlah
			Trayek Bulanan	Langganan Sekolah	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
010	Pondok Cina	1.047.114	337.910	-	1.385.024
020	Depok Baru	4.762.706	27.256	-	4.789.962
030	Depok Lama	3.111.409	189.023	3.409	3.303.841
040	UI	1.556.970	447.976	-	2.004.946
050	Citayam	1.759.309	18.378	3.305	1.780.992
	Jumlah	12.237.508	1.020.543	6.714	13.264.765

Catatan : Kota Depok dalam Angka 2007

3.3.6 Penggunaan Lahan Kota Depok

Sejauh ini Kota Depok selalu berkembang mengikuti perkembangan yang terjadi di DKI Jakarta yang berbatasan langsung dengan kota tersebut. Perkembangan tersebut juga berdampak pada penggunaan lahan di Kota Depok. Sebagian besar tanah darat merupakan areal pemukiman sesuai dengan fungsi kota Depok yang dikembangkan sebagai pusat pemukiman, pendidikan, perdagangan dan jasa. Secara rinci penggunaan lahan menurut Bapeda tahun 2007 adalah sebagai berikut :

1. Pemukiman: 10.968 Ha
2. Pertanian: 4.653 Ha
3. Industri: 344 Ha
4. Rawa / Setu: 91 Ha
5. Lain-lain: 3.973 Ha

Terlihat bahwa penggunaan lahan terbesar adalah untuk pemukiman dan ini juga terus berkembang, begitu juga untuk daerah sepanjang jalur kereta citayam-depok. Disepanjang jalur tersebut terdapat banyak sekali perumahan dan kompleks yang memfasilitasi penduduk yang bekerja di Jakarta dan bermukim di Depok untuk memilih tinggal di daerah yang dekat dengan stasiun kereta.

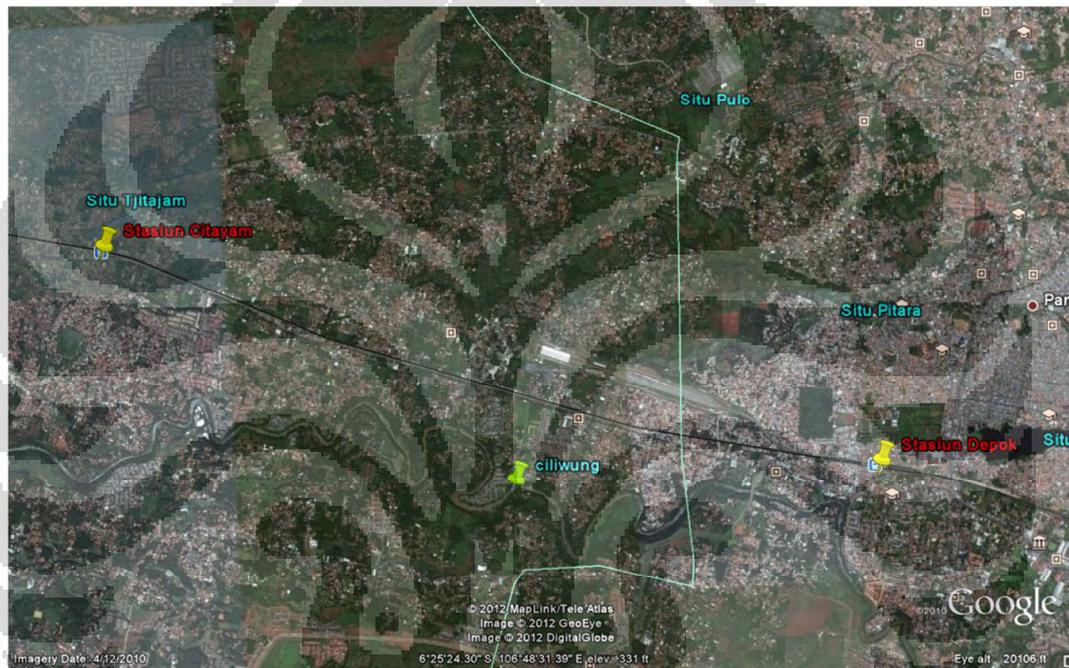
BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 Survey Lapangan

4.1.1 Struktur Jalan Rel

Berikut adalah gambar satelit jalan rel dari stasiun citayam (selatan) ke satasiun depok (utara):



Gambar 4.1 jalan rel dari stasiun citayam (selatan) ke satasiun depok (utara)

Sumber: Google Map

A. Kondisi Umum

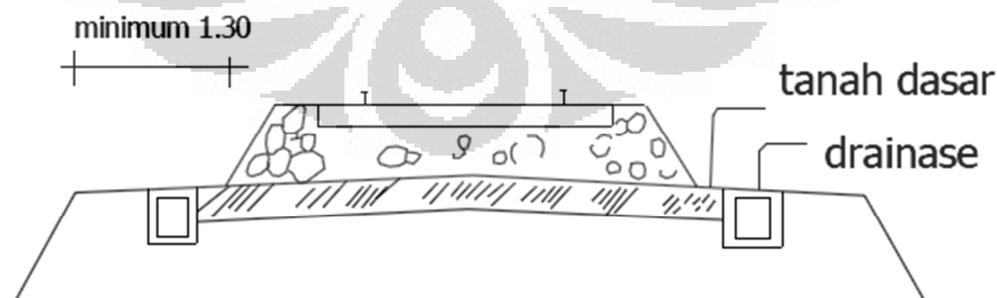
Stasiun Depook berada pada km 32.8 sedangkan stasiun Citayam berada pada km 37.6. Dari titik tersebut diketahui bahwa jarak perlintasan jalan rel kedua stasiun ini adalah 5km. Terdapat dua jalur rel yaitu jalur menuju utara atau Jakarta yang berada di sebelah timur, dan jalur menuju selatan atau Bogor yang berada disebelah barat. Secara umum ketinggian pada jalur barat yang mengarah Bogor mempunyai rata-rata lebih tinggi dibandingkan satunya, sering berbatasan dengan lereng yang lebih tinggi dari jalan rel tersebut dan didominasi berbatasan dengan pemukiman dan kebun. Sedangkan untuk jalur satu lagi cenderung lebih rendah,

dan selain berbatasan dengan pemukiman sering juga berbatasan dengan jalan raya citayam yang menghubungkan depok-bogor.

Jalan rel ini dilewati secara umum oleh dua jenis kereta yaitu kereta commuter line dan kereta ekonomi dan keduanya tergolong kereta ringan. Namun tak jarang juga dilewati oleh kereta diesel atau barang yang tidak mengangkut penumpang tapi karena satu dan lain hal melewati jalur ini untuk menuju stasiun bogor dan sukabumi daerah operasionalnya. Dalam waktu satu jam saja satu jalur dapat dilewati oleh 6,7 hingga 8 kali oleh kereta commuterline maupun ekonomi. Dari data jadwal kereta terbaru yang berlaku mulai 1 Desember 2011 ada 111 kali perjalanan kereta arah Bogor yang melalui stasiun depok lama dan 110 kali untuk arah Jakarta dalam waktu 1 hari. Di sepanjang rel ini pun banyak didapatkan perumahan-perumahan dan juga untuk arah timur dari rel ini terdapat kali ciliwung.

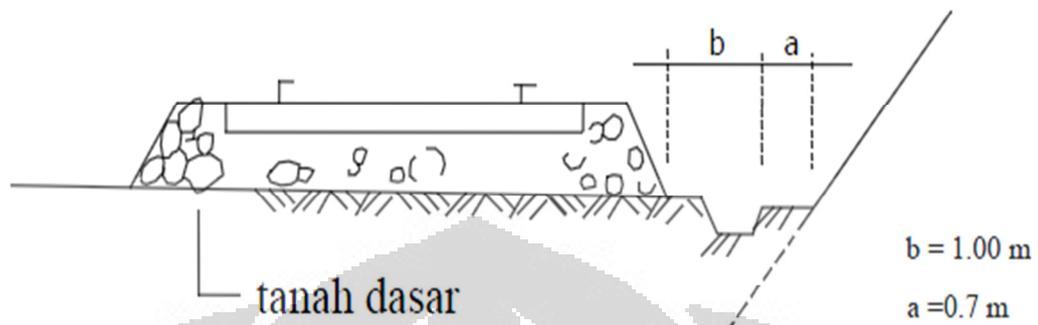
B. Badan Jalan

Dalam hasil tinjauan langsung ke lapangan, untuk jalan rel dari Depok ke Citayam ditemukan banyak titik yang tidak memiliki badan jalan yang ideal. Jika menurut PD 10 yang menjadi acuan PT.KAI harus ada jarak antara ujung bahu ballas ke daerah non-badan jalan rel, yang lebih besar dari 1.3 meter jika dalam bentuk timbunan hingga 1.7 meter jika dalam bentuk galian, masih ditemukan banyaak titik yang terlalu berhimpitan dengan rumah atau bangunan warga baik dari aspek fisik bangunan maupun penggunaan.



Gambar 4.2 Gambar badan jalan rel ideal untuk timbunan

Sumber: PT. KAI



Gambar 4.3 Gambar badan jalan rel ideal untuk galian

Sumber: PD 10 PT. KAI

Jika melihat data observasi langsung ke lokasi, dari km 32.6 sampe km 37.6 didapat kan kondisi badan jalan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Kondisi Badan Jalan Rel

Titik (km)	panjang (m)	Kondisi Badan Jalan	
		rel timur	rel barat
32.6 - 33.6	1000	ketinggian sejajar	ketinggian sejajar
		berhim pitan dengan pemukiman	Berhimpitan dengan pemukiman
			dan kebun
33.6 - 33.8	200	mulai ada jarak dan pemisah	tanah sebelah barat lebih rendah,
		dengan pemukiman	ada dinding penahan ballas
33.8 - 33.9	100	idem	jarak lebih besar, ketinggian tanah
			luar lebih tinggi
33.9 - 34.2	300	ketinggian tanah luar lebih tinggi	tanah luar sejajar dengan jarak
		jarak mengecil dan	yang mengecil dan berhimpitan

		berhimpitan	
34.2 - 34.7	500	sisi luar berupa jalan raya, jarak	jarak masih terlalu kecil dengan
		besar dengan perbedaan tinggi	tanah luar lebih tinggi dgn kondisi
		yang significant, rel lebih tinggi	lereng kecil ke arah rel
34.7 - 35.0	300	idem	kondisi tanah dengan sisi luar sejajar dan jarak sudah baik
35.0 - 35.4	400	idem	jarak baik dan jelas pembatasnya
35.4 - 35.8	400	idem	rel barat lebih tinggi dari rel timur
			ketinggian sejajar dengan sisi luar
			jarak berhimpitan pemukiman
35.8 - 36.0	200	idem	tanah sisi luar lebih tinggi, ada dinding penahan tanah, jarak kecil
36.0 - 36.2	200	berhimpitan dengan pemukiman	berhimpitan dengan pemukiman
		ketinggian sama dengan sisi luar	ketinggian sama dengan sisi luar
36.2 - 36.6	400	idem	sisi luar lebih tinggi, jarak baik
36.6 - 37.0	400	jarak baik berbatasan jalan raya	sisi luar lebih tinggi, ada penahan
37.0 - 37.4	400	idem	jarak baik dan jelas pembatasnya
			ketinggian sama dengan sisi luar
37.4 - 37.6	400	Jarak kecil, berhimpitan bangunan	Jarak kecil, berhimpitan bangunan

Sumber: Olahan Sendiri

Dengan melihat hasil inspeksi pada table tersebut, terlihat masih ada beberapa titik yang jarak antara bahu ballas dengan lahan non-jalan rel yang berhimpitan atau dibawah jarak minimum. Mayoritas terjadi karena berhimpitan

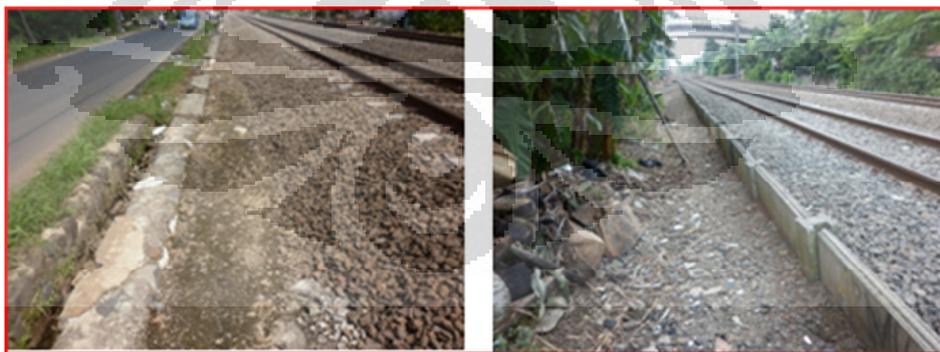
dengan gedung atau pemukiman. Terlihat bahwa daerah di sepanjang rel ini merupakan daerah yang ramai karena jarang ditemukan lahan kosong.



Gambar 4.4 Dataran yang lebih tinggi (kiri) berhimpitan pemukiman (Kanan)

Sumber: Olahan Sendiri

Tinggi rel barat pun relative lebih tinggi dan cukup significant perbedaannya dengan rel timur padakm 35.4 sedangkan untuk rel timur sering berdampingan dengan jalan raya yang juga merupakan jalan penghubung Depok dan bogor. Pembatas jalan rel yang cukup jelas sendiri terdiri dari saluran drainase, pagar, ataupun dinding penahan. Namun banyak daerah yang berhimpitan dengan jalan rel yang tidak memiliki pembatas yang jelas.

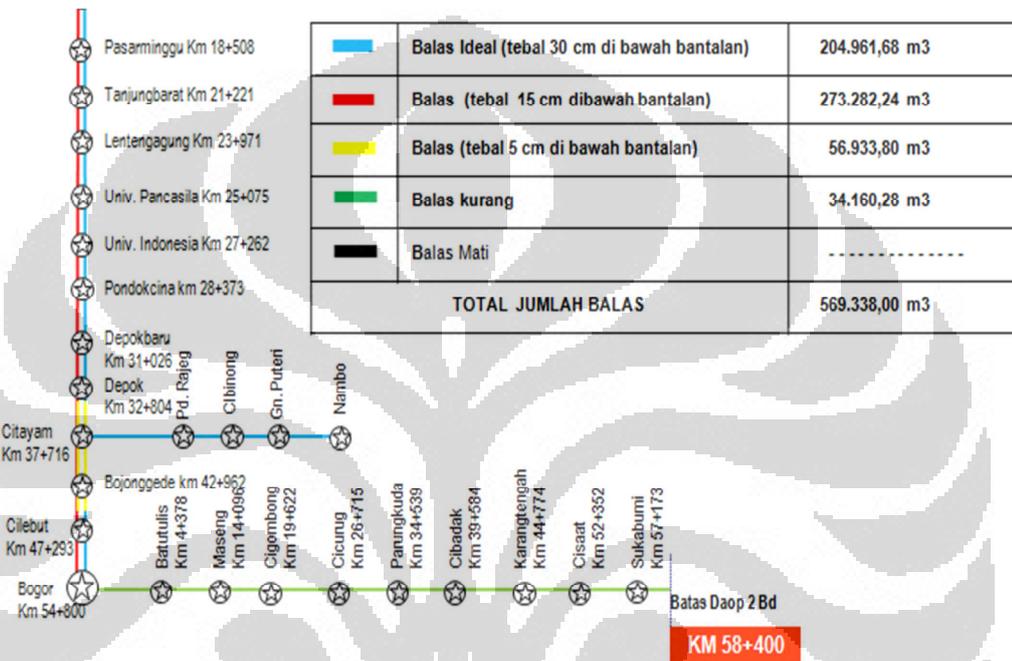


Gambar 4.5 Bersebelahan Jalan Raya (Kiri) dan Dinding Penahan (Kanan)

Sumber: Hasil Olahan Sendiri

C. Ballas

Ballas pada jalan rel dari depok ke citayam mempunyai kondisi ketebalan yang berbeda-beda. Besar agregat yang disyaratkan untuk sebuah ballas bari berukuran kurang lebih 2x3 cm. Dari data yang didapatkan dari PT.KAI untuk jalan rel dari Depok menuju Citayam memiliki ketebalan hingga 5cm dibawah bantalan.



Gambar 4.6 Kondisi Ballas

Sumber: Olahan Sendiri

Dilihat dari gambar diatas diketahui bahwa untuk daerah jalan rel dari depok hingga citayam ternyata merupakan daerah dengan rata-rata tebal ballas yang kecil. Dari hasil tinjauan langsung kelapangan juga ditemukan beberapa titik dimana ballas berada dibawah batas standar meski ada beberapa titik yang terlihat cukup khususnya untuk ballas bawah. Untuk ballas atas pun ada beberapa daerah yang tidak memiliki bahu ballas yang memadai. Secara umum terlihat seakan kondisi ballas pada jalur ini kurang dari yang dibutuhkan secara ideal. Dibawah ini merupakan data hasil tinjauan langsung ke lokasi.



Gambar 4.7 Ballas tipis tanpa bahu (kiri) dan Ballas sedang dengan bahu (kanan)

Sumber: Olahan Sendiri

Tabel 4.2 Kondisi Ballas

Titik (km)	panjang (m)	Kondisi Ballas	
		rel timur	rel barat
32.6 - 33.2	600	ballas tipis dengan banyak daerah tanpa bahu ballas. Jumlah cukup untuk daerah wesel dan sambungan	ballas tipis dengan banyak daerah tanpa bahu ballas. Jumlah cukup untuk daerah wesel dan sambungan
33.2 - 33.8	600	Tebal ballas sedang dengan sudah adanya bahu ballas	Tebal ballas sedang dengan sudah adanya bahu ballas
33.8 - 34.2	300	ketebalan ballas tipis kembali, beberapa titik masih ada bahu ballas	ketebalan ballas tipis kembali, beberapa titik masih ada bahu ballas
34.2 - 34.7	500	ketebalan ballas baik dan bahu ballas jelas	Ketebalan ballas sedang, bahu ballas berbatasan dengan lereng
34.7 - 35.0	300	ballas tipis, bahu ballas hanya melebar	ballas tipis, bahu ballas hanya melebar
35.0 - 35.4	400	ballas sedang dengan bahu jalan jelas	ballas rel barat lebih tebal dibanding rel timur karena ada beda ketinggian
35.4 - 36.0	600	ballas tipis, bahu ballas hanya melebar	ballas sedang karena berbeda tinggi
36.0 - 36.2	200	ballas sedang dengan bahu jalan jelas	ballas sedang dengan bahu jalan jelas
36.2 -	400	ballas tipis, bahu jalan hanya	ballas sedang, kondisi lebih

36.6		melebar	tinggi
36.6 - 37.0	400	ballas sedang dengan bahu jalan jelas	ballas sedang dengan bahu jalan jelas kondisi rel barat lebih tinggi
37.0 - 37.6	600	ballas sangat tipis	ballas sangat tipis

Sumber: Olahan Sendiri

Dalam tabel tersebut ballas dengan ketebalan tipis adalah < 5 cm seperti yang ada pada data dari PT.KAI sedangkan untuk ballas sedang dengan ketebalan $> 5-15$ cm seperti yang didapat dari literatur perancangan. Untuk ballas dengan ketebalan baik dengan ketebalan > 15 cm. Ketebalan secara kasat mata juga dapat terlihat dari kondisi bahu ballas. Jika bahu ballas sudah tidak memadai dan tidak mempunyai ketinggian dan daerah yang jelas maka kemungkinan ketebalan ballas pun kecil.



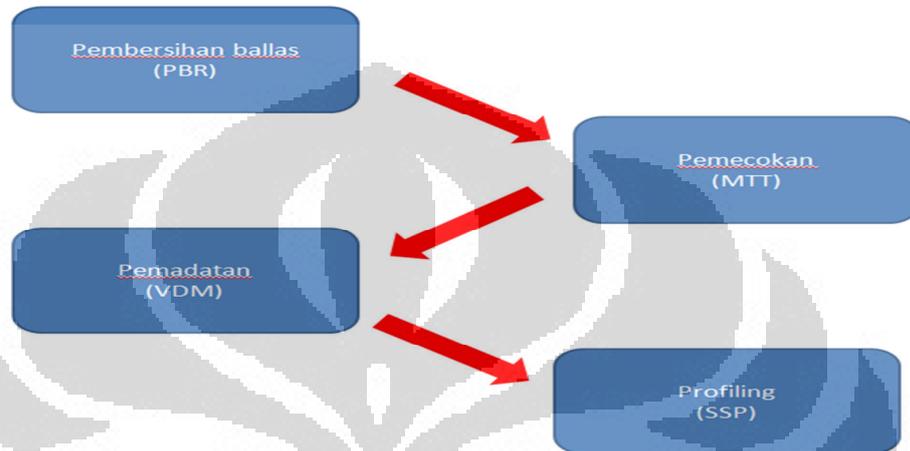
Gambar 4.8 ballas dibawah bantalan (kiri) beda ketinggian (kanan)

Sumber: Olahan Sendiri

Secara perlahan ballas yang berada pada jalan rel akan mengalami keausan dan akan hancur menjadi agregat yang lebih kecil atau bahkan kerikil, pasir dan debu. Oleh karena itu PT. KAI mengirimkan ballas baru secara rutin untuk disebar sepanjang jalan rel tersebut termasuk untuk daerah Depok-Citayam. Ballas dikirim dengan KLB dan pada setiap akhir tahun tiap resort akan mengajukan permohonan penambahan ballas ke Daops. Untuk tahun 2011 resort Depok lama yang mengawasi jalan rel Depok-Citayam menerima pasokan ballas baru sebanyak

1800 m³ dan untuk tahun 2010 mendapat kiriman 1900 m³. Seluruh ballas kiriman ini akan disebar untuk memenuhi kebutuhan ballas pada tiap titik.

Untuk pemeliharaan ballas sendiri PT.KAI mempunyai alur perawatan yaitu berupa:



Gambar 4.9 Alur Pemeliharaan Ballas

Sumber: PT KAI

Mesin-mesin tersebut dijadwalkan untuk secara rutin beroperasi 2 kali dalam setahun pada jalan rel di tiap resort namun sesuai dengan kebutuhan dan ketersediaan anggaran dapat berubah menjadi satu kali. MTT sendiri memiliki berat yang cukup besar sehingga ketika melewati jalan rel yang dipergunakan untuk kereta ringan akan juga berdampak pada percepatan kerusakan ballas sehingga pengoperasian mesin ini harus dicermati dengan kemungkinan penambahan ballas untuk tiap operasionalnya.

D. Tanah dasar

Pada observasi lapangan, secara umum tanah merah kecokelatan mendominasi wilayah jalan rel depok-citayam. Ketinggian tanah dasar pada umumnya untuk sisi rel bagian timur sama dengan jalan rel ketika berdampingan dengan pemukiman dan lebih rendah ketika berdampingan dengan jalan atau sungai. Untuk sisi rel bagian barat seringkali ditemukan kondisi tanah dasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalan rel sehingga ada beberapa tempat yang dipasang dinding penahan tanah.



Gambar 4.10 Lokasi Pengambilan tanah Dasar Km.35

Sumber: Olahan Sendiri

Untuk sifat fisik tanah para petugas resort depok cukup mengeluhkan kondisi tanah yang cepat menjadi lumpur ketika terkena air dan ketika sudah mengering akan sangat keras. Ada juga petugas yang mengeluhkan kemampuan resapan air yang rendah. Sifat-sifat fisik tersebut akan memiliki dampak terhadap fenomena kantong ballas. Untuk itu diambil sample tanah dasar pada km 33, 35, dan 36 untuk dilakukan pengujian karakteristik di lab.

E. Drainase

Jika dibagi menurut jenis dan fungsinya drainase dibagi menjadi 3 jenis yaitu drainase atas, bawah, dan lereng. Pada daerah yang ditinjau dalam penelitian ini hanya terdapat drainase atas saja yang berfungsi untuk mengalirkan air yang berasal dari permukaan tanah baik itu hujan, limpasan dan lainnya. Untuk drainase bawah tidak ditemukan dan memang dilihat dari fungsinya mengantisipasi aliran air tanah, dan untuk daerah penelitian muka air tanah sendiri jauh dibawah struktur jalan rel sendiri yaitu sekitar 8-12 m. Meski pada sisi barat jalan rel masih sering ditemukan lereng kecil yang lebih tinggi dari jalan rel namun perbedaan tinggi masih dibawah 1 m dan luasan lereng yang tidak besar sehingga arus air lereng masih dapat ditampung oleh drainase permukaan jika di

desain dengan baik. Untuk lereng yang memungkinkan terjadi erosi pun sudah dibuatkan dinding penahan tanahnya.



Gambar 4.11 Tidak ada Saluran Drainase (kiri) dan Saluran Drainase (kanan)

Sumber: Olahan Sendiri

Sangat disayangkan bahwa drainase atas pun masih tidak berada disepanjang jalan rel tersebut, banyak titik-titik dimana saluran drainase tersebut tidak dapat ditemukan. Padahal dilihat dari fungsinya mempunyai peranan yang cukup penting. Kondisi struktur jalan rel dengan kemiringan ballas dan tanah dasar yang tidak mengarah keluar pun membuat beberapa titik yang sudah mempunyai saluran drainase pun menjadi percuma karena aliran air malah mengalir ke tengah jalur. Keberadaan pemukiman yang berhimpitan dengan jalan rel juga menambah urgensi dari saluran drainase karena juga harusnya menampung limpasan air dari sisi luar jalan rel agar tidak mengganggu struktur jalan rel. Kegagalan pada system drainase menjadi salah satu penyebab timbulnya fenomena kantung ballas.



Gambar 4.12 Ada Genangan (kiri) dan tidak Ada drainase (kanan)

Sumber: Olahan Sendiri

Berikut ini merupakan hasil observasi lapangan untuk saluran drainase.

Tabel 4.3 Kondisi Saluran Drainase

Titik (km)	panjang (m)	Kondisi saluran drainase	
		rel timur	rel barat
32.6 - 33.6	1000	Tidak terdapat saluran drainase berhimpitan dengan pemukiman	Tidak terdapat saluran drainase berhimpitan dengan pemukiman
33.6 - 33.9	200	terdapat saluran drainase	Tidak terdapat saluran drainase
33.9 - 34.2	300	Tidak terdapat saluran drainase tanah lereng ke arah rel	terdapat saluran namun menggenang tanah lereng mengarah ke rel
34.2 - 34.7	500	terdapat saluran drainase	Tidak terdapat saluran drainase
		berbatasan dengan jalan raya	terdapat genangan ke arah jalan rel
34.7- 35.0	300	idem	Tidak terdapat saluran drainase
35.0 - 35.4	400	terdapat saluran drainase, struktur tanah mengarah ke tengah jalan rel	terdapat saluran drainase, struktur tanah mengarah ke tengah jalan rel
35.4 - 35.8	400	terdapat saluran drainase	Tidak terdapat saluran drainase
35.8 - 36.0	200	terdapat saluran drainase	Tidak terdapat saluran drainase sisi luar lebih tinggi

36.0 - 36.2	200	Tidak terdapat saluran drainase terdapat genangan samping dan tengah	Tidak terdapat saluran drainase terdapat genangan samping dan tengah
36.2 - 36.6	400	Tidak terdapat saluran drainase	Tidak terdapat saluran drainase tanah sisi luar lebih tinggi
36.6 - 37.0	400	terdapat saluran drainase	terdapat saluran drainase sisi luar lebih tinggi
37.0 - 37.2	200	terdapat saluran drainase	terdapat saluran drainase
37.2- 37.6	400	Tidak terdapat saluran drainase	Tidak terdapat saluran drainase

Sumber: Olahan Sendiri

Meninjau dari kondisi lokasi jalan rel, untuk perancangan saluran drainase dapat dilakukan pengaliran air kearah timur dimana terdapat sungai ciliwung dengan letak yang tidak jauh dan hanya dipisahkan oleh jalan raya, tinggal bagaimana saluran dari barat bisa mengalir memotong jalan rel tanpa mengganggu untuk kearah timur dan juga bagaimana memotong jalan raya tanpa mengganggu struktur dan fungsinya. Hanya saja jika dilihat dari masih banyaknya daerah tanpa saluran drainase disekeliling jalan rel menandakan perencanaan dan pemanfaatan yang belum ideal.

1. Perawatan dan Pemeliharaan

- Resort JJ Depok

Resort JJ Depok menjadi pananggung jawab atas perawatan dan perbaikan setiap kerusakan pada jalan rel sepanjang km29 sampai km41 termasuk didalamnya daerah Depok-Citayam. Kerusakan yang terjadi harus diketahui dengan cepat agar segera dapat diambil tindakan perbaikan guna menghindari efek negative dari kerusakan tersebut. Hal yang paling dikhawatirkan dari setiap kerusakan adalah dampak bahaya terhadap keselamatan perjalanan kereta. Resort ini dikepalai oleh Bpk. Sukardi dan dibawahnya ada beberapa staf beserta regu pekerja.

- Inspeksi

Pengecekan akan adanya kerusakan dilapakan dilakukan secara berkala. Untuk beberapa hal mengenai rel, wesel, sambungan, dan lainnya dilakukan pengecekan dan perawatan rutin sebulan sekali. Begitu juga untuk inspeksi sepanjang jalan rel dilakukan sebulan sekali dengan menyisir seluruh wiayah dengan berjalan kaki. Dari hasil inspeksi tersebut akan diketahui segala permasalahan atau fenomena yang terjadi dari laporan inspeksi lalu berikutnya akan diambil tindakan penanganan. Selain pengecekan sebulan sekali ada juga pengecekan mingguan dengan cara para petugas melakukan inspeksi dengan menaiki kereta yang melintas dan berada di tempat manisis agar dapat mengamati keadaan jalan rel baik dari visual maupun getaran yang diakibatkan pada kereta.

- Penanganan

Setelah mendapatkan laporan dari hasil inspeksi atau perawatan rutin, jika terdapat masalah paada jalan rel maka akan diambil tindakan penanganan. Resort Depok memiliki 2 regu beranggotakan kurang lebih 9 orang untuk mengerjakan penanganan tersebut. Jika dari laporan gangguan yang ada masih dapat dikontrol sendiri maka akan segera dibuat program pengerjaan, namun jika ada kebutuhan seperti material, alat dan lainnya dari kantor Da ops 1 Jakarta maka kan ada pengajuan program terlebih dahulu ke kantor Da Ops 1 Jakarta. Penanganan yang diambil akan sebisa mungkin dilakukan siang hari namun tidak boleh mengganggu perjalanan kereta api, jika mengganggu maka akan terpaksa dipindah ke malam hari.

- Gangguan Umum

Hasil dari wawancara dengan Kepala Resort Depok, Pak Sukardi, ada 3 gangguan utama yang menjadi langganan pekerjaan, yang pertama adalah keausan pada kepala rel, retak atau pecah pada bantalan, dan terjadinya kantong ballas atau lebih sering disebut sebagai kecrotan. Untuk keausan pada rel yang berbahan dasar baja, karena harga yang cukup tinggi maka usaha pertama adalah menukar dengan rel yang kondisinya masih baik dan posisinya tidak terganggu oleh keausan tersebut. Untuk bantalan yang retak atau pecah satu-satunya jalan yang harus diambil adalah penggantian bantalan. Penyebab retaknya bantalan pun salah satunya adalah gangguan umum ketiga yaitu kecrotan, secara tidak langsung

kecrotan akan memicu terjadinya retak dan patah pada rel. Fenomena kecrotan ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

2. Fenomena Kantong Ballast Pada Lokasi Penelitian

- Jumlah Kecrotan

Pada subbab sebelumnya sudah diketahui bahwa kantong ballas atau kecrotan merupakan salah satu gangguan atau kerusakan yang paling sering terjadi di jalan rel wilayah citayam-depok. Sudah sejak lama kecrotan ini terjadi di berbagai titik dan seakan tidak ada henti-hentinya. Dalam setahun saja untuk jalur kereta ini terjadi hingga puluhan titik. Dibawah ini daftar table kejadian kecrotan di wilayah tersebut.

Tabel 4.4 Jumlah Kecrotan Di Wilayah Depok- Citayam (dalam m)

km	2009		Jan-10		Juli -10		10-Nov		Des-10		Juli-11		2012		jumlah		
	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	total
33	127	12	139	52	15	14	40	10	47	11	73	26	53	16	494	141	635
34	104	8	188	52	12	5	66	13	76	16	106	10	130	11	682	115	797
35	151	17	185	17	12	8	64	26	61	31	86	47	170	26	729	172	901
36	43	4	27	100	11	17	55	37	67	45	44	43	43	38	290	284	574
total	425	41	539	221	50	44	225	86	251	103	309	126	396	91	2195	712	2907
jmlh	466		760		94		311		354		435		487		2907		

Sumber: PT KAI

Dari data table diatas dapat dilihat betapa sering dan banyaknya kecrotan yang berada di jalan rel antara depok-citayam. Dengan kuantitas yang tinggi ini membuat seakan pengerjaan perbaikan pada kecrotan menjadi pekerjaan tetap yang tidak pernah habis dan muncul diberbagai tempat. Dapat dilihat juga dari angka yang ada bahwa untuk rel bagian barat (hulu) lebih sering dan banyak mengalami kejadian kantong ballas dibanding dengan rel yang sebelah timur (hilir). Hal ini disebabkan dengan posisi rel hulu yang berbatasan dengan lereng yang lebih tinggi dan masih banyak daerah yang tidak memiliki saluran drainase sehingga limpasan air samping akan masuk dan menggenang di jalan rel tersebut dan menimbulkan kecrotan.

Dengan penyebab terjadinya kecrotan ini salah satunya adalah adanya genangan air membuat fenomena kecrotan ini lebih sering dan banyak terjadi ketika musim penghujan dimana aliran air hujan yang tidak teralirkan akan menggenang dan mempunyai voume besar dan waktu terik matahari sedikit membuatnya lama mongering. Meskipun tidak musim hujan pun masih mungkin terjadi dengan adanya air limpasan pada wilayah dikanan dan kiri jalan rel.

- Ciri-ciri Fisik

Saat inspeksi dilakukan, kecrotan yang terjadi dapat terlihat dengan ciri-ciri fisik yang dia miliki. Jika terlihat ada genangan lumpur yang sudah sampai mengotori bagian atas ballas maka sudah dikategorikan kedalam kecrotan. Namun sering kali itu terlihat jelas sebagai genangan ketika setelah hari hujan, ketika hari terik dan kondisi kering, dengan meliat kebersihan dan adanya lumpur yang mengeras dan mengikat serta mengotori ballas dapat diprediksi sebagai kecrotan.



Gambar 4.13 Kecrotan Basah

Sumber: Hasil Inspeksi



Gambar 4.14 Kecrotan Kering

Sumber: Hasil Inspeksi

- Dampak Kecrotan di Lapangan

Adanya kecrotan di lokasi jalan rel memberi dampak negative terhadap struktur jalan rel khususnya untuk bantalan dan struktur bawahnya. Jika tidak segera diatasi kecrotan yang berupa mud pumping akan terpompa keatas dan mengikat ballas yang seharusnya memiliki kemampuan getar. Ketika basah dan terkena beban maka lumpur akan semakin terpompa dan bantalan akan tertekan ke dalam. Kemudian akan mengering dan membuat ballas terjebak dalam endapan kotor. Setelah itu juga akan terjadi rongga-rongga karena bergerakan lumpur dan ballas dibawah bantalan tersebut yang ketika terlewati oleh kereta akan menyebabkan hentakan karena tekanan yang datang. Hentakan itu menjadi keras karena rongga yang terbentuk dan dapat memicu keretakan dan patahnya bantalan rel. Jika bantalan rel sudah patah maka akan memicu bahaya berupa bergesernya kedudukan rel yang sudah tidak memiliki penyangga. Secara perlahan pun endapan lumpur kecrotan dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur bawah jalan rel yang akan kehilangan daya dukung dan ketahanannya.



Gambar 4.15 Gambaran Bantalan Retak (Kiri) dan Gambar Bantalan Patah (Kanan)

Sumber: Hasil Inspeksi

- Perbaikan Kecrotan

Alur perbaikan kecrotan atau kantung ballas pada wilayah jalan rel ini adalah dengan melakukan pengangkatan pada rel menggunakan dongkrak. Dengan begitu wilayah ballas dan bantalan akan dapat segera dibersihkan. Jika kondisi titik yang diperbaiki masih berupa genangan maka terlebih dahulu dilakukan pengurasan dengan pompa atau membuat saluran penguras. Setelah rel diangkat maka wilayah sekitar bantalan akan dibersihkan dengan mengeruk ballas-ballas yang bercampur dengan lumpur, termasuk pada bagian bawah bantalan. Semuanya dibuang dan digantikan nantinya oleh ballas baru atau ballas yang berada disekitarnya yang masih dalam kondisi baik.



Gambar 4.16 Dongkrak Rel



Gambar 4.17 Pengisian Ballast

Setelah seluruh bagian bersih maka dilakukan pengisian ballas kembali dimulai dengan mengisi ballas di bagian bawah bantalan. Karena beberapa daerah ballas bagian bawah bantalan sudah tipis maka pengisian ballas bawah cenderung seadanya dan tidak dilakukan pendalaman ketebalan ballas lagi. Setelah selesai pengerjaan pada satu wilayah maka akan dilakukan pemadatan dengan menggunakan alat pemadat. Perlu diperhatikan dalam pengerjaan ini ketinggian dan kemiringan rel tidak boleh berubah. Pengerjaan umumnya dilakukan siang hari dan tidak mengganggu jalannya kereta karena setiap ada kereta lewat maka dongkrak akan diturunkan terlebih dahulu dan tetap aman karena pengerjaan kecroton biasanya dibagi dalam panjang pengerjaan tertentu sekitar 3 meter sehingga tidak terlalu besar jarak pembongkarannya.



Gambar 4.18 Ballast Kotor (kiri) dan Pengisian Kembali (Kanan)

4.2 Pengujian Laboratorium

4.2.1 Pendahuluan

Pada pengujian terhadap tanah dasar untuk mengetahui karakternya, tanah dasar yang diambil berasal dari 3 titik yaitu untuk sampel A di titik km 33.1, sample B di km 35.8, dan sample C pada titik km 36.3. Pemilihan titik dilakukan pada 3 daerah yang berbeda namun sama-sama sering terjadi fenomena kecrotan. Pengujian lab sendiri dilakukan di Lab Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil UI lantai 2. Pengujian yang dilakukan kepada 3 sampel tersebut antara lain:

Tabel 4.5 Pengujian Yang dilakukan

No	Uji Lab	Metode	Tujuan
1	Atterberg Limit	ASTM D 4318-10	Untuk mendapatkan kadar air pada batas cari, plastis, dan susut
2	Specific Gravity	ASTM D 854-10	Mendapatkan harga Gs dari butiran tanah, yaitu perbandingan berat isi tanah dan air pada suhu 40 derajat celcius
3	Hydrometer	ASTM E 100-10	Mendapatkan distrubusi tanah dengan cara pengendapan untuk butiran $d < 0.074$ mm atau lolos saringan 200 ASTM
4	Sieve Analysis	ASTM D 422-63	Mendapatkan distribusi tanah $d = 4.76$ mm sampai 0.074 mm atau lolos saringan 4 dan tertahan saringan 200 ASTM
5	Compaction	ASTM D 698-91	Mencari nilai kerapatan kering maksimum pada kadar air optimum pada sample tanah yang telah dipadatkan
6	California Bearing Ratio	ASTM D1803-94	Mendapatkan nilai CBR pada kepadatan dan kadar air tertentu
7	Permeability	ASTM D 2434-	Mencari nilai permeabilitas (k) pada tanah

		68	
8	Triaxial	ASTM D 2850	Untuk mengetahui sudut geser tanah (ϕ) dan nilai kohesi (c) suatu tanah.

4.2.2 Pengolahan Data

A. Atterberg Limit

Pada percobaan atterberg limit ini dibagi menjadi 3 buah percobaan yaitu:

1. Liquid Limit
2. Plastic Limit
3. Shrinkage Limit

A1. Liquid Limit

Dari hasil percobaan uji lab didapatkan data:

No. Can	1	2	3	4	5
Berat tanah basah + can	31.41	28.66	18.70	35.40	24.45
Berat tanah kering + can	22.17	21.52	15.11	26.81	19.20
Berat can	6.38	8.14	8.00	9.06	8.14
Berat tanah kering	15.79	13.38	7.11	17.75	11.06
Berat air	9.24	7.14	3.59	8.59	5.25
Kadar air	58.52	53.36	50.49	48.39	47.47
Jumlah ketukan	17	32	36	38	42

Gambar 4.19 Data Sampel A

No. Can	1	2	3	4	5
Berat tanah basah + can	22.20	34.76	38.90	39.88	46.25
Berat tanah kering + can	16.50	22.48	25.17	24.97	28.89
Berat can	8.74	6.40	8.32	7.70	9.11
Berat tanah kering	7.76	16.08	16.85	17.27	19.78
Berat air	5.70	12.28	13.73	14.91	17.36
Kadar air	73.45	76.37	81.48	86.33	87.77
Jumlah ketukan	44	33	27	17	13

Gambar 4.20 Data Sampel B

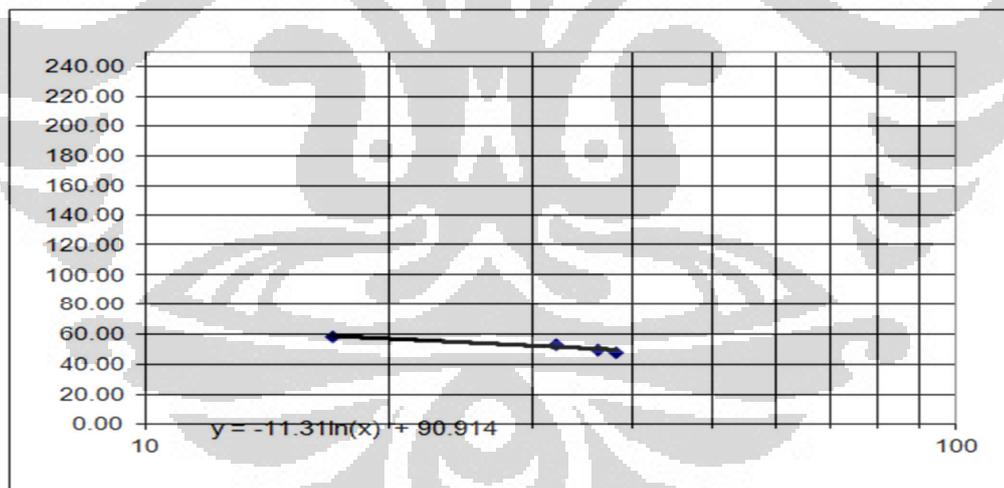
No. Can	1	2	3	4	5
Berat tanah basah + can	29.71	35.05	28.11	27.10	32.63
Berat tanah kering + can	20.45	22.81	19.00	17.97	20.94
Berat can	8.02	7.88	8.45	7.85	8.10
Berat tanah kering	12.43	14.93	10.55	10.12	12.84
Berat air	9.26	12.24	9.11	9.13	11.69
Kadar air	74.50	81.98	86.35	90.22	91.04
Jumlah ketukan	44	31	21	14	11

Gambar 4.21 Data Sampel C

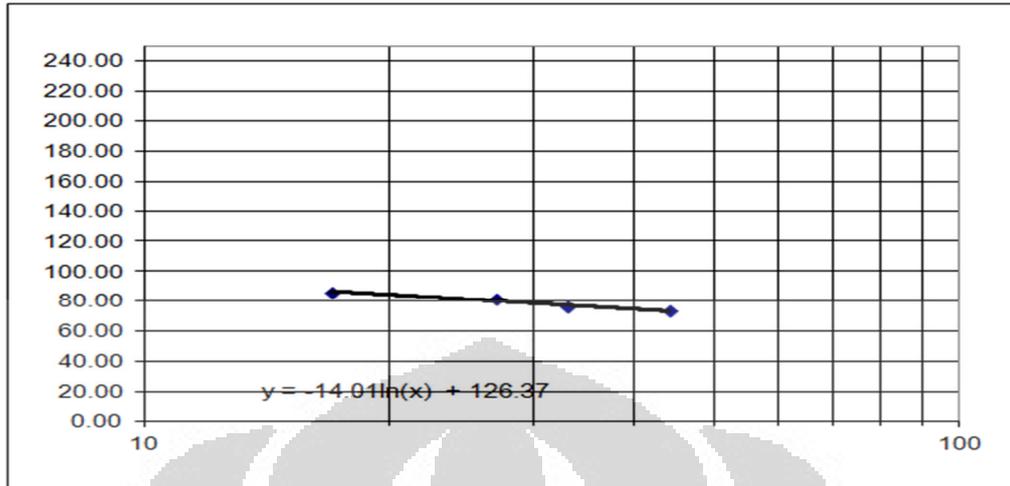
Lalu dari hasil data tersebut dibuatkan grafik perbandingan kadar air dan jumlah ketukan. Dari grafik tersebut maka akan didapatkan persamaan grafik tersebut yang berupa:

$$y = a \ln(x) + b \quad (4.1)$$

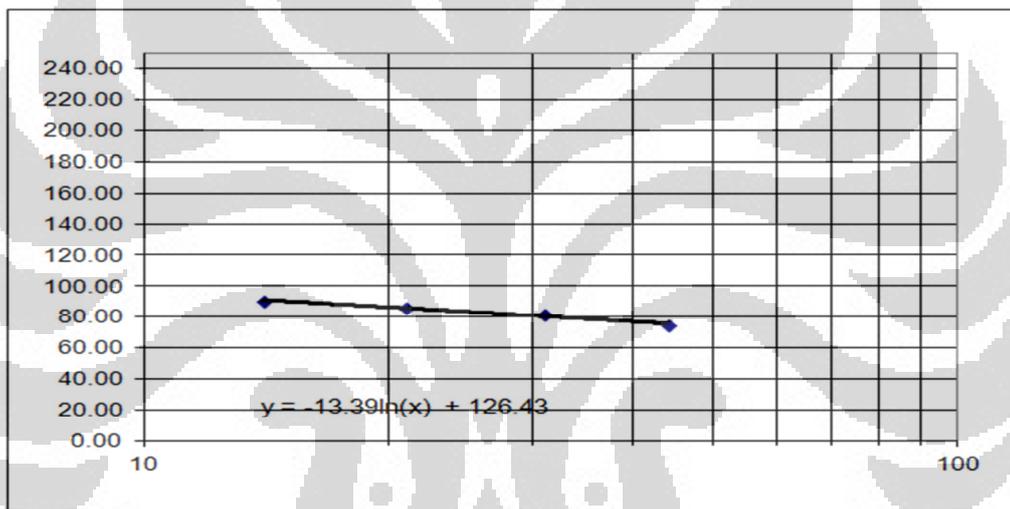
Dengan persamaan tersebut kita akan mencari nilai Liquid Limit cara 1 dengan cara mencari memasukan nilai ketukan 25 kedalam persamaan dan akan mendapatkan hasil LL masing-masing.



Gambar 4.22 Hasil Sampel A



Gambar 4.23 Hasil Sampel B



Gambar 4.24 Hasil Sampel C

Dari grafik diatas maka masing-masing sampel mendapatkan persamaan garis berupa:

$$\text{Sampel A : } y = -11.31 \ln(x) + 90.914$$

$$\text{Sampel B : } y = -14.01 \ln(x) + 126.37$$

$$\text{Sampel C : } y = -13.39 \ln(x) + 126.43$$

Setelah memasukan nilai 25 pada setiap nilai x persamaan diatas maka LL dengan cara 1 setiap sampel adalah:

$$\text{LL1: Sampel A: } 54.5085 \quad \text{Sampel B: } 81.27355 \quad \text{Sampel C: } 83.32925$$

Lalu dengan perhitungan cara 2, yaitu dengan rumus:

$$LL = W_n \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121}$$

Dengan memasukan masing-masing data sampel di tiap tanah untuk kadar air dan jumlah ketukan lalu diambil rata-rata tiap sampel didapatkan hasil berupa:

LL2: Sampel A : 53.0109 Sampel B : 80.67283 Sampel c : 83.00058

Setelahnya hasil LL dengan kedua cara dicari nilai rata-rata untuk menjadi nilai LL akhir:

LL rata2: Sampel A : 53.76 Sampel B : 80.1 Sampel C: 83.165

Kita juga dapat mencari nilai flow indeks (FI) dengan melihat selisih kadar air pada ketukan ke 100 dan 10. Hal ini dilakukan dengan memasukan terlebih dahulu nilai 100 dan 10 ke persamaan grafik. Hasil FI yang didapat adalah:

FI: Sampel A : -26.0422 Sampel B : -32.26 Sampel C : -30.83

A.2 Plastics Limit

Pada percobaan ini didapatkan data berupa:

No. Can	1	2
Berat tanah basah + can	42.91	72.70
Berat tanah kering + can	39.48	68.91
Berat can	19.43	46.34
Berat tanah kering	20.05	22.57
Berat air	3.43	3.79
Kadar air	22.48	25.36

Gambar 4.25 Data Sampel A

No. Can	1	2
Berat tanah basah + can	32.43	38.19
Berat tanah kering + can	24.68	28.66
Berat can	8.00	9.20
Berat tanah kering	16.68	19.46
Berat air	7.75	9.53
Kadar air	23.43	27.99

Gambar 4.26 Data Sampel B

No. Can	1	2
Berat tanah basah + can	39.46	32.23
Berat tanah kering + can	31.48	25.03
Berat can	14.46	9.38
Berat tanah kering	17.02	15.65
Berat air	7.98	7.20
Kadar air	24.00	21.85

Gambar 4.27 Data Sampel C

Dari semua data tersebut dibuatkan kadar air rata-rata tiap sampel yang akan menjadi nilai PL

PL: Sampel A: 23.92 Sampel B: 25.71 Sampel C: 22.93

Lalu kita mencari nilai indeks plastis (IP) dengan cara mengurangi nilai Liquid Limit dengan Plastics Limit. Didapatkan hasil:

IP: Sampel A: 29.84 Sampel B: 55.86 Sampel C: 60.24

A.3 Shrinkage Limit

Data yang didapat dari percobaan shrinkage limit langsung diolah untuk mencari nilai Shrinkage limit (SL) dan Shrinkage Ratio (SR) dengan menggunakan rumus :

$$SL = \frac{(w_w - w_d) - (V_w - V_d)\rho_w}{w_d} \times 100\% \quad \text{dan} \quad SR = \frac{w_d}{V_d} \times 100\%$$

dengan :

w_w = berat tanah basah

w_d = berat tanah kering

V_w = volume tanah basah

V_d = volume tanah kering

ρ_w = berat jenis air = 1 gram/cm³

dan didapatkan hasil sebagai berikut:

Coated Dish	1	2
Berat coated dish	19.25	37.42
Berat coated dish + Tanah basah	40.88	62.28
Berat tanah basah	21.63	24.86
Berat coated dish + tanah kering	33.87	54.66
Berat tanah kering	14.62	17.24
Berat coated dish + raksa	219.48	262.12
berat raksa	200.23	224.7
Volume tanah basah	14.79896526	16.60754
Berat raksa + shrinkage dish	764.32	764.32
Berat raksa +SD pasca submergesoil	629.14	611.59
Berat raksa yang tumpah	135.18	152.73
Volume tanah kering	9.99113082	11.28825
Shringkage limit	0.150626919	0.133452
kadar air	47.94801642	44.19954
Shrinkage rasio	1.463297825	1.527252

Gambar 4.28 Hasil Pengujian Sampel A

Coated Dish	1	2
Berat coated dish	24.68	30.6
Berat coated dish + Tanah basah	41.1	46.2
Berat tanah basah	16.42	15.6
Berat coated dish + tanah kering	34.64	39.93
Berat tanah kering	9.96	9.33
Berat coated dish + raksa	214.64	219.14
berat raksa	189.96	188.54
Volume tanah basah	14.03991131	13.93496
Berat raksa + shrinkage dish	764.34	764.36
Berat raksa +SD pasca submergesoil	644.9	647.52
Berat raksa yang tumpah	119.44	116.84
Volume tanah kering	8.827790096	8.635625
Shringkage limit	0.125289035	0.104037
kadar air	64.85943775	67.20257
Shringkage Ratio	1.128255191	1.080408

Gambar 4.29 Hasil Pengujian Sampel B

Coated Dish	1	2
Berat coated dish	18.22	46
Berat coated dish + Tanah basah	38.51	66.57
Berat tanah basah	20.29	20.57
Berat coated dish + tanah kering	31.09	59.26
Berat tanah kering	12.87	13.26
Berat coated dish + raksa	216.73	261.44
berat raksa	198.51	215.44
Volume tanah basah	14.67184035	15.92313
Berat raksa + shrinkage dish	764.31	764.32
Berat raksa +SD pasca submergesoil	660.2	641.37
Berat raksa yang tumpah	104.11	122.95
Volume tanah kering	7.694752402	9.087214
Shringkage limit	0.147637349	0.158027
kadar air	57.65345765	55.12821
Shringkaage Ratio	1.672568437	1.459193

Gambar 4.30 Hasil Pengujian Sampel C

B. Specific Gravity

Dengan data yang didapatkan dari uji lab, lalu diolah dengan rumus:

$$G_s = \alpha \frac{W_s}{W_w}$$

Dimana

W_s = berat tanah kering W_w = berat air α = faktor koreksi suhu

Maka didapatkan hasil berupa:

Sampel A:		Sampel B:		Sampel C:	
berat tanah	100	Berat tanah	100	Berat tanah	100
a	0.9975	α	0.9977	α	0.9977
suhu	29.5	suhu	29	suhu	29
tabung	171.8	tabung	171.28	tabung	170.96
tabung + air	666.73	tabung + air	667.47	tabung + air	667.01
TAT	729	TAT	729.17	TAT	727.55
berat air	37.73	ww	38.3	ww	39.46
GS	2.643785	GS	2.604961	GS	2.528383

Gambar 4.31 Hasil Pengujian Specific Gravity

C. Hydrometer dan Sieve Analysis

Pada pengolahan data hydrometer dan sieve analysis digabungkan karena memiliki hubungan sama mengenai distribusi dan dibedakan oleh diameter tanah yang ditinjaunya. Pertama unntuk hydrometer kita menggunakan alur perhitungan berupa:

C_T dari tabel referensi sesuai dengan temperature uji lab

R_a (*Actual Hydrometer Reading*) = Pembacaan hydrometer

R_c (*Correction Hydrometer Reading*) = $R_a - \text{koreksi nol} + C_T$

%finer = $\frac{R_c \cdot a}{W_s} * 100\%$

R (*Hydrometer Correction Only for Reading*) = $R_a + \text{koreksi miniskus}$

L didapatkan dari table sesuai dengan nilai R

t = menit pembacaan

k didapatkan nilainya dari table sesuai dengan nilai G_s

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

Dengan alur perhitungan tersebut didapatkan hasil berupa:

Gs	2.643
Ws	50
Koreksi Nol	1
Koreksi Miniskus	0.5
T awal	29
T akhir	28
a	1
Cr 29	3.05
	30 3.8
	28 2.5

Menit Ke	Suhu	Ra	Rc	% Finer	R	L	L / t	k	D mm
1	29	15	17.05	34.1	15.5	13.75	13.750	0.0123	0.04561
2	29	14	16.05	32.1	14.5	13.9	6.950	0.0123	0.03243
4	29	13	15.05	30.1	13.5	14.1	3.525	0.0123	0.02309
6	29	12	14.05	28.1	12.5	14.25	2.375	0.0123	0.01896
15	29	10	12.05	24.1	10.5	14.6	0.973	0.0123	0.01213
30	29	9.5	11.55	23.1	10	14.7	0.490	0.0123	0.00861
60	29	8.5	10.55	21.1	9	14.8	0.247	0.0123	0.00611
120	29	7	9.05	18.1	7.5	15.1	0.126	0.0123	0.00436
240	30	5	7.8	15.6	5.5	15.4	0.064	0.0122	0.00309
1440	28	4.5	4	8	5	15.5	0.011	0.0124	0.00129

Gambar 4.32 Hasil Sampel A

Gs	2.6
Ws	50
Koreksi Nol	1
Koreksi Miniskus	0.5
T awal	29.5
T akhir	29.5
a	1.1
Cr 29.5	3.425
	30 3.8

Menit Ke	Suhu	Ra	Rc	% Finer	R	L	L / t	k	D mm
1	29.5	21.5	23.925	48.3285	22	12.7	12.700	0.0125	0.04456
2	29.5	20.5	22.925	46.3085	21	12.9	6.450	0.0125	0.03175
4	29.5	20	22.425	45.2985	20.5	12.95	3.238	0.0125	0.02249
8	29.5	19	21.425	43.2785	19.5	13.1	1.638	0.0125	0.01600
15	29.5	18.5	20.925	42.2685	19	13	0.867	0.0125	0.01164
30	29.5	17.5	19.925	40.2485	18	13.3	0.443	0.0125	0.00832
60	29.5	16	18.425	37.2185	16.5	13.6	0.227	0.0125	0.00595
120	30	14	16.8	33.936	14.5	13.9	0.116	0.0124	0.00422
240	30	12	14.8	29.896	12.5	14.25	0.059	0.0124	0.00302
1440	29.5	10	12.425	25.0985	10.5	14.6	0.010	0.0125	0.00126

Gambar 4.33 Hasil Sampel B

Gs	2.55
Ws	50
Koreksi Nol	1
Koreksi Miniskus	0.5
T awal	29.5
T akhir	29.5
a	1.02
C _r 29.5	3.425
	30
	3.8

Menit Ke	Suhu	Ra	Rc	% Finer	R	L	L/t	k	D mm
1	29.5	22	24.425	49.827	22.5	12.6	12.600	0.01265	0.04490
2	29.5	21	23.425	47.787	21.5	12.8	6.400	0.01265	0.03200
4	29.5	20	22.425	45.747	20.5	12.95	3.238	0.01265	0.02276
8	29.5	18.5	20.925	42.687	19	13.2	1.650	0.01265	0.01625
15	29.5	17.5	19.925	40.647	18	13.3	0.887	0.01265	0.01191
30	29.5	16.5	18.925	38.607	17	13.5	0.450	0.01265	0.00849
60	29.5	14.5	16.925	34.527	15	13.6	0.227	0.01265	0.00602
120	30	12	14.8	30.192	12.5	14.25	0.119	0.0126	0.00434
240	30	10.5	13.3	27.132	11	14.5	0.060	0.0126	0.00310
1440	29.5	8	10.425	21.267	8.5	14.9	0.010	0.01265	0.00129

Gambar 4.34 Hasil Sampel C

Dari table-tabel data diatas kita sudah mendapatkan distribusi ukuran diameter (d) pada tanah yang kita uji. Selanjutnya kita akan mengolah data hasil sieve analysis terlebih dahulu dengan membuat persenan tertahan pada saringan dan mendapatkan juga ukuran butiran dari no saringan. Hasil dari pengolahan tersebut berupa:

Sieve No.	D (mm)	Wt. Retained (gram)	% Retained	% passing
4	4.75	0	0.00	100.00
10	2	1.74	3.48	96.52
18	0.84	2.19	4.38	92.14
40	0.42	3.32	6.64	85.50
100	0.15	5.9	11.80	73.70
200	0.074	3.34	6.68	67.02
TOTAL		16.49		

Gambar 4.35 Hasil Pengolahan Sampel A

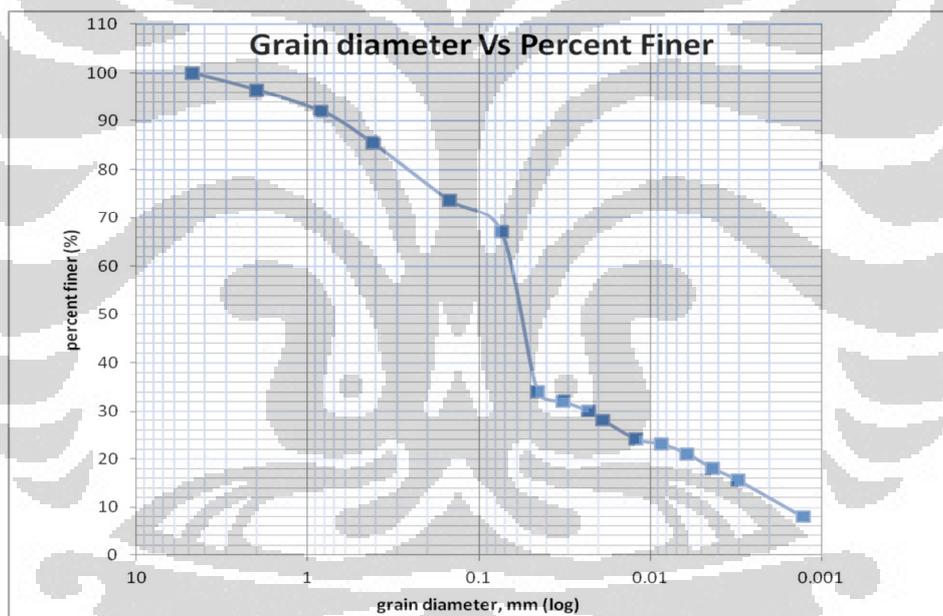
Sieve No.	D (mm)	Wt. Retained (gram)	% Retained	% passing
4	4.75	0	0.00	100.00
10	2	0.52	1.04	98.96
18	0.84	0.28	0.56	98.40
40	0.42	0.3	0.60	97.80
100	0.15	0.97	1.94	95.86
200	0.074	0.53	1.06	94.80
TOTAL		2.6		

Gambar 4.36 Hasil Pengolahan Sampel

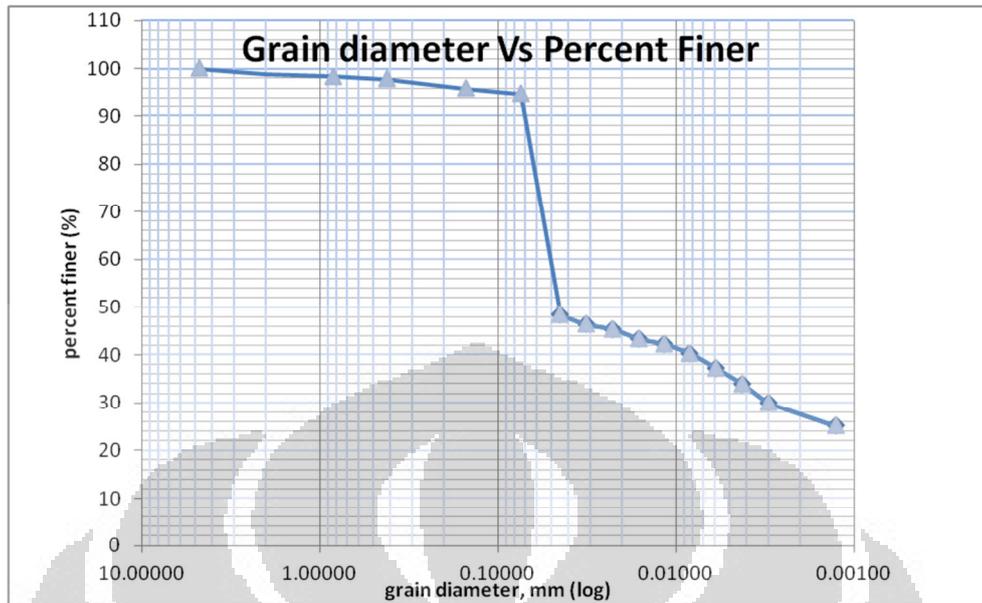
Sieve No.	D (mm)	Wt. Retained (gram)	% Retained	% passing
4	4.75	0	0.00	100.00
10	2	0.15	0.30	99.70
18	0.84	0.2	0.40	99.30
40	0.42	0.24	0.48	98.82
100	0.15	1.58	3.16	95.66
200	0.074	0.96	1.92	93.74
TOTAL		3.13		

Gambar 4.37 Hasil Pengolahan Sampel C

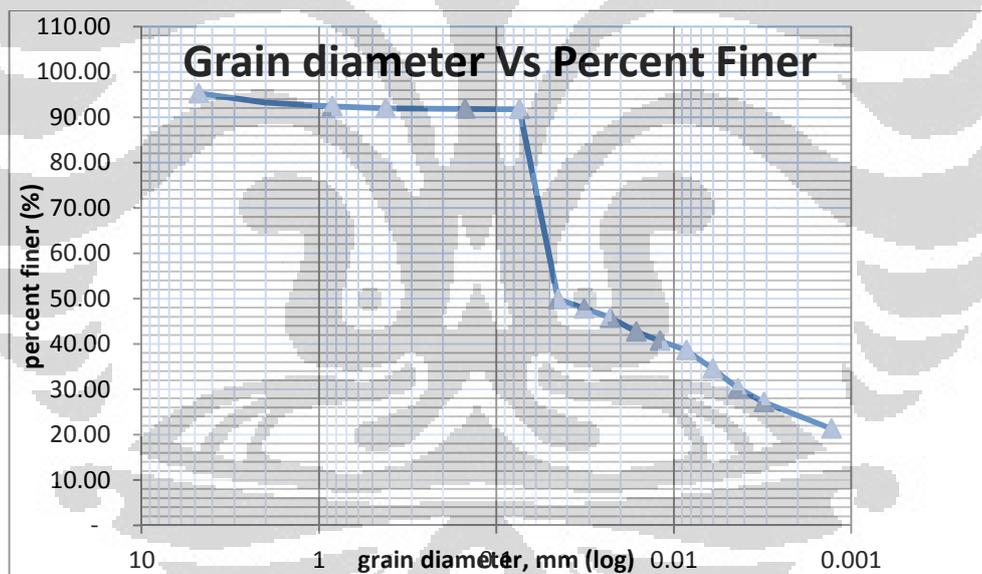
Lalu kita membuat grafik dengan gabungan data hydrometer dan sieve analysis yang membandingkan nilai persen lolos dan diameter butiran. Didapatkan hasil berupa:



Gambar 4.38 Grafik Sampel A



Gambar 4.39 Grafik Sampel B



Gambar 4.40 Grafik Sampel C

Garis miring yang berupa garis linear ditengah berfungsi menghubungkan kedua grafik, grafik hydrometer (bagian bawah) dan sieve analysis (bagian atas), dan menunjukkan gap diantara keduanya. Selanjutnya dengan persamaan kurva yang didapat kita mencari nilai pada saat D60, D30, dan D10 untuk mencari nilai CU dan CC dengan rumus:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{dan} \quad C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Maka didapatkan hasil:

Sampel A

D60 : 0.068 D30 : 0.023 D10 : 0.00149

CU : 45.716 CC : 5.23

Sampel B

D60 : 0.052 D30 : 0.00335 D10 : 0.0001187

CU : 437.7 CC : 1.82

Sampel C

D60 : 0.52 D30 : 0.0037 D10 : 0.00035

CU : 149.8 CC : 0.77

D. Compaction

Pada uji lab compaction, dilakukan pengujian dengan metode standar dimana pukulan dilakukan 25 kali setiap layer untuk 3 layer dan ketinggian jatuh alat 12 inch. Data yang didapat dai uji lab ini berupa table-tabel dibawah ini:

- Sampel A

Data mold

v	971.453
t	11.825
d	10.23

Data kadar air

can + tanah basah	452.6	425.78	427	489.8	441.71
can + tanah kering	375.85	344.48	338.85	386.03	341.88
berat air	76.75	81.3	88.15	103.77	99.83
berat can	20.5	19.11	19.52	44.78	40.25
berat tanah kering	355.35	325.37	319.33	341.25	301.63
kadar air	22%	25%	28%	30%	33%

Data kerapatan kering

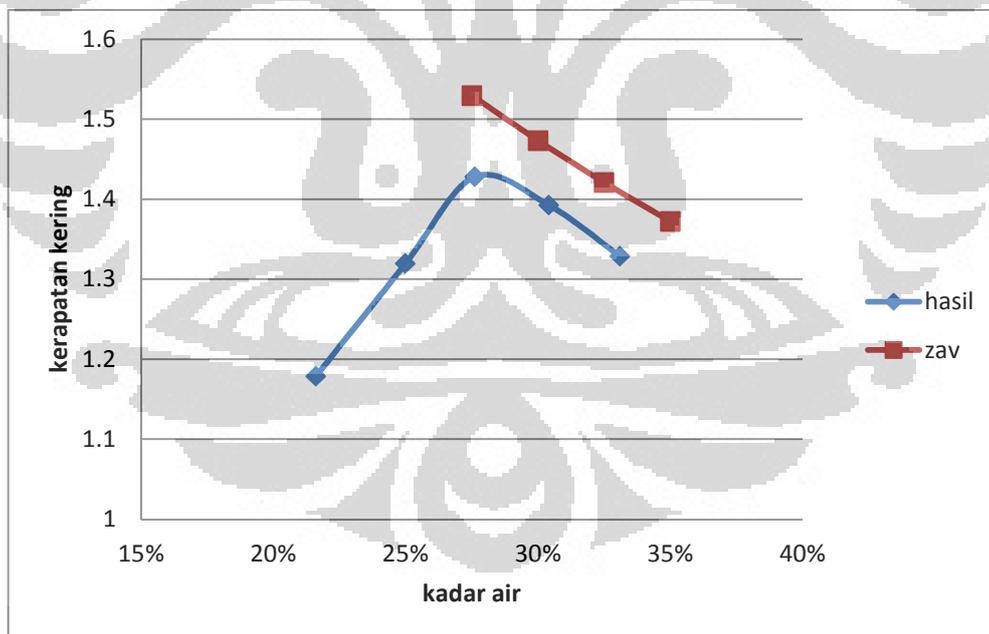
berat tanah + mold	3082	3292	3460	3454	3408
berat mold	1690	1690	1690	1690	1690
berat tanah di mold	1392	1602	1770	1764	1718
kerapatan basah	1.432905	1.649076	1.822013	1.815837	1.768485
kerapatan kering	1.178391	1.319399	1.427858	1.392419	1.32872

Data ZAV

Dengan menggunakan rumus $ZAV = \frac{Gs \times \gamma_w}{1 + (W \cdot Gs) / Sr}$ maka didapatkan:

w	sg	zav
27.5	2.64	1.529548
30	2.64	1.473214
32.5	2.64	1.420883
35	2.64	1.372141

Selanjutnya adalah membuat grafik hasil dari data kadar air, kerapatan kering, dan ZAV.



Gambar 4.41 Sampel A

Dari grafik diatas didapatkan bahwa kadar air optimum pada kerapatan kering maksimum adalah pada kadar air sebesar 27.5 persen.

- Sampel B

Data mold

v	942.2711
d	10.13
t	11.697

Data kadar air

can + tanah basah	384.44	456	406.23	440.42	316.24
can + tanah kering	290.67	327.24	291.53	325	233.04
berat air	93.77	128.76	114.7	115.42	83.2
berat can	113.6	53.87	23.74	45.11	27.12
berat tanah kering	177.07	273.37	267.79	279.89	205.92
kadar air	52.96%	47.10%	42.83%	41.24%	40.40%

Data kerapatan kering

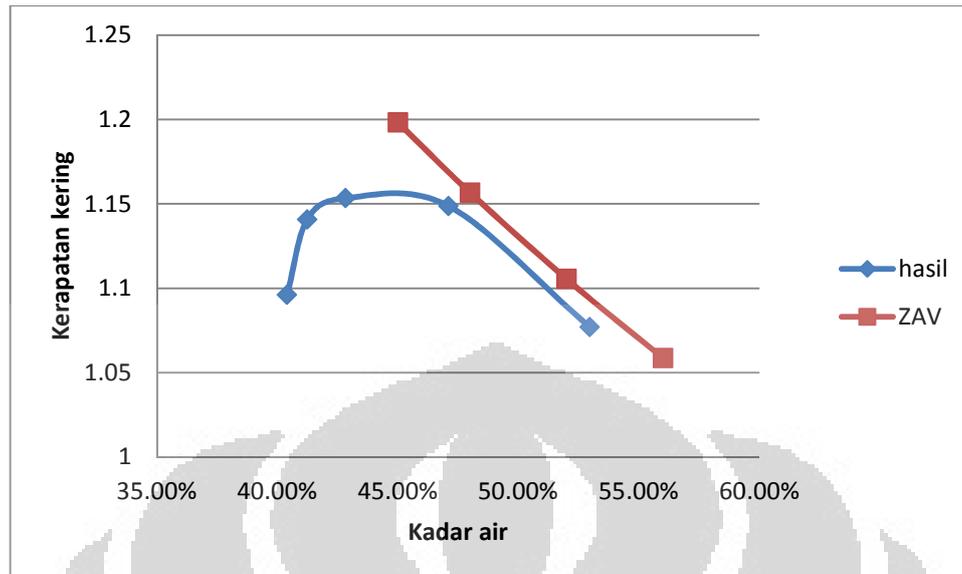
berat tanah + mold	2940	2980	2940	2906	2838
berat mold	1387.8	1387.8	1387.8	1387.8	1387.8
berat tanah di mold	1552.2	1592.2	1552.2	1518.2	1450.2
kerapatan basah	1.647297	1.689747	1.647297	1.611214	1.539048
kerapatan kering	1.076971	1.148699	1.15331	1.140782	1.096156

Data ZAV

Dengan menggunakan rumus $ZAV = \frac{Gs \times \gamma_w}{1 + (W \cdot Gs) / Sr}$ maka didapatkan:

w	sg	zav
45	2.6	1.198157
48	2.6	1.156584
52	2.6	1.105442
56	2.6	1.058632

Selanjutnya adalah membuat grafik hasil dari data kadar air, kerapatan kering, dan ZAV.



Gambar 4.42 Sampel B

Didapatkan kadar air optimum pada angka 45 persen.

- Sampel C

Data mold

v	942.2711
d	10.13
t	11.697

Data kadar air

can + tanah basah	332.85	285.85	392.37	378.07	350.3
can + tanah kering	233.79	205.21	283.7	273.83	260.25
berat air	99.06	80.64	108.67	104.24	90.05
berat can	19.83	19.86	22.27	16.73	26.12
berat tanah kering	213.96	185.35	261.43	257.1	234.13
kadar air	46.30%	43.51%	41.57%	40.54%	38.46%

Data kerapatan kering

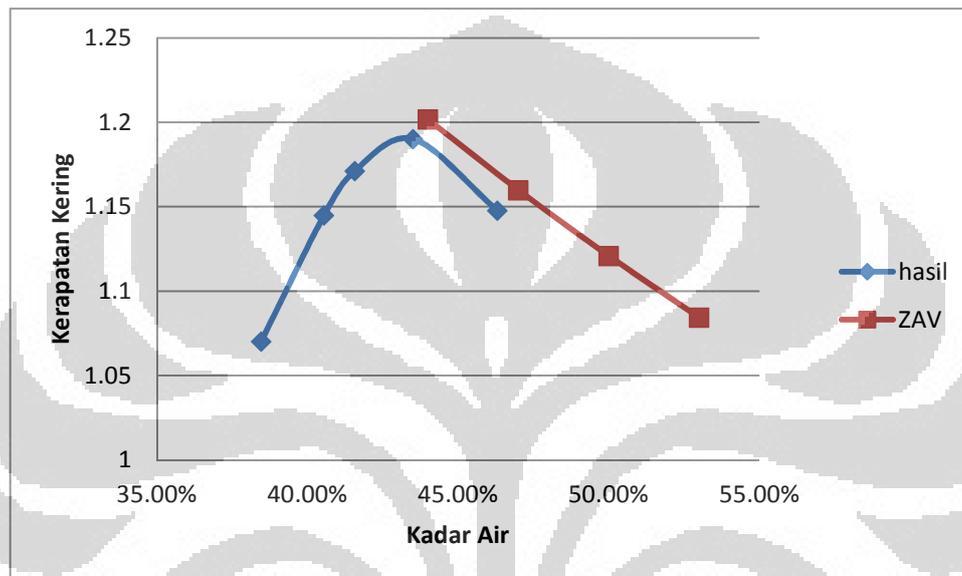
berat tanah + mold	2970	2997	2950	2904	2784
berat mold	1387.8	1387.8	1387.8	1387.8	1387.8
berat tanah di mold	1582.2	1609.2	1562.2	1516.2	1396.2
kerapatan basah	1.679135	1.707789	1.657909	1.609091	1.481739
kerapatan kering	1.147747	1.19004	1.171108	1.144898	1.070145

Data ZAV

Dengan menggunakan rumus $ZAV = \frac{Gs \times \gamma_w}{1 + (W \cdot Gs) / Sr}$ maka didapatkan:

w	sg	zav
44	2.55	1.201697
47	2.55	1.159882
50	2.55	1.120879
53	2.55	1.084414

Selanjutnya adalah membuat grafik hasil dari data kadar air, kerapatan kering, dan ZAV.



Gambar 4.43 Sampel C

Didapatkan untuk sampel ketiga ini kadar air optimum sebesar 44 persen.

E. California Bearing Ratio

Setelah tanah dipadatkan dengan metode seperti compact hanya beda ukuran mold, jumlah pukulan setiap layernya, dan ada pengetesan pasca perendaman, kemudian hasil tanah sampel di tes dengan alat CBR dan mendapatkan hasil yang langsung diolah untuk mencari nilai psi dengan rumus;

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{M(LRC)}{A}$$

dengan: A = luas piston (3)

P = M . LRC

M = dial reading

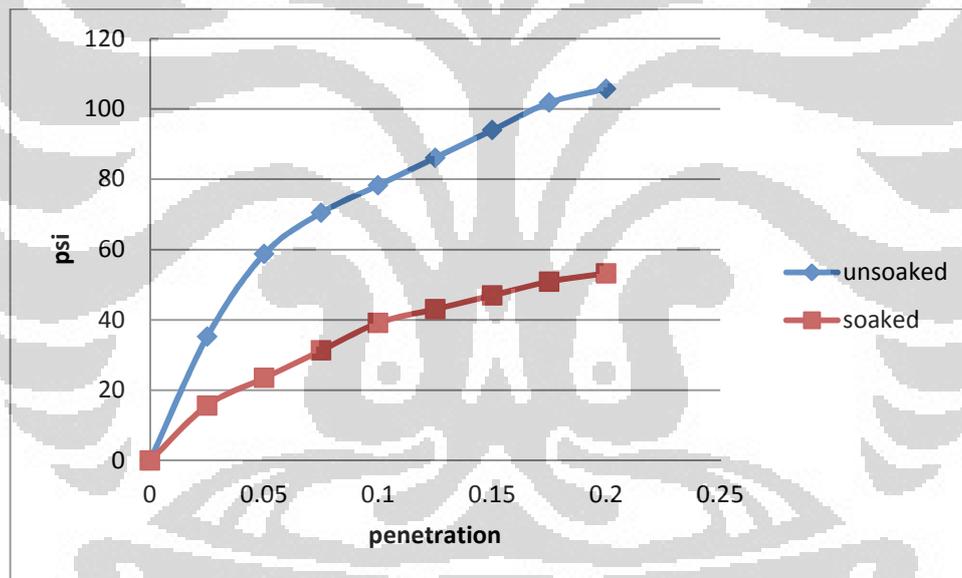
LRC = faktor kalibrasi (23.481)

Maka didapatkan data:

Tabel 4.6 Data Sampel A

penetration	dial reading		psi	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0	0	0	0	0
0.025	4.5	2	35.2215	15.654
0.05	7.5	3	58.7025	23.481
0.075	9	4	70.443	31.308
0.1	10	5	78.27	39.135
0.125	11	5.5	86.097	43.0485
0.15	12	6	93.924	46.962
0.175	13	6.5	101.751	50.8755
0.2	13.5	6.8	105.6645	53.2236

Dan dibuatkan grafik berupa:



Gambar 4.44 Grafik Sampel A

Lalu dengan rumus:
$$CBR = \frac{\text{test unit load}(psi)}{\text{standard unit load}(psi)} \times 100\%$$
 dengan standar unit load 1000 untuk penetration 0.01 inc dan 1500 untuk 0.02 inc maka didapatkan nilai CBR (%):

Tabel 4.7 Nilai CBR Sampel A

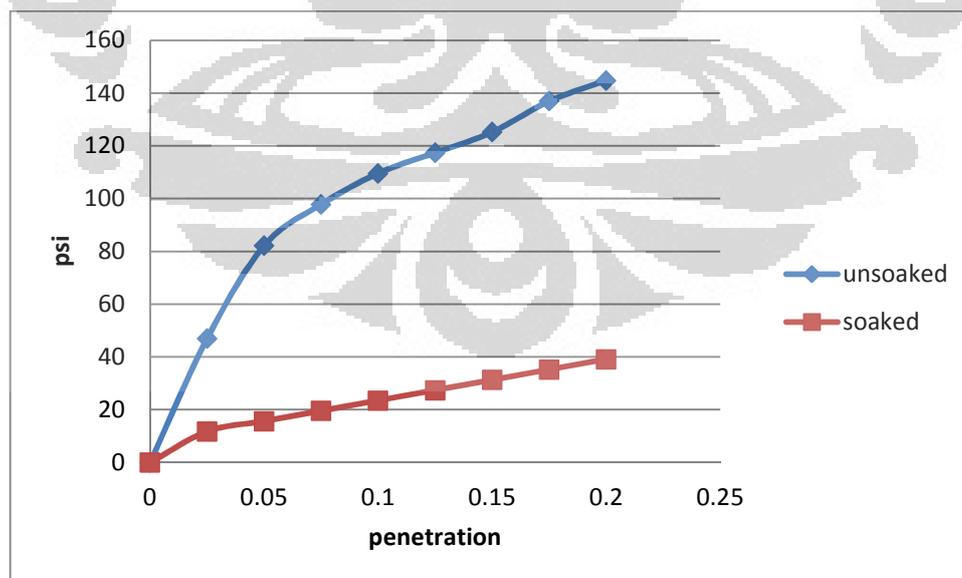
cbr	unsoaked	soaked
	7.827	3.9135
	7.0443	3.54824
rata2	7.43565	3.73087

Selanjutnya untuk Sampel B

Tabel 4.8 Data Sampel B

penetration	dial reading		psi	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0	0	0	0	0
0.025	6	1.5	46.962	11.7405
0.05	10.5	2	82.1835	15.654
0.075	12.5	2.5	97.8375	19.5675
0.1	14	3	109.578	23.481
0.125	15	3.5	117.405	27.3945
0.15	16	4	125.232	31.308
0.175	17.5	4.5	136.9725	35.2215
0.2	18.5	5	144.7995	39.135

Dan dibuatkan grafik berupa:



Gambar 4.45 Grafik Sampel B

Lalu dengan rumus: $CBR = \frac{\text{test unit load(}psi\text{)}}{\text{standard unit load(}psi\text{)}} \times 100\%$ dengan standar unit load 1000 untuk penetration 0.01 inc dan 1500 untuk 0.02 inc maka didapatkan nilai CBR (%):

Tabel 4.9 Nilai CBR Sampel B

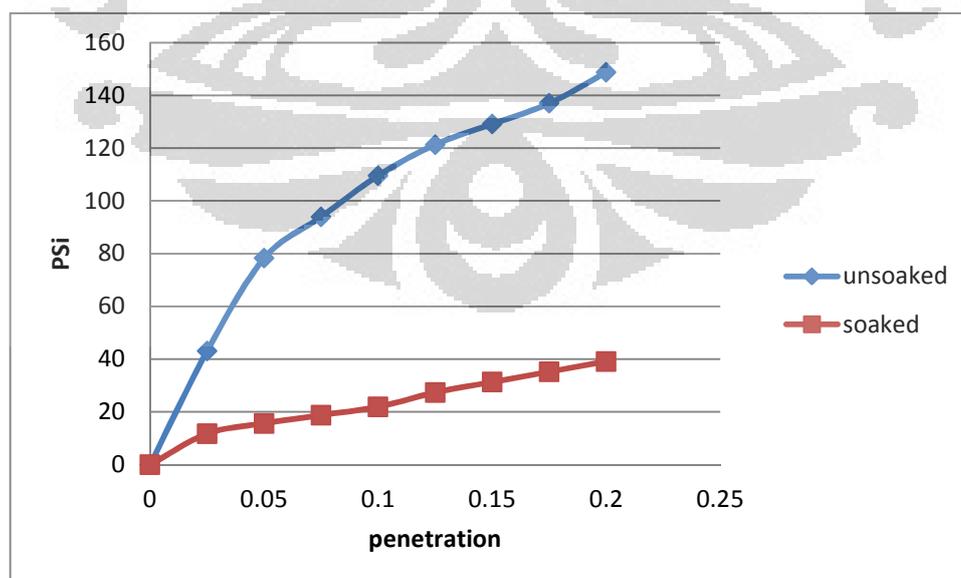
cbr	unsoaked	soaked
	10.9578	2.3481
	9.6533	2.609
rata2	10.30555	2.47855

Selanjutnya untuk Sampel C

Tabel 4.10 Data Sampel C

penetration	dial reading		psi	
	unsoaked	soaked	unsoaked	soaked
0	0	0	0	0
0.025	5.5	1.5	43.0485	11.7405
0.05	10	2	78.27	15.654
0.075	12	2.4	93.924	18.7848
0.1	14	2.8	109.578	21.9156
0.125	15.5	3.5	121.3185	27.3945
0.15	16.5	4	129.1455	31.308
0.175	17.5	4.5	136.9725	35.2215
0.2	19	5	148.713	39.135

Dan dibuatkan grafik berupa:



Gambar 4.46 Grafik Sampel C

Lalu dengan rumus: $CBR = \frac{\text{test unit load}(psi)}{\text{standard unit load}(psi)} \times 100\%$ dengan standar unit load 1000 untuk penetration 0.01 inc dan 1500 untuk 0.02 inc maka didapatkan nilai CBR (%):

Tabel 4.11 Nilai CBR Sampel C

cbr	unsoaked	soaked
	10.9578	2.19156
	9.9142	2.609
rata2	10.436	2.40028

Selanjutnya kita akan melihat pengaruh swelling atau pengembangan dari sampel-sampel tersebut selama dalam proses perendaman dengan melihat data hasil pembacaan dial selama sampel direndam dan diolah dengan menggunakan rumus:

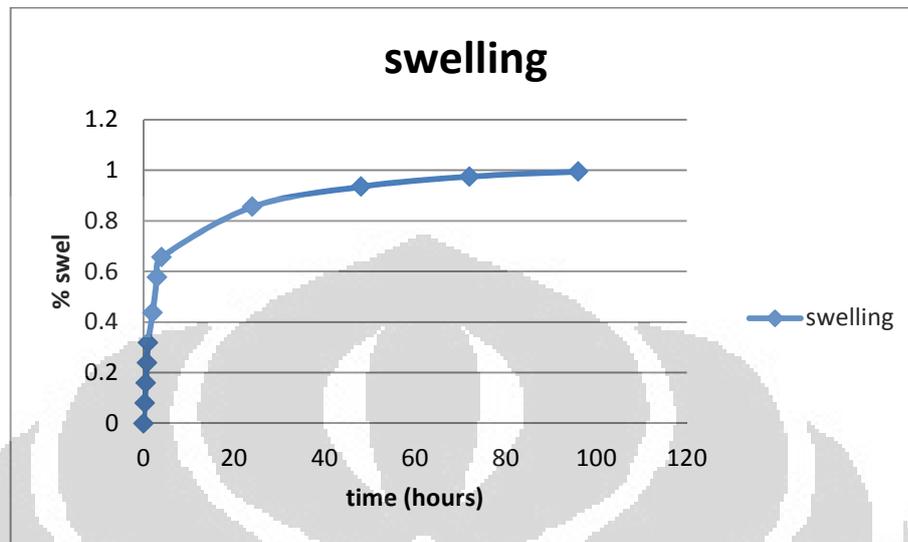
$$\text{Swell} = \frac{\text{dial}(pd \text{ jam}) \times 2.54 \times 0.001}{\text{tinggi mould}} \times 100\%$$

- Sampel A

T mould: 127.7

time	dial	%swell
0	0	0
0.25	4	0.079561
0.5	8	0.159123
0.75	12	0.238684
1	16	0.318246
2	22	0.437588
3	29	0.576821
4	33	0.656382
24	43	0.855286
48	47	0.934847
72	49	0.974628
96	50	0.994518

Dan didapatkan grafik hubungan swell vs waktu



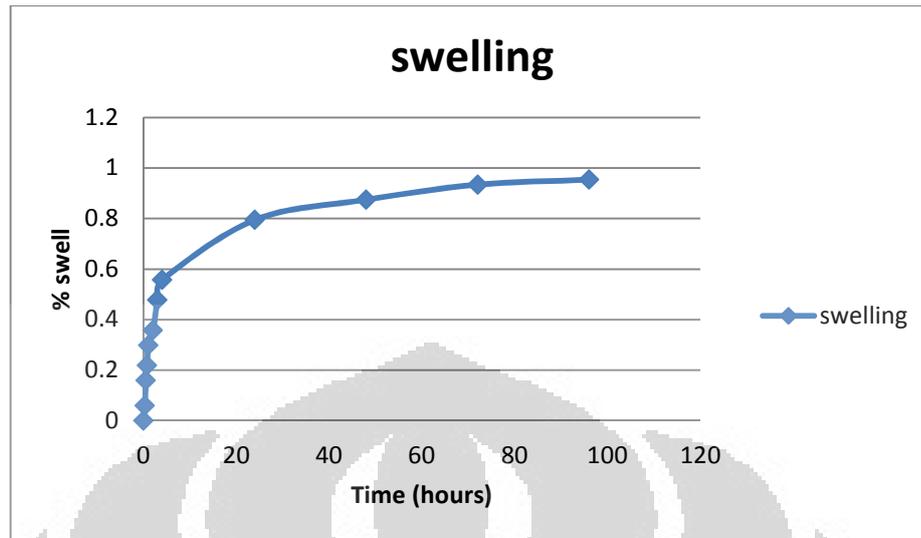
Gambar 4.47 Grafik hubungan swell dengan Waktu Sampel A

- Sampel B

T mould: 127.8

time	dial	%swell
0	0	0
0.25	3	0.059624
0.5	8	0.158998
0.75	11	0.218623
1	15	0.298122
2	18	0.357746
3	24	0.476995
4	28	0.556495
24	40	0.794992
48	44	0.874491
72	47	0.934116
96	48	0.953991

Dan didapatkan grafik hubungan swell vs waktu



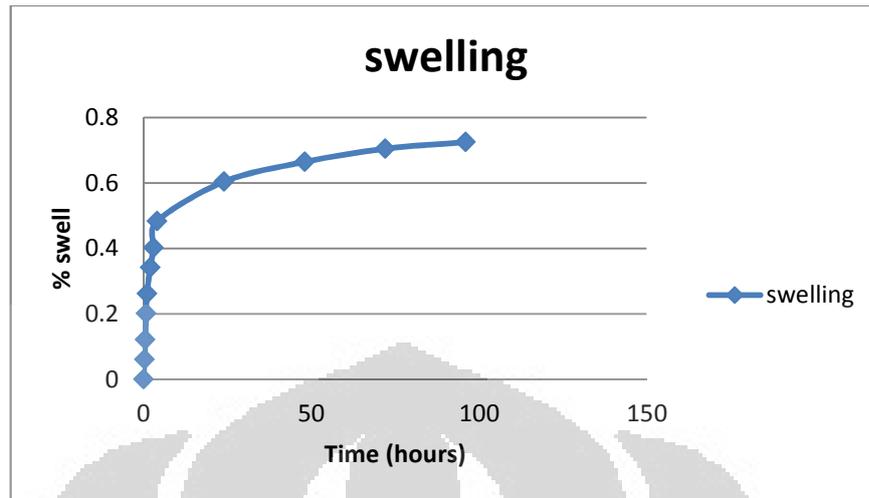
Gambar 4.48 Grafik Hubungan Swell dengan Waktu Sampel B

- Sampel C

T mould: 126.2

time	dial	%swell
0	0	0
0.25	3	0.06038
0.5	6	0.120761
0.75	10	0.201268
1	13	0.261648
2	17	0.342155
3	20	0.402536
4	24	0.483043
24	30	0.603803
48	33	0.664184
72	35	0.704437
96	36	0.724564

Dan didapatkan grafik hubungan swell vs waktu



Gambar 4.49 Grafik Hubungan Swell dengan Waktu Sampel C

F. Permeability

Untuk permeability dilakukan dengan perendaman seharian terlebih dahulu lalu pengecekan aliran dan didapatkan hasil:

SAMPLE	a (cm ²)	Displacement (mm)	L (cm)	t (second)	h1 (cm)	h2 (cm)	K (cm/second)
A	1.5	-	2	900	52	50.00	4.62E-06
B	1.5	-	2	900	50.3	49.90	9.40E-07
C	1.5	-	2	900	54.5	54.20	6.50E-07
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

NOTE:

a	section area of pipe	
L	sample height - displacement	
h	sample height	(2 cm)
A	section area of sample	(28.274 cm)
φ	diameter of sample	(6 cm)
t	time (second)	
h ₁	water leve at the beginning	
h ₂	water level at the end	

Gambar 4.50 Hasil Pengujian Permeabilitas

Hasil k tersebut masih untuk suhu ruangan dan untuk mendapatkan K pada suhu 20 derajat dikalikan dengan 0.814 dan didapatkan hasil:

Sampel A

$K = 3.76 \text{ E-6}$

Sampel B

$K = 7.65 \text{ E-7}$

Sampel C

$K = 5.29 \text{ E-7}$

G. Triaxial

Triaxial pada uji lab kali ini menggunakan tanah hasil dari cbr yang dibuatkan menjadi sampel-sampel triaxial dengan cara excurt sehingga triaxial kali ini merupakan triaxial UU dengan tanah disturbed.

Dalam triaxial ini kita menggunakan perhitungan:

Data:

Tinggi sampel (L_0)

Diameter sampel (D)

$$A_0 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$LRC = 0,192 \text{ kg/div}$

Pembacaan dial deformasi 0,25 mm

Pembacaan dial pembebanan (M)

Unit strain (ε) = $\Delta L / L_0$

Area correction factor = $(1 - \varepsilon)$

Corrected area: $A' = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$

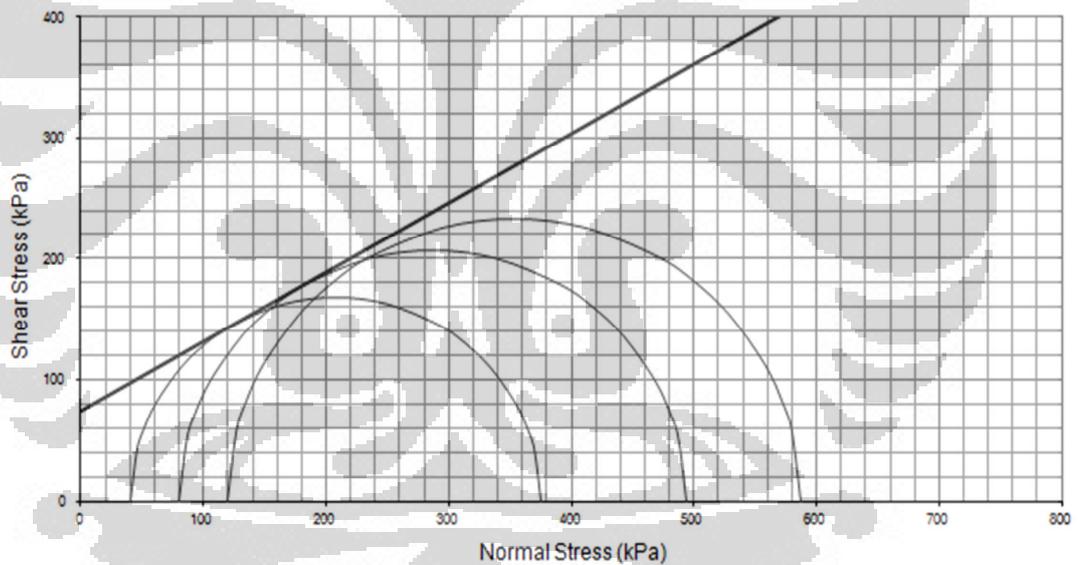
Untuk hasil perhitungan table untuk ketiga sampel dapat dilihat pada lampiran.

- Sampel A

Data umum

Wt OF WET SOIL + CAN	(gram)	240.22	242.18	247.01
Wt OF DRY SOIL + CAN	(gram)	210.43	211.72	216.30
Wt OF CAN	(gram)	106.42	106.42	106.42
Wt OF DRY SOIL	(gram)	104.01	105.30	109.88
Wt. OF MOISTURE	(gram)	29.79	30.46	30.71
WATER CONTENT	(%)	28.64	28.93	27.95
AVERAGE W. CONTENT	(%)	28.50		
SAMPLE HEIGHT	(cm)	7.19	7.19	7.22
AVERAGE		7.20		
SAMPLE DIAMETER	(cm)	3.54	3.58	3.52
AVERAGE		3.55		
AREA	(cm ²)	9.84	10.06	9.73
VOLUME	(cm ³)	70.73	72.34	70.23
γ_{wet}	(kg/cm ³)	1.89	1.88	2.00
AVERAGE	(kg/cm ³)	1.92		
γ_{dry}	(kg/cm ³)	1.47	1.46	1.56
AVERAGE	(kg/cm ³)	1.50		
LRC	(kg/div)	0.19		
σ_s	(kg/cm ²)	0.40	0.80	1.20

Lalu dengan alur perhitungan diatas maka didapat

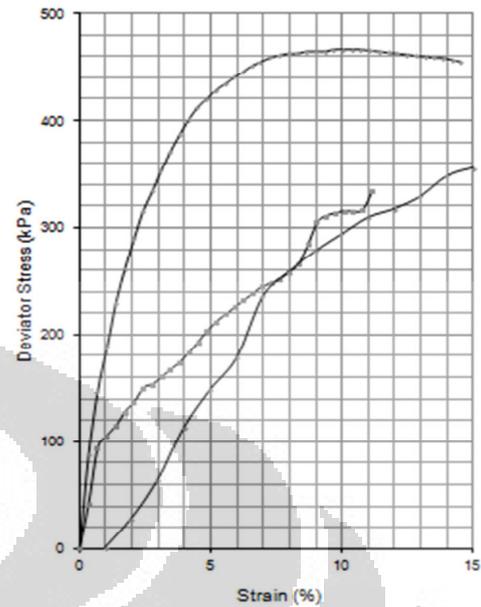


Gambar 4.51 Diagram Mohr Sampel A

MACHINE, LRC	0.19 kg/div
SAMPLE DIAMATER	3.55 cm
SAMPLE HEIGHT	7.20 cm

	SPECIMEN			
	1	2	3	
σ_3	40.00	80.00	120.00	kPa
$\Delta\sigma$	334.78	413.91	467.04	
σ_1	374.78	493.91	587.04	

γ_{wet}	19.23 kN/m ³
γ_{dry}	14.97 kN/m ³
w	28.50 %
c	74.07 kPa
ϕ	29.82 °



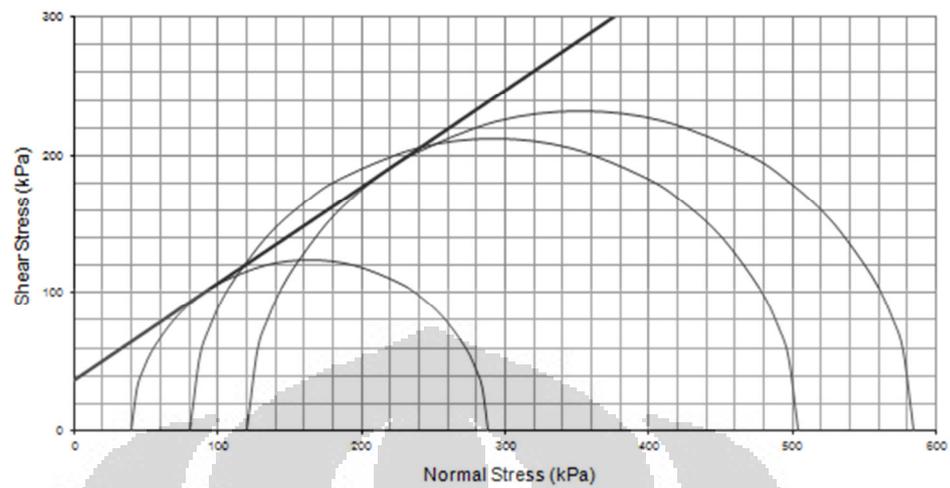
Gambar 4.52 Hasil Dan Diagram Keruntuhan Sampel A

- Sampel B

Data umum

Wt OF WET SOIL + CAN	(gram)	164.39	165.15	166.32
Wt OF DRY SOIL + CAN	(gram)	125.75	125.04	126.04
Wt OF CAN	(gram)	38.67	38.67	38.67
Wt OF DRY SOIL	(gram)	87.08	86.37	87.37
Wt. OF MOISTURE	(gram)	38.64	40.11	40.28
WATER CONTENT	(%)	44.37	46.44	46.10
AVERAGE W. CONTENT	(%)	45.64		
SAMPLE HEIGHT	(cm)	7.18	7.17	7.22
AVERAGE		7.19		
SAMPLE DIAMETER	(cm)	3.55	3.56	3.58
AVERAGE		3.56		
AREA	(cm ²)	9.89	9.95	10.06
VOLUME	(cm ³)	71.03	71.28	72.64
γ_{wet}	(kg/cm ³)	1.77	1.77	1.76
AVERAGE	(kg/cm ³)	1.77		
γ_{dry}	(kg/cm ³)	1.23	1.21	1.20
AVERAGE	(kg/cm ³)	1.21		
LRC	(kg/div)	0.19		
σ_3	(kg/cm ²)	0.40	0.80	1.20

Lalu dengan alur perhitungan diatas maka didapat

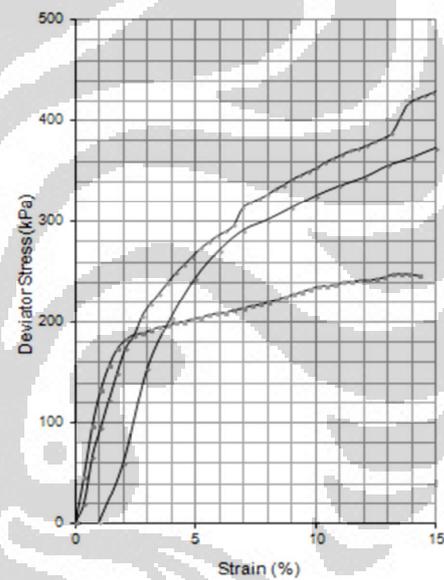


Gambar 4.53 Diagram Mohr Sampel B

MACHINE, LRC	0.19 kg/div
SAMPLE DIAMATER	3.56 cm
SAMPLE HEIGHT	7.19 cm

	SPECIMEN			
	1	2	3	
σ_3	40.00	80.00	120.00	kPa
$\Delta\sigma$	248.23	423.56	463.91	
σ_1	288.23	503.56	583.91	

γ_{wet}	17.67 kN/m ³
γ_{dry}	12.13 kN/m ³
w	45.64 %
c	36.51 kPa
ϕ	35.04 °



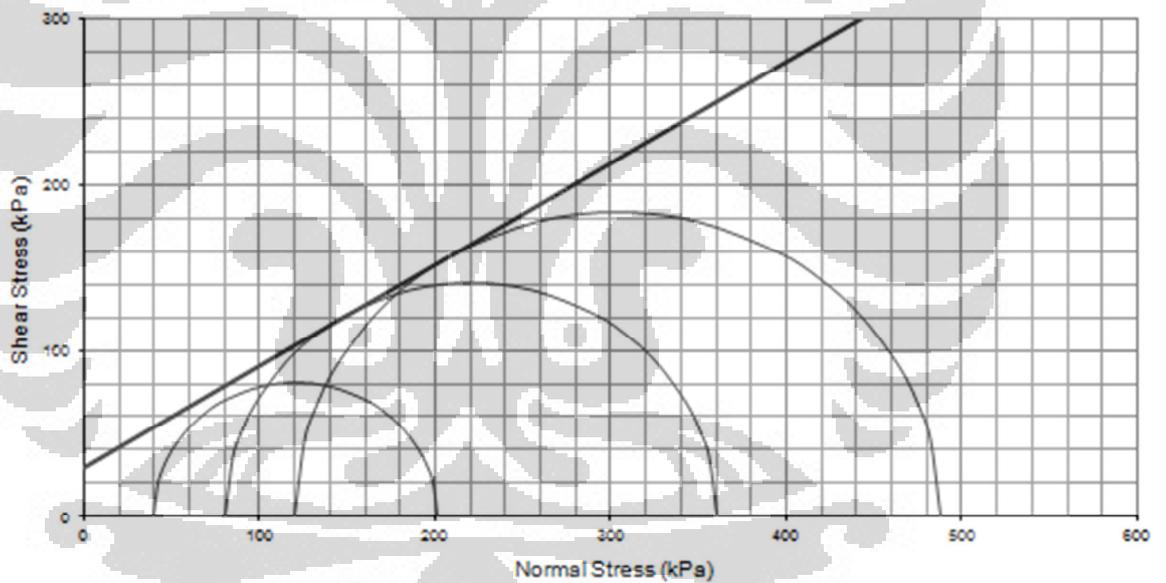
Gambar 4.54 Hasil Dan Diagram Keruntuhan Sampel B

- Sampel C

Data umum

Wt OF WET SOIL + CAN	(gram)	147.31	148.13	148.40
Wt OF DRY SOIL + CAN	(gram)	109.20	109.56	110.10
Wt OF CAN	(gram)	22.97	22.97	22.97
Wt OF DRY SOIL	(gram)	86.23	86.59	87.13
Wt. OF MOISTURE	(gram)	38.11	38.57	38.30
WATER CONTENT	(%)	44.20	44.54	43.96
AVERAGE W. CONTENT	(%)	44.23		
SAMPLE HEIGHT	(cm)	7.22	7.14	7.16
AVERAGE		7.17		
SAMPLE DIAMETER	(cm)	3.58	3.54	3.56
AVERAGE		3.56		
AREA	(cm ²)	10.06	9.84	9.95
VOLUME	(cm ³)	72.64	70.24	71.23
γ_{wet}	(kg/cm ³)	1.71	1.78	1.76
AVERAGE	(kg/cm ³)	1.75		
γ_{dry}	(kg/cm ³)	1.19	1.23	1.22
AVERAGE	(kg/cm ³)	1.21		
LRC	(kg/diw)	0.19		
σ_3	(kg/cm ²)	0.40	0.80	1.20

Lalu dengan alur perhitungan diatas maka didapat

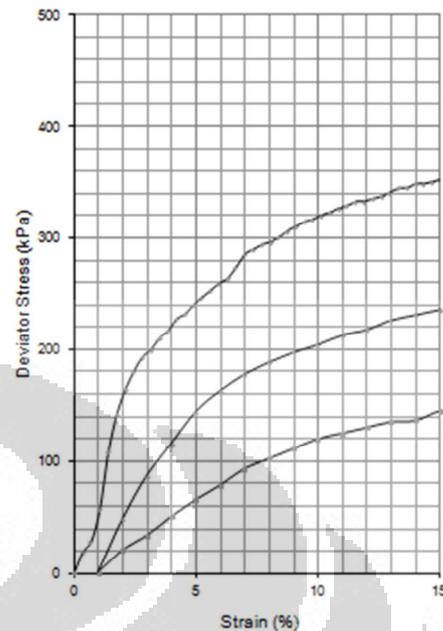


Gambar 4.55 Diagram Mohr Sampel C

MACHINE, LRC	0.19 kg/div
SAMPLE DIAMATER	3.56 cm
SAMPLE HEIGHT	7.17 cm

	SPECIMEN			
	1	2	3	
σ_3	40.00	80.00	120.00	kPa
$\Delta\sigma$	161.75	280.76	368.01	
σ_1	201.75	360.76	488.01	

γ_{wet}	17.52 kN/m ³
γ_{dry}	12.14 kN/m ³
w	44.23 %
c	29.78 kPa
ϕ	31.45 °



Gambar 4.56 Hasil Dan Diagram Keruntuhan Sampel C

4.3 Analisa

4.3.1 Analisa Data Lapangan

a. Badan Jalan

Dari data yang diperoleh didapatkan bahwa disepanjang jalan citayam-depok ini sering berhimpitan dengan pemukiman yang memang menjadi mayoritas pemanfaatan lahan untuk daerah tersebut. Untuk rel bagian barat/hulu ada 1800 m bagian jalan rel yang berhimpitan dengan pemukiman warga dan juga 1300 m untuk bagian rel timur/hilir. Berhimpitan disini ialah badan jalan mempunyai nilai yang kurang 1 meter daerah bebas dari mulai bahu ballas. Daerah bebas dimaksud adalah daerah yang bebas dari aktifitas rutin manusia disekitarnya karena meskipun di beberapa titik tidak ada pemukiman namun dalam daerah badan jalan tersebut sering ada aktifitas manusia seperti menjadikannya jalan setapak, tempat menjemur kasur, area bekerja dan lainnya. Keberadaan manusia dan aktifitasnya pada daerah badan jalan tersebut akan sangat merugikan karena selain memberi pembebanan tambahan aktifitas manusia pun dapat member efek samping yang tidak baik seperti pada buangan sampah dan air selama beraktifitas.

Tabel 4.12 Kecrotan Berdasarkan Kondisi Badan Jalan

keadaan	kecrotan (m)		panjang (m)	
	hu	hilir	hulu	hilir
berhimpit	1133	400	1800	1300
tidak	1062	312	2200	2700
jmlh	2195	712	4000	

Sumber: Olahan Sendiri

Jika melihat data tabel diatas maka didapatkan pada daerah berhimpit memiliki jumlah kecrotan yang lebih banyak dibandingkan tidak baik itu pada rel bagian hulu maupun hilir. Fenomena ini terjadi meskipun panjang daerah yang tidak berhimpitan masih lebih luas dari yang berhimpitan dengan lingkungan sekitarnya.

Tabel 4.13 presentase kecrotan dan panjang jalannya

keadaan	% kecrotan		%panjang		%kecrotan/panjang	
	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir
berhimpit	51.61731	56.17978	45	32.5	62.944444	30.76923
tidak	48.38269	43.82022	55	67.5	48.272727	11.55556

Sumber: Olahan Sendiri

PT.KAI sendiri dari buku aturan perawatan jalan rel Reglemen 10 juga sudah memasukan keharusan dalam pembersihan daerah jalan dari segala sampah dan tumbuh-tumbuhan agar tidak terjadi dampak yang tidak diinginkan karena terlalu dekat dengan struktur jalan rel. Adanya sampah dan tumbuh-tumbuhan serta benda-benda lainnya yang menimbulkan potensi kotornya ballas dan rembesan air merupakan hal yang harus dihindari.

Potensi bahaya yang lebih besar adalah ketika sudah memiliki daerah jalan yang kecil ditambah dengan adanya kemiringan lereng ke arah jalan rel yang akan mengirimkan limpasan air, tanah, dan sampah masuk ke bagian jalan rel. Dengan adanya dua kondisi tersebut maka badan rel akan cepat terganggu. Dari data yang diperoleh, ada 2000 meter bagian jalan rel hulu yang lebih rendah dibandingkan

dengan daerah luarnya sedangkan untuk rel hilir justru memiliki 2200 meter daerah yang lebih tinggi dari daerah luarnya. Dari angka kecroton pada data yang didapat jika di klasifikasikan dengan ketinggian daerah jalan rel didapat:

Tabel 4.14 Kecroton Berdasarkan Tinggi Badan Jalan

keadaan	kecroton (m)		panjang (m)	
	hu	hilir	hulu	hilir
rendah	1112	142	2000	400
sejajar	1059	309	1800	1600
tinggi	24	261	200	2200
jmlh	2195	712	4000	

Sumber: Olahan Sendiri

Tabel 4.15 presentase kecroton dan panjang jalannya

keadaan	% kecroton		%panjang		%kecroton/panjang	
	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir
rendah	50.66059	19.94382	50	10	55.6	35.5
sejajar	48.24601	43.39888	45	40	58.833333	19.3125
tinggi	1.093394	36.6573	5	55	12	11.86364

Sumber: Olahan Sendiri

Dari tabel tersebut diketahui bahwa untuk 2000 m daerah rel hulu yang lebih rendah dibanding tanah sekitarnya memiliki 1112 m kecroton dan untuk 2200 m daerah rel hilir yang memiliki kondisi lebih tinggi dibandingkan dengan sekitarnya hanya terdapat 261 m kecroton. Untuk keseluruhan pada rel hulu pun kecroton terbanyak berada pada daerah yang lebih rendah sedangkan untuk rel hilir hanya 142 m namun itu karena jumlah daerah yang lebih rendah kecil yaitu 400m atau hanya 10% panjang rel hilir dan tetap memiliki presentase terbesar 20% total kecroton pada rel hilir. Jika dilihat presentase perbandingan panjang kecroton per panjang untuk daerah hulu didapatkan presentase terbesar masih pada daerah yang sejajar hal ini masih mungkin terjadi karena masih dipengaruhi

oleh system draenase dan ketebalan ballas. Pada km 35.4 contohnya memiliki 140 m kecrotan, meskipun kondisinya sejajar tapi kemiringan badan jalan rel mengarah kedalam sehingga air yang jatuh dibadan jalan akan terperangkap.

b. Ballas

Seperti yang sudah diketahui dari pembahasan sebelumnya bahwa ketebalan rata-rata ballas untuk lintas citayam-depok ini hanya sekitar 5 cm dengan banyak daerah kondisinya lebih tipis dari 5 cm bahkan langsung membuat bantalan berhubungan langsung dengan tanah dasar, namun ada juga daerah yang mempunyai ketebalan lebih dari itu. Hal yang dapat dipastikan bahwa ketebalan ballas tersebut masih sangat kurang dari batas standar untuk jalan rel kelas 2 yaitu 15-30 cm. Kondisi ballas yang tipis ini membuat kantong ballas lebih cepat terjadi karena mud pumping akan lebih cepat menyelimuti seluruh ballas dan mencapai struktu atas jalan rel dimulai dengan bantalan. Di daerah citayam depok ini memiliki jumlah fenomena kantong ballas lebih dari 3000 m selama tahun 2009 sampai 2012. Di bawah ini merupakan data kecrotan sesuai dengan kondisi ballas dimana tipis adalah 0-5 cm dan sedang adalah 5-15 cm dan untuk yang kategori baik memiliki tebal diatas 15 cm.

Tabel 4.16 Kecroatan Berdasarkan Tebal Ballas

ballas	kecrotan (m)		panjang (m)	
	hu	hilir	hulu	hilir
tipis	663	534	900	1900
sedang	1532	164	3100	1600
tebal	0	14	0	500
jmlh	2195	712	4000	

Sumber: Olahan Sendiri

Tabel 4.17 presentase kecroton dan panjang jalannya

ballas	% kecroton		%panjang		%kecroton/panjang	
	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir
tipis	30.20501	75	22.5	47.5	73.666667	28.10526
sedang	69.79499	23.03371	77.5	40	49.419355	10.25
tebal	0	1.966292	0	12.5	0	2.8

Sumber: Olahan Sendiri

Dari tabel tersebut didapatkan mayoritas jalan rel hulu memiliki ketebalan yang sedang sedangkan untuk hilir mayoritas memiliki ketebalan yang tipis. Untuk fenomena kecroton pada rel hulu dilihat bahwa yang terbanyak adalah pada kategori sedang namun jika dibandingkan antara presentase jumlah kecroton dan presentase panjang untuk kategori ballas tipis memiliki 30% jumlah kecroton dengan hanya 22% panjang total. Untuk rel hilir didapatkan kecroton terbanyak pada bagian ballas tipis yang mana memang mayoritas pada rel tersebut dan jika ditinjau presentasinya kategori ballas tipis yang panjangnya 47.5% panjang total menanggung 75% fenomena kecroton, bahkan ballas baik yang memiliki panjang 12.5% dari total hanya menyumbangkan 2% jumlah kecroton. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa ketebalan ballas untuk daerah studi ini mempengaruhi fenomena kecroton.

c. Drainase

Pada daerah studi ditemukan bahwa saluran drainase yang ada hanya saluran drainase permukaan. Dalam penjelasan PD 10 dijelaskan bahwa drainase sendiri ada tiga jenis yaitu permukaan, bawah permukaan, dan lereng. Seperti yang sudah pernah dibahas sebelumnya pada daerah studi ini ketinggian muka air tanah jauh dibawah permukaan sehingga tidak dibuatnya drainase bawah permukaan dan juga tidak ada ketinggian lereng yang besar lebih dari 1 m sehingga drainase lereng khusus pun tidak dibuat. Namun yang menjadi masalah besar adalah dengan ketinggian lereng yang meskipun kecil namun tidak ada drainase sehingga sudah dapat dipastikan air limpasan akan masuk ke badan jalan rel. Fenomena lain dilapangan yang memicu terjadinya kantung ballas juga adalah

kemiringan tanag dasar yang tidak mencapai peryaratan 5% kearah luar sehingga membuat air tidak mengalir ke drainase dan tetap menimbulkan genangan.

Tabel 4.18 Kecrotan Berdasarkan Keberadaan Drainase

drainase	kecrotan (m)		panjang (m)	
	hu	hilir	hulu	hilir
ya	709	284	1100	2500
tidak	1486	428	2900	1500
jmlh	2195	712	4000	

Sumber: Olahan Sendiri

Tabel 4.19 presentase kecrotan dan panjang jalannya

drainase	% kecrotan		%panjang		%kecrotan/panjang	
	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir
ya	32.30068	39.88764	27.5	62.5	64.454545	11.36
tidak	67.69932	60.11236	72.5	37.5	51.241379	28.53333

Sumber: Olahan Sendiri

Pada daerah rel hilir, bagian luar dari jaan rel seringkali bersebelahan dengan jalan raya sehingga membuatnya memiliki banyak daerah yang sudah terfasilitasi saluran drainasenya sedangkan untuk daerah rel hulu justru memiliki banyak daerah yang belum berdrainase seperti seharusnya dan bahkan untuk daerah yang sudah berdrainase pada rel hulu pun tetap memiliki kecrotan dalam jumlah banyak karena mendapatkan limpasan dari pemukiman yang berhimpitan dengannya serta banyak yang tidak memiliki kemiringan tanah dasar yang tepat yang membuat drainase tidak berfungsi seperti seharusnya. Oleh karena itu daerah rel hulu memiliki jumlah kecrotan yang jauh lebih banyak dibandingkan yang terjadi di daerah rel hilir. Pada daerah rel terlihat jelas pengaruh adanya drainase karena untuk daerah yang tidak memiliki drainase yang hanya 37.5% justru menyumbang angka kecrotan mayoritas sebesar 60%. Sedangkan untuk daerah rel hulu persentase kecrotan pada daerah berdrainase masih besar yaitu 32% dari jumlah total dengan panjang hanya 27% total karena banyak system drainase yang

tidak berfungsi dan dipengaruhi oleh lingkungan sekitar rel yang berupa aktifitas manusia, pemukiman, dan keberadaan lereng.

Contoh kejadian ini adalah pada km 35.0-35.4 dimana dia memiliki drainase namun kondisi tanah dasar kearah dalam, ditambah kondisi daerah luar lebih tinggi dan beberapa drainasi dangkal dan menggenang sehingga system drainase tidak berjalan dengan baik dan ada 291m kecrotan dan merupakan jumlah yang sangat besar. Pada daerah tersebut juga ditemukan kecrotan kering pada daerah tengah jalan rel antara rel hulu dan rel hilir padahal kondisi ballasnya pun termasuk ketebalan sedang. Jika kondisi pada km tersebut dikategorikan ke tidak ada drainase maka angka presentase kecrotan per panjang akan jauh lebih besar untuk yang tidak ada drainase yaitu sebesar 66%.

d. Faktor utama

Dari pembahasan dan analisa faktor-faktor diatas, dilihat bahwa kondisi badan jalan yang berhimpitan maupun kondisi ketinggiannya merupakan salah satu faktor yang berpengaruh menimbulkan kecrotan karena pengaruhnya dalam menyebabkan genangan air baik itu karena limpasannya yang diakibatkan kemiringan lereng atau buangan limbah pemukiman ataupun karena perusakan kondisi jalan rel karena berhimpitnya wilayah aktifitas manusia dengan badan jalan. Dua faktor tersebut menjadi faktor yang membuat system drainase menjadi tidak ideal. Sehingga jika dikerucutkan lebih detail 2 faktor utama dari pembentukan kecrotan ini adalah tipisnya lapisan ballas dan juga tidak adanya system drainase yang ideal.

Di bawah ini pun diperjelas dengan perbandingan kondisi yang melibatkan lapisan ballas dan drainase dengan jumlah kecrotan. Anomali yang terjadi pada km 35.0-35.4 pun yang memiliki drainase ada namun tetap banyak kecrotan pun karena masalah tidak jalannya system drainase yang dikarenakan kemiringan tanah badan jalan rel justru kearah dalam dan banyaknya limpasan sampah dan air dari pemukiman. Di bawah ini merupakan perbandingan kondisi kecrotan dengan kondisi ballas dan drainase.

Tabel 4.20 kondisi kecroton berdasarkan lapisan ballas dan drainase

ballas dan drainase	kecroton (m)		panjang (m)	
	hu	hilir	hulu	hilir
ballas baik/ drainase tdk	1085	49	2300	600
ballas tipis/ drainase ya	262	155	300	1000
ballas tipis/drainase tdk	401	379	600	900
Ballas baik/drainase ya	447	129	800	1500
total	2195	712	4000	4000

Sumber: Olahan Sendiri

Dari data tabel diatas didapatkan kondisi terbanyak kecroton adalah pada saat dimana tidak ada drainase dengan jumlah yang berbeda secara significant dan memang merupakan mayoritas kondisi di jalan rel citayam-depok tersebut.

e. Perawatan

Pemantauan dan perawatan pada setiap fenomena kantong ballas ini dari mulai pengecekan hingga penanganan sudah dilakukan secara terprosedur dimana checklist pengecekan dan pengajuan program serta realisasinya sudah ada alur dan arahannya. Kerusakan yang ditimbulkan oleh kantong ballas sendiri belum sampai ada yang merusak struktur jalan rel secara besar karena penanganan segera dilakukan. Kerusakan yang terjadi separah-parahnya adalah patah pada bantalan namun cepat ditangani. Perbaikan yang dilakukan juga sudah teratur dan tidak mengganggu jadwal kereta. Kendala yang ada adalah jumlah kecroton yang terjadi jauh lebih besar dari jumlah pekerja dan selalu datang berulang-ulang. Hal inilah yang membuat kecroton seakan menjadi pekerjaan rutin resort jj depok.

Ketika melihat lebih detail dari proses perbaikan kecroton akan didapatkan beberapa factor tidak kunjung selesainya pengerjaan ballas tersebut, yaitu ketidaktersediaan ballas kondisi ideal dan pengerjaan bagian bawah yang tidak maksimal, dan tidak adanya pembuatan system drainase ideal. Seringkali di lapangan ketikaa perbaikan pengisian kembali ballas tidak menggunakan ballas baru namun hanya mensubsidi dengan menggunakan ballas-ballas disekitarnya. Hal ini sangat tidak baik apalagi untuk kondisi dimana lapisan ballas existing lokasi sudah sangat tipis sehingga kondisi ballas tidak akan ideal. Lambat laun ketebalan balas lokasi tersebut akan semakin menipis hingga habis. Kiriman ballas dari PT.KAI tahunan

rata-rata 1800m³ dan jika dibagi rata ke seluruh wilayah citayam-depok hanya akan mendapatkan ketebalan 4.5 cm dengan catatan pembagian dilakukan merata ke seluruh wilayah.

Hal kedua yang perlu dicermati adalah pengerjaan bagian bawah bantalan dalam setiap perbaikan dimana seharusnya ada pengerukan tanah yang dalam lalu dilakukan pengisian ballas namun seringkali hanya berupa pengangkatan bantalan sedikit dan dilakukan pengisian dengan seadanya saja yaitu dengan menyelip-nyelipkan yang ada. Hal ini kurang lebih berhubungan juga dengan ketersediaan ballas sebelumnya. Satu point lagi dalam pengerjaan daerah bawah adalah kondisi kemiringan tanah dasar yang tidak diperbaiki sehingga membuat system drainase tidak berjalan ideal dan dengan berjalannya waktu akan . Permasalahan ini cukup sulit karena membutuhkan pembongkaran yang cukup luas jika melakukan pengerjaan besar pada tanah dasar kembali.

Dalam beberapa pengerjaan perbaikan, untuk kondisi kecrotan basah seringkali dilakukan pengurusan terlebih dahulu dengan cara pompa ataupun pembuatan saluran drainase sementara. Kondisi yang disayangkan karena seyogyanya genangan air dan kecrotan tidak akan terjadi jika drainase tersedia dan berjalan dengan baik dan hal ini tidak mendapatkan perhatian yang cukup dalam perbaikan.

Dari analisa data lapangan mendapatkan hasil bahwa tipisnya ballas dan adanya genangan air pada subgrade jalan rel menjadi penyebab cepat terjadinya kecrotan. Genangan air itu sendiri memiliki beberapa faktor penyebab seperti kondisi drainase yang tidak ideal, berhimpitnya jalan rel dengan pemukiman sehingga mendapat limpasan air dan sampah, serta kemiringan tanah kearah dalam jalan rel yang akan secara langsung mengalirkan air dan membuatnya terjebak di daerah jalan rel.

4.3.2 Analisa Data Laboratorium

Rangkuman hasil uji lab mengenai karakteristik tanah dasar sebagai berikut:

Tabel 4.21 Hasil Uji Laboratorium Tanah Dasar

no	Nama uji lab	Hasil	Sampel		
			A	B	C
1	Atteberg Limit	Liquid limit	53.76%	80.10%	83.17%
		Plastic limit	23.92%	25.71%	22.93%
		Shrinkage limit	14.15%	11.28%	15.28%
		Flow Indeks	-26.04	-32.26	-30.83%
		Indeks plastics	29.84%	55.86%	60.24%
		Shrinkage Ratio	1.49	1.1	1.56
2	Specific Gravity	Gs	2.64	2.6	2.52
3	Hydro&Sieve	CU	45.716	437.7	149.8
		CC	5.23	1.82	0.77
4	compaction	kadar air opt	27.50%	45%	44%
5	California Bearing	CBR unsoaked	7.43%	10.30%	10.43%
		CBR soaked	3.70%	2.48%	2.40%
		swell	0.99%	0.95%	0.72%
6	Permeability	K-20	3.76 E-6	7.65 E-7	5.29 E-7
7	Triaxial	c	73 Kpa	36 Kpa	29.78 Kpa
		sudut geser	29.31	36.51	31.44

Sumber: Olahan Sendiri

Melihat dari hasil pengujian lab dapat dilihat bahwa sampel A memiliki IP yang tergolong sudah tinggi yaitu $>20\%$ sehingga sudah tergolong plastis dan masuk kategori tanah clay silt atau lempung berpasir. Sementara sampel B dan C memiliki IP yang sangat tinggi $> 40\%$ dan membuatnya masuk ke kategori tanah yang very high plasticity cenderung tergolong lempung atau clay (clay). Hal ini didukung juga oleh tingkas kohesifitas (c) yang tinggi juga dan menggolongkannya kedalam tanah lempung atau clay.

Tanah lempung terdiri dari butir – butir yang sangat kecil (< 0.002 mm) dan menunjukkan sifat – sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian – bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah – rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan – retakan atau terpecah – pecah (L.D Wesley, 1977)

Tabel 4.22 Tabel Klasifikasi Tanah Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
Montmorillonite	100 – 90	50 – 100	8,5 – 15
Illite	60 – 120	35 – 60	15 – 17
Kaolinite	30 – 110	25 – 40	25 – 29

Sumber: Toha, 1989

Tabel 4.23 Klasifikasi Tanah Lempung Dan Lanau

No	Parameter	Nilai
1	Kadar air	80 – 100%
2	Batas cair	80 – 110%
3	Batas plastik	30 – 45%
4	Lolos saringan no. 200	> 90%
5	Kuat geser	20 – 40 kN/m ²

Sumber: Mitchell, 1976

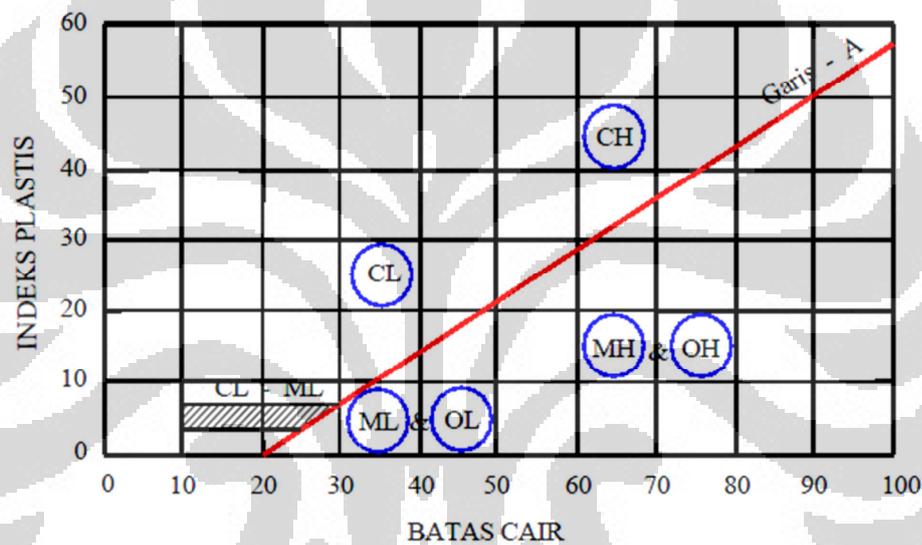
Untuk tanah sampel A ternyata juga memiliki tingkat kohesifitas yang sangat tinggi berada diatas rata-rata 20-30 untuk tanah clay sehingga untuk nilai c masuk ke kategori lempung, nilai c yang didapat cenderung tinggi karena pengujian triaxial dilakukan dengan sampel tanah disturbed setelah digunakan pada uji CBR.

Tabel 4.17 Karakteristik tanah berdasarkan IP

No.	Plasticity Index	Description
1	0	Non Plastic
2	1 - 5	Slightly Plastic
3	5 – 10	Low Plastic
4	10 - 20	Medium Plastic
5	20 – 40	High Plastic
6	> 40	Very High Plastic

Sumber: craig 1987

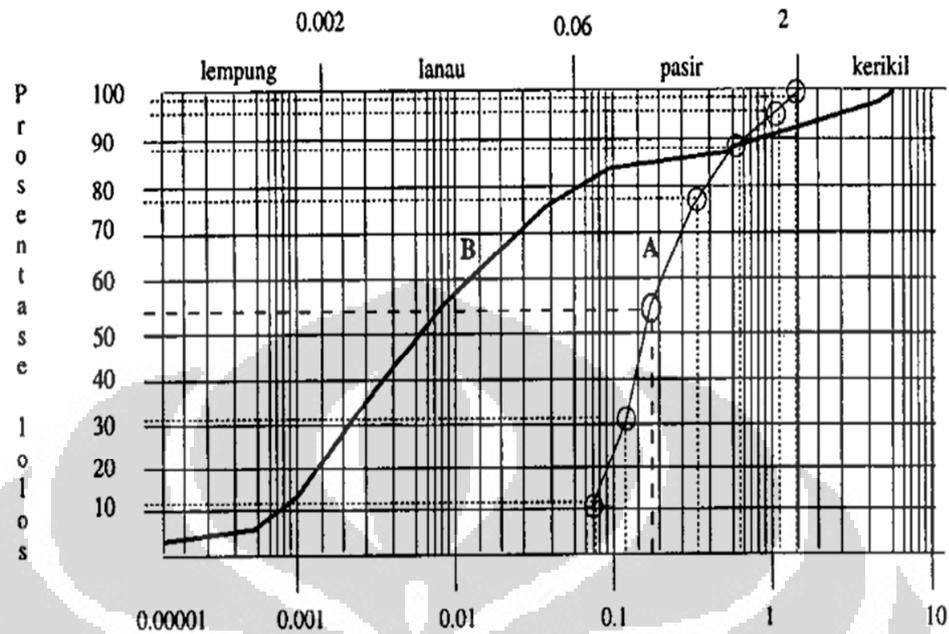
Untuk penyusutan ketiga sampel memiliki potensi susut yang cukup besar namun masih dalam range 10-30 persen untuk tanah halus (lanau dan lempung). Untuk pengembangan oleh sebab penambahan kadar air pada uji swelling ketika tes CBR didapatkan Sampel A memiliki pengembangan terbesar namun ketiganya masih menunjukkan angka yang tidak tinggi. Potensi pengembangan menurut USCS juga dapat dilihat dengan perbandingan antara IP dan LL dimana untuk sampel A masuk ke kategori clay low plasticity dan untuk sampel B dan C masuk ke kategori clay High Plasticity.



Gambar 4.57 klasifikasi menurut perbandingan IP dan LL

Sumber: USCS

Cara lain melihat karakteristik tanah adalah dengan meninjau butiran yang ada yaitu melihat gradasi diameter ukuran butiran tersebut. Dari persebaran ukuran butiran nantinya dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori tanah. Secara umum pembagian kategori tanah dibagi menjadi lempung, lanau, pasir, dan kerikil. Ada beberapa sumber lain yang mengatur lebih spesifik dengan membagi lagi menjadi lempung halus, kasar, sedang, sangat kasar dan lainnya.



Gambar 4.58 Klasifikasi Berdasarkan Ukuran Butiran

Tabel 4.18 Perbedaan Sifat Pasir dan Tanah Lempung

Sifat	Pasir	Tanah Lempung
Ukuran butiran	Kasar	Halus
Permeabilitas	Tinggi	Rendah
Kenaikan air kapiler	Rendah	Tinggi
Pengaruh air	Tidak ada	Terjadi konsistensi kembang susut
Perlawanan geser	Non-kohefif	Kohefif
Kompresibilitas	Kecil	Besar
Proses konsolidasi	Cepat	Lambat

Sumber : Hardjowigeno, 2003

Tabel 4.24 Referensi Klasifikasi Tanah Dari Beberapa Sumber

	2,0 mm	1,0	0,5	0,25	0,1	0,05	0,002mm										
Bureau of soil USDA	kerikil						lanau			lempung							
		kasar	sedang	halus	sangat halus												
		pasir															
ASTM	2,0 mm	0,420	0,075			0,005			0,001								
	pasir sedang		pasir halus			lanau			lempung		lempung koloidal						
MIT nomenclature	2,0 mm	0,6	0,2	0,06		0,006			0,002	0,0006	0,0002						
	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus								
	pasir			lanau			lempung										
International nomenclature	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002mm						
	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus						
	pasir				Mo		lanau		lempung								
BS 6930	Lempung		Lanau			Pasir			Kerikil			Cobbles	Boulders				
			Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar						
	0,001	0,002	0,006	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,6	1	2	6	10	20	60	100	200
	Ukuran partikel (mm)																

Ketiga sampel tanah yang diujikan memiliki karakter gradasi tanah dengan persebaran yang luas atau tidak uniform karena memiliki nilai CU yang >15 meskipun untuk kelengkungan atau CC pada Sampel A dan C tidak memenuhi kriteria tanah baik tapi tidak terlalu jauh dari standar tanah lempung yaitu 1-3 namun, untuk sampel B yang berada nilai CC antara 1-3 memenuhi kriteria well graded (Braja M Das). Melihat dari hasil uji hydrometer dan sieve analysis untuk Sampel A masuk ke dalam kategori tanah halus, lempung berpasir atau lanau sedangkan untuk sampel B dan C masuk ke kategori Lempung, tanah halus, atau lempung koloid.

Selanjutnya melihat dari nilai K permeabilitas ketiga sampel memiliki nilai K yang sangat kecil yang mana menandakan tanah jenis tersebut kesulitan atau tidak baik dalam pelulusan air. Untuk sampel A masuk ke kategori nilai k pada tanah lanau sedangkan untuk sampel B dan C masuk ke kategori pada tanah

lempung. Di bawah ini beberapa referensi pembagian klasifikasi tanah berdasarkan beberapa sumber.

Tabel 4.25 klasifikasi tanah berdasarkan k permeabilitas (BS 8004, 1986)

	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
Kerikil bersih	Pasir bersih dan campuran pasir-kerikil			Pasir sangat halus, lanau dan lempung-lanau berlapis-lapis			Lempung tak bercelah dan lempung lanau (>20% lempung)				
	Lempung yang mengalami pengawetan dan bercelah										

Tabel 4.26 klasifikasi tanah berdasarkan permeabilitas (Cassagrande, 1938)

Jenis Tanah	k (m/s)
Kerikil	$1 \times 10^{-2} - 1$
Pasir/campuran pasir-kerikil	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-2}$
Pasir halus, lanau organik, campuran pasir, lanau, clay	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-5}$
Clay padat	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-9}$

Tabel 4.27 klasifikasi tanah berdasarkan permeabilitas (weasley)

Jenis Tanah	k (m/s)
Pasir berlempung, pasir berlanau	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$
Pasir halus	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
Pasir kelanauan	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$
Lanau	$1 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-6}$
Lempung	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$

Terakhir kita meninjau daya dukung tanah tersebut dengan melihat nilai hasil uji triaxial dan nilai hasil uji CBR. Untuk nilai CBR tanah sampel A memiliki CBR sekitar 7.5 % sedangkan sampel B dan C keduanya diatas 10%.

Sejalan dengan hasil CBR , besar sudut geser pada test triaxial sampel A pun yang terkecil diantara ketiganya, namun untuk sudut geser pada tanah lempung dan lanau masih tergolong cukup dimana range antara 20-40 derajat. Hanya saja untuk sampel A, nilai CBR yang dimiliki dibawah standar nilai CBR dari PD 10 PTKAI yaitu sebesar 8%. Penurunan nilai CBR terjadi sangat besar untuk ketiga sampel pada kondisi soaked atau pasca perendaman, sampel A turun dari 7,5% jadi 3% , dan sampel B dan C turun dari 10% ke angka 2%. Terlihat bahwa sampel B dan C yang memiliki nilai LL dan IP yang lebih besar terkena dampak yang lebih besar pula terhadap keberadaan air. Dari keseluruhan hasil uji lab pada tanah dasar, didapatkan kecenderungan tanah dasar pada jalan rel citayam-depok masuk dalam kategori lempung, dan lempung sedikit lanau.

4.3.3 Hubungan Tanah Dasar dengan Pembentukan Kantung Ballas

1. Mudah Terbentuk Menjadi Mud Pumping dan Rongga

Dengan karakter yang memiliki sifat perubahan fisik yang cepat dengan harga IP yang tinggi dan akan susut serta swelling jika dipengaruhi oleh perubahan kadar air. Hal ini menunjang pembentukan lumpur karena perubahan fisiknya yang cepat memasuki fase plastis dan menuju fase liquid. Keadaan ini juga berlanjut dengan terjadinya pengembangan lumpur itu sendiri sehingga membentuk mud pumping yang juga didorong oleh adanya tegangan dari perlintasan kereta di atasnya. Kondisi kantung ballas akan terjadi dan memburuk lagi ketika mongering dan kembali menyusut maka akan tercipta rongga-rongga antara bantalan dan bagian bawahnya dan membuat terjadinya hentakan terhadap struktur rel tersebut setiap ada kereta yang lewat dan menyebabkan kerusakan pada bantalan tersebut. Ini adalah salah satu penyebab utama kerusakan pada bagian rel atas yang disebabkan oleh kantung ballas. Hal ini senada dengan kejadian yang diceritakan langsung oleh Bpk. Sukardi ketua Resort JJ Depok.

2. Pelulusan Air yang Minim

Tanah dasar tersebut juga memiliki tingkat permeabilitas yang rendah sehingga pelulusan air tidak baik dan berpotensi menimbulkan genangan jika air

limpasan tidak mengalir. Hal ini sangat disayangkan karena dengan tidak dapat meluluskan air dengan baik maka dengan keadaan drainase yang buruk dan kemiringan tanah yang tidak tepat akan dipastikan tanah hanya berkumpul pada lapisan subgrade dan membutuhkan waktu yang lama untuk menyerap. Sifat tanah dasar ini merupakan faktor salah satu awal terbesar yang memicu terjadinya kantong ballas karena menjadi salah satu penyebab langsung adanya genangan air yang tak lain adalah penyebab utama terjadinya kantong ballas atau kecroton. Dengan kondisi tanah seperti ini pun akan memperbesar kemungkinan debit air limpasan wilayah sekitar yang masuk ke lokasi jalan rel karena memiliki posisi tanah yang lebih tinggi namun memiliki sifat tanah yang sama sehingga air juga tidak terserap di wilayahnya dan semuanya ikut mengalir sebagai limpasan.

3. Daya Dukung Tanah yang Rendah ketika Terendam

Dari uji CBR didapatkan bahwa daya dukung tanah dasar masih diatas dari yang disyaratkan PD 10 yaitu 8% CBR. Namun jika sudah terendam oleh air maka akan mendapatkan penurunan yang sangat besar. Hal ini berpotensi besar terhadap penurunan kemampuannya disaat kondisi tergenang. Dengan daya dukung rendah ketika terendam maka akan membuat tekanan diatasnya lebih mudah mengganggu kondisi tanah dan berakibat pada masuknya bagian ballas kedalam tanah sehingga bercampur dan menjadi kantong ballas. Lebih parah lagi ketika sudah mendorong bantalan yang berada diatas lapisan ballas untuk ikut bercampur juga. Ballas yang sudah terselimuti oleh tanah dasar akan sulit untuk bersih kembali karena tanah dasar ini memiliki tingkat kohesif yang tinggi sehingga daya lekat antar partikelnya sangat kuat dan lekat. Selain itu pada badan jalan yang tidak di desain ideal pun akan menyebabkan keruntuhan dan mengakibatkan keruntuhan pada bagian bahu ballas juga yang dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan lain pada struktur jalan rel.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil survey ke lapangan dan pengumpulan data kecroton serta perincian factor-faktor yang ada didapatkan hasil berupa:

1. Tipisnya lapisan ballas dan permasalahan pada drainase menjadi faktor utama pembentukan kantung ballas
2. Berhimpitnya jalan rel dengan pemukiman serta kemiringan tanah atau lereng yang mengarah ke arah dalam jalan rel menjadi faktor yang memperbesar akibat negative dari buruknya drainase tersebut.
3. Daerah Citayam – Depok merupakan daerah yang masih memiliki banyak faktor-faktor tersebut.
4. Penanggulangan kecroton pada daerah tersebut hanya berupa penanggulangan jangka pendek.
5. Jika dibiarkan saja maka lambat laun ketebalan ballas semakin habis, kecroton semakin sering muncul, bantalan dan rel akan cenderung lebih cepat rusak karena menanggung beban yang seharusnya disalurkan
6. Perlu adanya perbaikan pada struktur bawah jalan rel dan badan jalan rel untuk penanggulangan kecroton jangka panjang.

Sementara untuk hasil pengujian tanah dasar di laboratorium menemukan kesimpulan:

1. Tanah dasar pada daerah jalan rel depok-citayam tergolong kedalam jenis tanah lempung hingga lempung lanau
2. Daya dukung CBR pada tanah daerah tersebut masih memadai dengan cbr rata-rata diatas 8%
3. Tanah lempung tersebut memiliki nilai kohesi yang tinggi dengan kecenderungan melekat yang besar sesama partikel.
4. Tanah lempung daerah tersebut reaktif terhadap perubahan kadar air sehingga menimbulkan perubahan karakter dilapangan ketika musim penghujan dan memiliki nilai IP yang relative tinggi sehingga mudah terbentuk menjadi lumpur.

5. Tanah dasar tersebut memiliki K permeabilitas yang rendah sehingga sulit meluluskan air dan berpotensi membuat genangan yang memicu terjadinya kecrotan.
6. Kantung ballas cenderung terjadi pada tanah dengan karakter lempung yang memiliki IP yang tinggi, rentan terhadap perubahan kadar air, dan memiliki kemampuan permeabilitas yang rendah.

5.2 Saran

1. Perlu adanya perbaikan badan jalan yang lebih dalam dengan penebalan lapisan ballas dibawah bantalan yang sesuai standar beserta gradasi butiran agregatnya yang tepat.
2. Perlu adanya pengadaan saluran drainase yang memadai disepanjang jalan rel citayam depok. Kondisi jalan rel yang lebih rendah harus menjadi perhatian perancangan system drainase.
3. Perlu adanya perbaikan geometri tanah dasar pada beberapa titik jalan rel agar aliran air mengarah kea arah drainase.
4. Perlu adanya pagar pembatas antara wilayah pemukiman dengan jalan rel khususnya pada daerah-daerah yang berhimpitan
5. Kondisi tanah dasar sudah menjadi karakter tanah di wilayah tersebut sehingga perancangan-perancangan diatas harus memenuhi standar yang ada sehingga tidak akan terkena dampak negatif dari sifat tanah dasar.
6. Penanganan tanah secara fisik seperti pemadatan yang diikuti pembasahan dan pengeringan berulang dapat menekan efek negative sifat ekspansif tanah lokasi.
7. Stabilisasi tanah dasar untuk menurunkan IP tanah tersebut juga dapat dilakukan dengan pencampuran beberapa zat seperti kapur, semen, dan lainnya pada takaran yang pas.
8. Jika ada biaya yang cukup penggunaan geotextile dapat menjadi alternative perbaikan pada subgrade jalan rel untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya mud pumping.
9. Pada penelitian selanjutnya dapat membahas dan menambahkan mengenai solusi detail yang pas untuk stabilisasi tanah dasar pada daerah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Pedoman Modul Praktikum Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Craig, R. F.. 1998. *Mekanika Tanah*. terjemahan Budi Susilo. Edisi ke empat.
- Budhu, Muni. 2007. *Soil Mechanics and Foundations*. Sccond Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc..
- Nazarian, S. 1984. In situ determination of elastic moduli of soil deposits and pavement systems by Spectral-Analysis-of-Surface-Wave method. Disertasi Ph.D. The University of Texas at Austin.
- Nazarian, S. & Stokoe II, K. H. 1984. In-situ shear wave velocity from spectral analysis of surface waves. Proc.of 8th World Conf. on Earthquake Engineering Vol.3, hlm. 31-38
- Braja M Das, Noor Endah, Indra Surya B, Mochtar, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknik) Erlangga. Jakarta 1995
- Hapsoro, Suryo. 2006. Jalan Rel. Yogyakarta
- Rachmadi&Hidayat. 2001. Rakayasa Jalan Rel SI-475. ITB. Bandung
- PJKA. 1986. Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No.10). Bandung.
- PJKA. 1986. Penjelasan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Penjelasan Peraturan Dinas No.10). Bandung.
- Rosyidi, SAPJNN. 2004. Evaluation of Pavement Stiffness using SASW Method. Master of Science (Civil & Structural Engineering) Thesis. Universiti
- Rosyidi, SAPJNN, Nayan, K.A.M. & Taha, M.R. 2004. Application of Spectral Analysis of Surface Wave Technique for Pavement and Ground Evalution. Book Draft. **In Preparation for Publishing**. Universiti Kebangsaan Malaysia. Malaysia.
- Selig, E.T. dan Waters, J.M. 1984. Track Geotechnology and Substructure Management. Thomas Telford. Wilts.
- Andrawes, K.Z, 1975. "Anisotropy of Strength in Clay Containing Plate off Increasing Size". 4th Southeast Asian Conference on Soil Engineering Kuala Lumpur, Malaysia (7th – 10th April)

Duncan, J.M.. *“The Effect of Anisotropy and Reorientation of Principal Stresses on The Shear Strength of Saturated Clay”*.

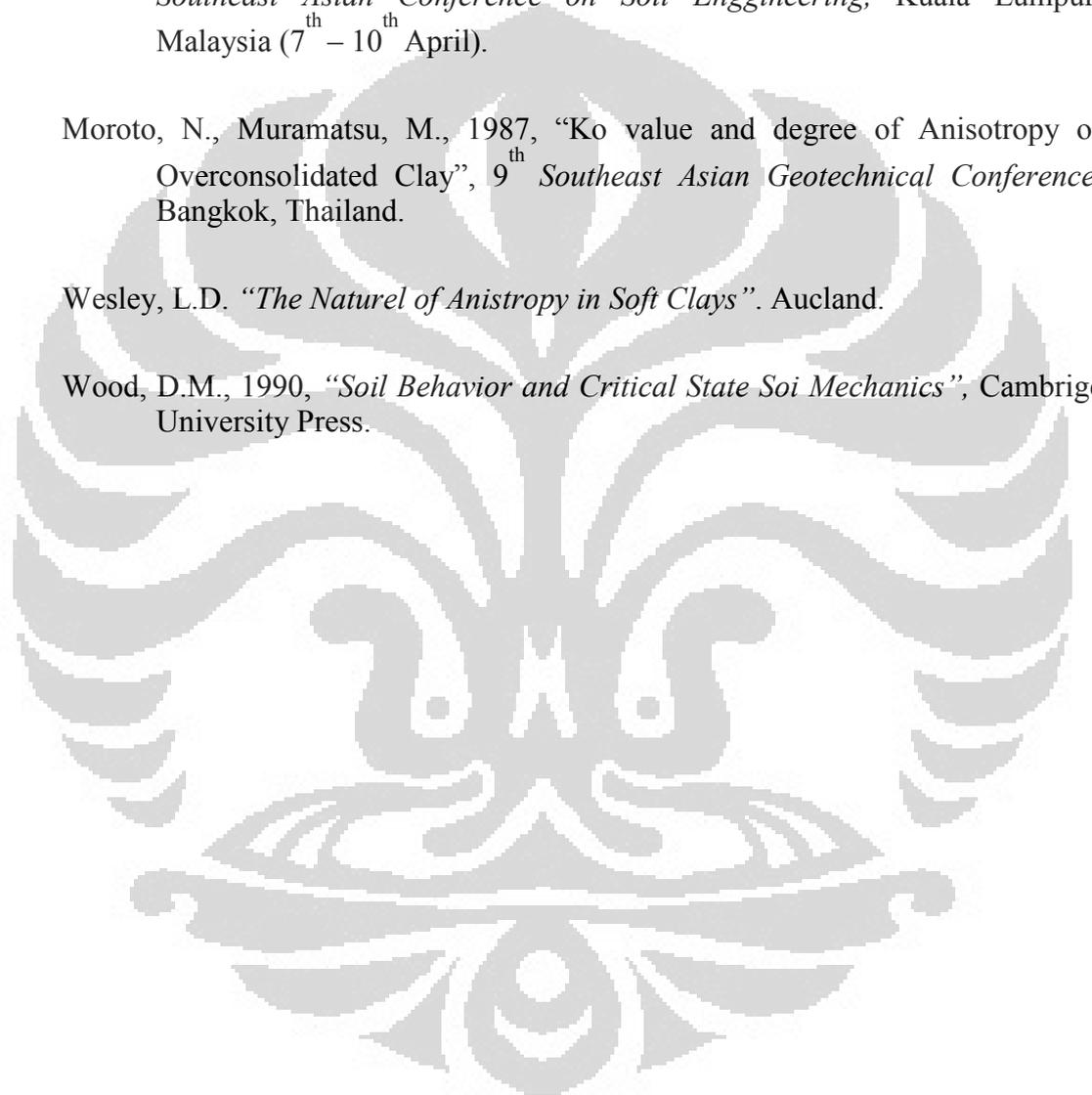
Ladd, C.C, 1971. *“Strength Parameter and Stress Strain Behaviour of Saturated Clay”*. MIT

Mihai Popescu, 1975. *“The Effect of Anistropiy on Shrinkage of Active Clay”*. 4th *Southeast Asian Conference on Soil Enggineering*, Kuala Lumpur, Malaysia (7th – 10th April).

Moroto, N., Muramatsu, M., 1987, *“Ko value and degree of Anisotropy of Overconsolidated Clay”*, 9th *Southeast Asian Geotechnical Conference*, Bangkok, Thailand.

Wesley, L.D. *“The Naturel of Anistropy in Soft Clays”*. Aucland.

Wood, D.M., 1990, *“Soil Behavior and Critical State Soi Mechanics”*, Cambrige University Press.



Triaxial 1

Deform	Load	dl	Unit	Area Cor.	Corrected	Deviator	
dial	Dial	in	srain	factor	Area	stress	100*dl/lo
reading	Reading		dl/ILo				
(x10 ⁻³)	-	(10 ⁻³)					
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	22.000	0.025	0.003477051	0.996522949	9.871630166	0.427892853	0.347705146
50	49.000	0.050	0.006954103	0.993045897	9.906194697	0.949708772	0.695410292
75	55.000	0.075	0.010431154	0.989568846	9.941002128	1.06226715	1.043115438
100	60.000	0.100	0.013908206	0.986091794	9.976055027	1.154765082	1.390820584
125	67.000	0.125	0.017385257	0.982614743	10.011356	1.284940821	1.73852573
150	72.000	0.150	0.020862309	0.979137691	10.04690769	1.375945756	2.086230876
175	79.000	0.175	0.02433936	0.97566064	10.08271278	1.504357045	2.433936022
200	81.000	0.200	0.027816412	0.972183588	10.11877398	1.536945091	2.781641168
225	85.000	0.225	0.031293463	0.968706537	10.15509406	1.607075218	3.129346314
250	89.000	0.250	0.034770515	0.965229485	10.19167581	1.676662436	3.47705146
275	93.000	0.275	0.038247566	0.961752434	10.22852207	1.745706747	3.824756606
300	98.000	0.300	0.041724618	0.958275382	10.26563572	1.832911327	4.172461752
325	104.000	0.325	0.045201669	0.954798331	10.30301969	1.938072585	4.520166898
350	110.000	0.350	0.04867872	0.95132128	10.34067692	2.042419482	4.867872045
375	115.000	0.375	0.052155772	0.947844228	10.37861044	2.12745243	5.215577191
400	119.000	0.400	0.055632823	0.944367177	10.41682329	2.193375021	5.563282337
425	123.000	0.425	0.059109875	0.940890125	10.45531857	2.258754703	5.910987483
450	127.000	0.450	0.062586926	0.937413074	10.49409943	2.323591478	6.258692629
475	131.000	0.475	0.066063978	0.933936022	10.53316905	2.387885345	6.606397775
500	135.000	0.500	0.069541029	0.930458971	10.57253066	2.451636304	6.954102921
525	137.000	0.525	0.073018081	0.926981919	10.61218757	2.478659544	7.301808067
550	140.000	0.550	0.076495132	0.923504868	10.65214309	2.523435872	7.649513213
575	144.000	0.575	0.079972184	0.920027816	10.69240063	2.585761698	7.997218359
600	149.000	0.600	0.083449235	0.916550765	10.7329636	2.665433431	8.344923505
625	160.000	0.625	0.086926287	0.913073713	10.77383551	2.851352238	8.692628651
650	172.000	0.650	0.090403338	0.909596662	10.8150199	3.053531136	9.040333797
675	176.000	0.675	0.093880389	0.906119611	10.85652036	3.112599515	9.388038943
700	178.000	0.700	0.097357441	0.902642559	10.89834055	3.135890263	9.735744089
725	180.000	0.725	0.100834492	0.899165508	10.94048417	3.158909558	10.08344924
750	180.000	0.750	0.104311544	0.895688456	10.98295499	3.14669413	10.43115438
775	182.000	0.775	0.107788595	0.892211405	11.02575684	3.169306244	10.77885953
800	193.000	0.800	0.111265647	0.888734353	11.06889361	3.347760067	11.12656467
825	183.000	0.825	0.114742698	0.885257302	11.11236923	3.161881978	11.47426982

Deform dial	Load Dial	dl in	Unit strain	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
reading (x10 ⁻³)	Reading -	(10 ⁻³)	dl/lo				
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	15.000	0.025	0.003477051	0.996522949	10.09597824	0.285262105	0.347705146
50	34.000	0.050	0.006954103	0.993045897	10.1313283	0.644338018	0.695410292
75	60.000	0.075	0.010431154	0.989568846	10.16692678	1.133085764	1.043115438
100	79.000	0.100	0.013908206	0.986091794	10.20277631	1.486654175	1.390820584
125	95.000	0.125	0.017385257	0.982614743	10.23887956	1.781444923	1.73852573
150	126.000	0.150	0.020862309	0.979137691	10.27523921	2.354397742	2.086230876
175	139.000	0.175	0.02433936	0.97566064	10.31185803	2.588088386	2.433936022
200	150.000	0.200	0.027816412	0.972183588	10.34873878	2.782947818	2.781641168
225	159.000	0.225	0.031293463	0.968706537	10.38588429	2.939374169	3.129346314
250	168.000	0.250	0.034770515	0.965229485	10.42329741	3.094606123	3.47705146
275	173.000	0.275	0.038247566	0.961752434	10.46098106	3.175228002	3.824756606
300	180.000	0.300	0.041724618	0.958275382	10.49893818	3.291761453	4.172461752
325	191.000	0.325	0.045201669	0.954798331	10.53717175	3.480250761	4.520166898
350	196.000	0.350	0.04867872	0.95132128	10.5756848	3.558351133	4.867872045
375	200.000	0.375	0.052155772	0.947844228	10.61448042	3.617699452	5.215577191
400	204.000	0.400	0.055632823	0.944367177	10.65356172	3.676516928	5.563282337
425	208.000	0.425	0.059109875	0.940890125	10.69293186	3.734803561	5.910987483
450	212.000	0.450	0.062586926	0.937413074	10.73259407	3.792559349	6.258692629
475	216.000	0.475	0.066063978	0.933936022	10.77255161	3.849784295	6.606397775
500	219.000	0.500	0.069541029	0.930458971	10.81280778	3.888721676	6.954102921
525	222.000	0.525	0.073018081	0.926981919	10.85336595	3.927260925	7.301808067
550	225.000	0.550	0.076495132	0.923504868	10.89422953	3.965402041	7.649513213
575	227.500	0.575	0.079972184	0.920027816	10.93540197	3.994366197	7.997218359
600	229.500	0.600	0.083449235	0.916550765	10.97688681	4.014252927	8.344923505
625	231.000	0.625	0.086926287	0.913073713	11.01868759	4.025161764	8.692628651
650	233.000	0.650	0.090403338	0.909596662	11.06080796	4.044550829	9.040333797
675	235.000	0.675	0.093880389	0.906119611	11.10325158	4.063674471	9.388038943
700	237.000	0.700	0.097357441	0.902642559	11.1460222	4.082532691	9.735744089
725	239.000	0.725	0.100834492	0.899165508	11.1891236	4.10112549	10.08344924
750	241.000	0.750	0.104311544	0.895688456	11.23255964	4.119452867	10.43115438
775	243.000	0.775	0.107788595	0.892211405	11.27633423	4.137514822	10.77885953
800	244.000	0.800	0.111265647	0.888734353	11.32045134	4.138350901	11.12656467
825	245.000	0.825	0.114742698	0.885257302	11.36491501	4.139054269	11.47426982
850	245.500	0.850	0.11821975	0.88178025	11.40972935	4.131211054	11.82197497
875	246.000	0.875	0.121696801	0.878303199	11.45489851	4.123301484	12.16968011
900	246.600	0.900	0.125173853	0.874826147	11.50042672	4.116995061	12.51738526
925	247.000	0.925	0.128650904	0.871349096	11.54631829	4.107283276	12.8650904
950	247.000	0.950	0.132127955	0.867872045	11.59257757	4.090893479	13.21279555
975	247.000	0.975	0.135605007	0.864394993	11.63920902	4.074503681	13.5605007

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading	dl in (10 ⁻³)	Unit strain dl/lLo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100 ^o dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	45.000	0.025	0.003462604	0.996537396	9.760259914	0.885222328	0.346260388
50	75.000	0.050	0.006925208	0.993074792	9.794291503	1.470244172	0.692520776
75	96.000	0.075	0.010387812	0.989612188	9.828561243	1.875350781	1.038781163
100	118.000	0.100	0.013850416	0.986149584	9.86307164	2.297053172	1.385041551
125	135.000	0.125	0.017313019	0.982686981	9.89782524	2.618757088	1.731301939
150	150.000	0.150	0.020775623	0.979224377	9.932824622	2.899477349	2.077562327
175	164.000	0.175	0.024238227	0.975761773	9.968072403	3.158885562	2.423822715
200	174.000	0.200	0.027700831	0.972299169	10.00357124	3.339607347	2.770083102
225	185.000	0.225	0.031163435	0.968836565	10.03932381	3.538086893	3.11634349
250	195.000	0.250	0.034626039	0.965373961	10.07533287	3.71600626	3.462603878
275	204.000	0.275	0.038088643	0.961911357	10.11160116	3.873570503	3.808864266
300	212.000	0.300	0.041551247	0.958448753	10.14813151	4.010984677	4.155124654
325	219.000	0.325	0.04501385	0.95498615	10.18492677	4.128453837	4.501385042
350	224.000	0.350	0.048476454	0.951523546	10.22198982	4.207400002	4.847645429
375	229.000	0.375	0.051939058	0.948060942	10.25932361	4.285662651	5.193905817
400	233.000	0.400	0.055401662	0.944598338	10.2969311	4.344595451	5.540166205
425	237.000	0.425	0.058864266	0.941135734	10.33481532	4.402981437	5.886426593
450	241.000	0.450	0.06232687	0.93767313	10.37297933	4.460820611	6.232686981
475	245.000	0.475	0.065789474	0.934210526	10.41142625	4.518112971	6.578947368
500	248.000	0.500	0.069252078	0.930747922	10.45015924	4.556485592	6.925207756
525	251.000	0.525	0.072714681	0.927285319	10.48918149	4.594448103	7.271468144
550	253.000	0.550	0.076177285	0.923822715	10.52849626	4.613764281	7.617728532
575	255.000	0.575	0.079639889	0.920360111	10.56810686	4.632807054	7.96398892
600	256.000	0.600	0.083102493	0.916897507	10.60801663	4.6334769	8.310249307
625	258.000	0.625	0.086565097	0.913434903	10.64822897	4.65204121	8.656509695
650	259.000	0.650	0.090027701	0.909972299	10.68874735	4.652369298	9.002770083
675	260.000	0.675	0.093490305	0.906509695	10.72957526	4.652560683	9.349030471
700	262.000	0.700	0.096952909	0.903047091	10.77071627	4.670441477	9.695290859
725	263.000	0.725	0.100415512	0.899584488	10.81217399	4.670291103	10.04155125
750	264.000	0.750	0.103878116	0.896121884	10.8539521	4.670004026	10.38781163
775	265.000	0.775	0.10734072	0.89265928	10.89605432	4.669580246	10.73407202
800	265.500	0.800	0.110803324	0.889196676	10.93848444	4.660243409	11.08033241
825	266.000	0.825	0.114265928	0.885734072	10.9812463	4.650838221	11.4265928
850	266.500	0.850	0.117728532	0.882271468	11.02434381	4.641364681	11.77285319
875	267.000	0.875	0.121191136	0.878808864	11.06778094	4.63182279	12.11911357
900	267.500	0.900	0.12465374	0.87534626	11.11156172	4.622212546	12.46537396
925	268.000	0.925	0.128116343	0.871883657	11.15569024	4.612533952	12.81163435
950	268.500	0.950	0.131578947	0.868421053	11.20017067	4.602787005	13.15789474
975	269.000	0.975	0.135041551	0.864958449	11.24500722	4.592971707	13.50415512
1000	270.000	1.000	0.138504155	0.861495845	11.29020419	4.591591004	13.85041551
1025	270.000	1.025	0.141966759	0.858033241	11.33576595	4.573136056	14.1966759
1050	270.000	1.050	0.145429363	0.854570637	11.38169693	4.554681108	14.54293629

Triaxial 2

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading	dl in (10 ⁻³)	Unit strain dl/Lo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	24.000	0.025	0.003481894	0.996518106	9.927529106	0.464163837	0.348189415
50	50.000	0.050	0.006963788	0.993036212	9.962338114	0.963629209	0.69637883
75	69.000	0.075	0.010445682	0.989554318	9.997392083	1.325145587	1.044568245
100	82.000	0.100	0.013927577	0.986072423	10.03269361	1.569269492	1.39275766
125	91.000	0.125	0.017409471	0.982590529	10.06824532	1.735357	1.740947075
150	96.000	0.150	0.020891365	0.979108635	10.10404989	1.824219021	2.08913649
175	99.000	0.175	0.024373259	0.975626741	10.14011003	1.874535873	2.437325905
200	100.000	0.200	0.027855153	0.972144847	10.17642847	1.88671301	2.78551532
225	102.000	0.225	0.031337047	0.968662953	10.21300802	1.917554551	3.133704735
250	104.000	0.250	0.034818942	0.965181058	10.24985148	1.948125789	3.48189415
275	105.000	0.275	0.038300836	0.961699164	10.28696173	1.959762321	3.830083565
300	107.000	0.300	0.04178273	0.95821727	10.32434168	1.98986053	4.178272981
325	108.000	0.325	0.045264624	0.954735376	10.36199427	2.001159183	4.526462396
350	110.000	0.350	0.048746518	0.951253482	10.39992251	2.030784362	4.874651811
375	111.000	0.375	0.052228412	0.947771588	10.43812943	2.041745137	5.222841226
400	113.000	0.400	0.055710306	0.944289694	10.4766181	2.070897286	5.571030641
425	114.000	0.425	0.059192201	0.940807799	10.51539167	2.081520183	5.919220056
450	115.000	0.450	0.062674095	0.937325905	10.55445331	2.092007929	6.267409471
475	117.000	0.475	0.066155989	0.933844011	10.59380623	2.120484321	6.615598886
500	118.000	0.500	0.069637883	0.930362117	10.63345371	2.130634188	6.963788301
525	120.000	0.525	0.073119777	0.926880223	10.67339906	2.15863755	7.311977716
550	121.000	0.550	0.076601671	0.923398329	10.71364566	2.168449539	7.660167131
575	123.000	0.575	0.080083565	0.919916435	10.75419693	2.195979871	8.008356546
600	125.000	0.600	0.08356546	0.91643454	10.79505634	2.223239901	8.356545961
625	127.000	0.625	0.087047354	0.912952646	10.83622742	2.250229628	8.704735376
650	129.000	0.650	0.090529248	0.909470752	10.87771374	2.276949052	9.052924791
675	131.000	0.675	0.094011142	0.905988858	10.91951895	2.303398174	9.401114206
700	133.000	0.700	0.097493036	0.902506964	10.96164672	2.329576992	9.749303621
725	135.000	0.725	0.10097493	0.89902507	11.00410081	2.355485509	10.09749304
750	136.000	0.750	0.104456825	0.895543175	11.04688503	2.363743257	10.44568245
775	137.000	0.775	0.107938719	0.892061281	11.09000324	2.371865854	10.79387187
800	139.000	0.800	0.111420613	0.888579387	11.13345937	2.397098613	11.14206128
825	140.000	0.825	0.114902507	0.885097493	11.1772574	2.404883331	11.4902507
850	141.000	0.850	0.118384401	0.881615599	11.22140138	2.412532898	11.83844011
875	142.000	0.875	0.121866295	0.878133705	11.26589544	2.420047314	12.18662953
900	143.000	0.900	0.125348189	0.874651811	11.31074375	2.427426578	12.53481894
925	145.000	0.925	0.128830084	0.871169916	11.35595056	2.451578127	12.88300836
950	147.000	0.950	0.132311978	0.867688022	11.40152018	2.475459372	13.23119777
975	148.000	0.975	0.135793872	0.864206128	11.44745701	2.482298031	13.57938719
1000	148.000	1.000	0.139275766	0.860724234	11.49376549	2.47229683	13.9275766
1025	148.000	1.025	0.14275766	0.85724234	11.54045016	2.46229563	14.27576602

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading -	dl in (10 ⁻³)	Unit srain dl/Lo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	31.000	0.025	0.003489184	0.996510816	9.98361065	0.596177096	0.348918353
50	80.000	0.050	0.006978367	0.993021633	10.0186901	1.533134557	0.697836706
75	107.000	0.075	0.010467551	0.989532449	10.05401693	2.043362384	1.046755059
100	128.000	0.100	0.013956734	0.986043266	10.08959378	2.435776954	1.395673412
125	143.000	0.125	0.017445918	0.982554082	10.1254233	2.711590339	1.744591766
150	154.000	0.150	0.020935101	0.979064899	10.1615082	2.909804274	2.093510119
175	160.000	0.175	0.024424285	0.975575715	10.19785122	3.012399312	2.442428472
200	167.000	0.200	0.027913468	0.972086532	10.23445514	3.13294646	2.791346825
225	174.000	0.225	0.031402652	0.968597348	10.27132277	3.252550888	3.140265178
250	180.000	0.250	0.034891835	0.965108165	10.30845698	3.352587109	3.489183531
275	185.000	0.275	0.038381019	0.961618981	10.34586067	3.433257137	3.838101884
300	192.000	0.300	0.041870202	0.958129798	10.38353679	3.550235412	4.187020237
325	197.000	0.325	0.045359386	0.954640614	10.42148831	3.62942402	4.53593859
350	203.000	0.350	0.048848569	0.951151431	10.45971827	3.726295391	4.884856943
375	207.000	0.375	0.052337753	0.947662247	10.49822976	3.78578112	5.233775297
400	212.000	0.400	0.055826936	0.944173064	10.53702587	3.862949611	5.58269365
425	216.000	0.425	0.05931612	0.94068388	10.5761098	3.921290606	5.931612003
450	216.000	0.450	0.062805304	0.937194696	10.61548474	3.90674576	6.280530356
475	219.000	0.475	0.066294487	0.933705513	10.65515397	3.946259259	6.629448709
500	221.000	0.500	0.069783671	0.930216329	10.69512079	3.967416624	6.978367062
525	224.000	0.525	0.073272854	0.926727146	10.73538856	4.006189414	7.327285415
550	227.000	0.550	0.076762038	0.923237962	10.7759607	4.04455818	7.676203768
575	230.000	0.575	0.080251221	0.919748779	10.81684067	4.082522923	8.025122121
600	231.500	0.600	0.083740405	0.916259595	10.85803199	4.093559498	8.374040475
625	234.000	0.625	0.087229588	0.912770412	10.89953823	4.122009487	8.722958828
650	236.000	0.650	0.090718772	0.909281228	10.94136301	4.141348746	9.071877181
675	238.000	0.675	0.094207955	0.905792045	10.98351002	4.160418656	9.420795534
700	240.000	0.700	0.097697139	0.902302861	11.02598299	4.179219217	9.769713887
725	242.000	0.725	0.101186322	0.898813678	11.06878572	4.197750428	10.11863224
750	243.000	0.750	0.104675506	0.895324494	11.11192206	4.198733552	10.46755059
775	245.000	0.775	0.108164689	0.891835311	11.15539594	4.216793403	10.81646895
800	246.000	0.800	0.111653873	0.888346127	11.19921132	4.217439841	11.1653873
825	247.000	0.825	0.115143057	0.884856943	11.24337225	4.217951604	11.51430565
850	248.000	0.850	0.11863224	0.88136776	11.28788283	4.218328693	11.86322401
875	250.000	0.875	0.122121424	0.877878576	11.33274722	4.235513159	12.21214236
900	251.000	0.900	0.125610607	0.874389393	11.37796968	4.235553562	12.56106071
925	251.000	0.925	0.129099791	0.870900209	11.42355449	4.218651911	12.90997906
950	252.000	0.950	0.132588974	0.867411026	11.46950604	4.218490302	13.25889742
975	253.000	0.975	0.136078158	0.863921842	11.51582876	4.218194018	13.60781577
1000	254.000	1.000	0.139567341	0.860432659	11.56252718	4.21776306	13.95673412
1025	255.000	1.025	0.143056525	0.856943475	11.60960587	4.217197427	14.30565248
1050	255.000	1.050	0.146545708	0.853454292	11.65706951	4.200026428	14.65457083

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading -	dl in (10 ⁻³)	Unit srain dl/Lo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	10.000	0.025	0.003462604	0.996537396	10.09583187	0.190177494	0.346260388
50	35.000	0.050	0.006925208	0.993074792	10.13103351	0.663308437	0.692520776
75	50.000	0.075	0.010387812	0.989612188	10.16648149	0.944279494	1.038781163
100	65.000	0.100	0.013850416	0.986149584	10.20217841	1.223268159	1.385041551
125	80.000	0.125	0.017313019	0.982686981	10.23812689	1.500274432	1.731301939
150	93.000	0.150	0.020775623	0.979224377	10.2743296	1.737923611	2.077562327
175	100.000	0.175	0.024238227	0.975761773	10.31078925	1.862127091	2.423822715
200	111.000	0.200	0.027700831	0.972299169	10.34750859	2.05962622	2.770083102
225	118.000	0.225	0.031163435	0.968836565	10.38449039	2.181715149	3.11634349
250	124.000	0.250	0.034626039	0.965373961	10.42173749	2.28445593	3.462603878
275	130.000	0.275	0.038088643	0.961911357	10.45925274	2.386403754	3.808864266
300	136.000	0.300	0.041551247	0.958448753	10.49703906	2.487558621	4.155124654
325	141.000	0.325	0.04501385	0.95498615	10.53509939	2.569695738	4.501385042
350	146.000	0.350	0.048476454	0.951523546	10.57343672	2.651172059	4.847645429
375	151.000	0.375	0.051939058	0.948060942	10.61205409	2.731987581	5.193905817
400	155.000	0.400	0.055401662	0.944598338	10.65095459	2.794115754	5.540166205
425	159.000	0.425	0.058864266	0.941135734	10.69014132	2.855715288	5.886426593
450	162.000	0.450	0.06232687	0.93767313	10.72961747	2.89889179	6.232686981
475	166.000	0.475	0.065789474	0.934210526	10.76938625	2.959500128	6.578947368
500	176.000	0.500	0.069252078	0.930747922	10.80945093	3.126153234	6.925207756
525	180.000	0.525	0.072714681	0.927285319	10.84981483	3.185307818	7.271468144
550	183.000	0.550	0.076177285	0.923822715	10.8904813	3.226303689	7.617728532
575	186.000	0.575	0.079639889	0.920360111	10.93145377	3.26903082	7.96398892
600	190.000	0.600	0.083102493	0.916897507	10.97273569	3.324603911	8.310249307
625	193.000	0.625	0.086565097	0.913434903	11.0143306	3.364344267	8.656509695
650	197.000	0.650	0.090027701	0.909972299	11.05624205	3.421053901	9.002770083
675	200.000	0.675	0.093490305	0.906509695	11.09847369	3.45993522	9.349030471
700	203.000	0.700	0.096952909	0.903047091	11.14102918	3.498420061	9.695290859
725	206.000	0.725	0.100415512	0.899584488	11.18391228	3.536508424	10.04155125
750	210.000	0.750	0.103878116	0.896121884	11.22712678	3.591301745	10.38781163
775	213.000	0.775	0.10734072	0.89265928	11.27067654	3.628531071	10.73407202
800	216.000	0.800	0.110803324	0.889196676	11.31456546	3.665363918	11.08033241
825	219.000	0.825	0.114265928	0.885734072	11.35879754	3.701800287	11.4265928
850	221.000	0.850	0.117728532	0.882271468	11.40337681	3.72100306	11.77285319
875	224.000	0.875	0.121191136	0.878808864	11.44830737	3.756712551	12.11911357
900	227.000	0.900	0.12465374	0.87534626	11.4935934	3.792025565	12.46537396
925	230.000	0.925	0.128116343	0.871883657	11.53923912	3.8269421	12.81163435
950	234.000	0.950	0.131578947	0.868421053	11.58524885	3.878034955	13.15789474
975	244.000	0.975	0.135041551	0.864958449	11.63162695	4.027639488	13.50415512
1000	254.000	1.000	0.138504155	0.861495845	11.67837786	4.175922426	13.85041551
1025	258.000	1.025	0.141966759	0.858033241	11.7255061	4.224636411	14.1966759
1050	261.000	1.050	0.145429363	0.854570637	11.77301625	4.256513278	14.54293629
1075	264.000	1.075	0.148891967	0.851108033	11.82091298	4.287993666	14.88919668
1100	268.000	1.100	0.152354571	0.847645429	11.86920103	4.335253897	15.23545706
1125	271.000	1.125	0.155817175	0.844182825	11.9178852	4.365875249	15.58171745
1150	275.000	1.150	0.159279778	0.840720222	11.96697039	4.412144283	15.92797784
1175	278.000	1.175	0.162742382	0.837257618	12.01646158	4.441906598	16.27423823
1200	282.000	1.200	0.166204986	0.833795014	12.06636383	4.487184436	16.62049861
1225	286.000	1.225	0.16966759	0.83033241	12.11668228	4.531933637	16.966759
1250	288.000	1.250	0.173130194	0.826869806	12.16742216	4.544594515	17.31301939
1275	291.000	1.275	0.176592798	0.823407202	12.21858878	4.572704837	17.65927978
1300	294.000	1.300	0.180055402	0.819944598	12.27018755	4.60041868	18.00554017
1325	297.000	1.325	0.183518006	0.816481994	12.32222397	4.627736045	18.35180055
1350	299.000	1.350	0.186980609	0.813019391	12.37470363	4.639141408	18.69806094
1375	299.000	1.375	0.190443213	0.809556787	12.42763221	4.619383566	19.04432133
1400	299.000	1.400	0.193905817	0.806094183	12.48101551	4.599625723	19.39058172

Triaxial 3

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading -	dl in (10 ⁻³)	Unit strain dl/Lo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	11.000	0.025	0.003462604	0.996537396	10.09583187	0.209195243	0.346260388
50	18.000	0.050	0.006925208	0.993074792	10.13103351	0.341130053	0.692520776
75	27.000	0.075	0.010387812	0.989612188	10.16648149	0.509910927	1.038781163
100	35.000	0.100	0.013850416	0.986149584	10.20217841	0.658682855	1.385041551
125	42.000	0.125	0.017313019	0.982686981	10.23812689	0.787644077	1.731301939
150	50.000	0.150	0.020775623	0.979224377	10.2743296	0.934367533	2.077562327
175	55.000	0.175	0.024238227	0.975761773	10.31078925	1.0241699	2.423822715
200	60.000	0.200	0.027700831	0.972299169	10.34750859	1.11331147	2.770083102
225	65.000	0.225	0.031163435	0.968836565	10.38449039	1.201792243	3.11634349
250	68.000	0.250	0.034626039	0.965373961	10.42173749	1.252766155	3.462603878
275	71.000	0.275	0.038088643	0.961911357	10.45925274	1.303343589	3.808864266
300	74.000	0.300	0.041551247	0.958448753	10.49703906	1.353524544	4.155124654
325	75.000	0.325	0.04501385	0.95498615	10.53509939	1.366859435	4.501385042
350	80.000	0.350	0.048476454	0.951523546	10.57343672	1.452697018	4.847645429
375	81.000	0.375	0.051939058	0.948060942	10.61205409	1.465503272	5.193905817
400	83.000	0.400	0.055401662	0.944598338	10.65095459	1.49620392	5.540166205
425	85.000	0.425	0.058864266	0.941135734	10.69014132	1.526640248	5.886426593
450	87.000	0.450	0.06232687	0.93767313	10.72961747	1.556812258	6.232686981
475	88.000	0.475	0.065789474	0.934210526	10.76938625	1.568891634	6.578947368
500	89.000	0.500	0.069252078	0.930747922	10.80945093	1.580838851	6.925207756
525	90.000	0.525	0.072714681	0.927285319	10.84981483	1.592653909	7.271468144
550	91.000	0.550	0.076177285	0.923822715	10.8904813	1.604336807	7.617728532
575	92.000	0.575	0.079639889	0.920360111	10.93145377	1.615887546	7.96398892
600	92.000	0.600	0.083102493	0.916897507	10.97273569	1.60980821	8.310249307
625	92.000	0.625	0.086565097	0.913434903	11.0143306	1.603728874	8.656509695
650	93.000	0.650	0.090027701	0.909972299	11.05624205	1.615015293	9.002770083
675	93.500	0.675	0.093490305	0.906509695	11.09847369	1.617519715	9.349030471
700	93.500	0.700	0.096952909	0.903047091	11.14102918	1.61134126	9.695290859
725	93.500	0.725	0.100415512	0.899584488	11.18391228	1.605162804	10.04155125

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading -	dl in (10 ⁻³)	Unit strain dl/lLo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	25.000	0.025	0.003501401	0.996498599	9.871871376	0.486229998	0.350140056
50	45.000	0.050	0.007002801	0.992997199	9.906680513	0.872138754	0.700280112
75	60.000	0.075	0.010504202	0.989495798	9.941736	1.158751349	1.050420168
100	75.000	0.100	0.014005602	0.985994398	9.97704046	1.443313782	1.400560224
125	85.000	0.125	0.017507003	0.982492997	10.01259656	1.629946828	1.75070028
150	93.000	0.150	0.021008403	0.978991597	10.04840699	1.776998088	2.100840336
175	99.000	0.175	0.024509804	0.975490196	10.08447449	1.884877592	2.450980392
200	104.000	0.200	0.028011204	0.971988796	10.12080185	1.972966203	2.801120448
225	108.000	0.225	0.031512605	0.968487395	10.15739188	2.041468937	3.151260504
250	113.000	0.250	0.035014006	0.964985994	10.19424744	2.128259112	3.50140056
275	116.000	0.275	0.038515406	0.961484594	10.23137143	2.176834275	3.851540616
300	121.000	0.300	0.042016807	0.957983193	10.26876679	2.262394353	4.201680672
325	124.000	0.325	0.045518207	0.954481793	10.30643651	2.310012774	4.551820728
350	127.000	0.350	0.049019608	0.950980392	10.34438363	2.357221162	4.901960784
375	130.000	0.375	0.052521008	0.947478992	10.38261121	2.404019518	5.25210084
400	133.000	0.400	0.056022409	0.943977591	10.42112238	2.450407842	5.602240896
425	135.000	0.425	0.05952381	0.94047619	10.4599203	2.478030353	5.952380952
450	137.000	0.450	0.06302521	0.93697479	10.4990082	2.505379509	6.302521008
475	140.000	0.475	0.066526611	0.933473389	10.53838932	2.550674413	6.652661064
500	143.000	0.500	0.070028011	0.929971989	10.57806699	2.595559285	7.00280112
525	145.000	0.525	0.073529412	0.926470588	10.61804457	2.621951699	7.352941176
550	146.000	0.550	0.077030812	0.922969188	10.65832547	2.630056671	7.703081232
575	149.000	0.575	0.080532213	0.919467787	10.69891315	2.673916462	8.053221289
600	152.000	0.600	0.084033613	0.915966387	10.73981114	2.717366221	8.403361345
625	153.000	0.625	0.087535014	0.912464986	10.781023	2.724787806	8.753501401
650	155.000	0.650	0.091036415	0.908963585	10.82255236	2.749813445	9.103641457
675	156.000	0.675	0.094537815	0.905462185	10.86440291	2.756893337	9.453781513
700	158.000	0.700	0.098039216	0.901960784	10.90657839	2.781440605	9.803921569
725	159.000	0.725	0.101540616	0.898459384	10.94908259	2.788178803	10.15406162
750	160.000	0.750	0.105042017	0.894957983	10.99191938	2.794780323	10.50420168
775	161.000	0.775	0.108543417	0.891456583	11.03509267	2.801245166	10.85434174
800	162.000	0.800	0.112044818	0.887955182	11.07860644	2.807573332	11.20448179
825	162.000	0.825	0.115546218	0.884453782	11.12246474	2.796502459	11.55462185
850	162.000	0.850	0.119047619	0.880952381	11.16667168	2.785431586	11.9047619
875	163.000	0.875	0.12254902	0.87745098	11.21123142	2.791486397	12.25490196
900	163.000	0.900	0.12605042	0.87394958	11.25614821	2.780347186	12.60504202
925	163.000	0.925	0.129551821	0.870448179	11.30142636	2.769207974	12.95518207

Deform dial reading (x10 ⁻³)	Load Dial Reading -	dl in (10 ⁻³)	Unit strain dl/Lo	Area Cor. factor	Corrected Area	Deviator stress	100*dl/lo
1	2	3	4	5	6	7	8
						0.01	0.01
25	10.000	0.025	0.00349162	0.99650838	9.983635061	0.192314722	0.349162011
50	15.000	0.050	0.00698324	0.99301676	10.01873926	0.287461319	0.698324022
75	30.000	0.075	0.01047486	0.98952514	10.0540912	0.572901109	1.047486034
100	57.000	0.100	0.01396648	0.98603352	10.08969351	1.084671204	1.396648045
125	75.000	0.125	0.017458101	0.982541899	10.12554885	1.422145131	1.745810056
150	87.000	0.150	0.020949721	0.979050279	10.16165994	1.64382592	2.094972067
175	96.000	0.175	0.024441341	0.975558659	10.19802951	1.807407987	2.444134078
200	103.000	0.200	0.027932961	0.972067039	10.23466037	1.932257573	2.793296089
225	107.000	0.225	0.031424581	0.968575419	10.27155532	2.000086584	3.142458101
250	113.000	0.250	0.034916201	0.965083799	10.30871724	2.104626549	3.491620112
275	117.000	0.275	0.038407821	0.961592179	10.34614904	2.171242644	3.840782123
300	123.000	0.300	0.041899441	0.958100559	10.38385367	2.274300154	4.189944134
325	126.000	0.325	0.045391061	0.954608939	10.42183411	2.321280471	4.539106145
350	131.000	0.350	0.048882682	0.951117318	10.46009342	2.404567436	4.888268156
375	135.000	0.375	0.052374302	0.947625698	10.49863466	2.468892465	5.237430168
400	139.000	0.400	0.055865922	0.944134078	10.53746097	2.53267842	5.586592179
425	143.000	0.425	0.059357542	0.940642458	10.57657552	2.595925301	5.93575419
450	146.000	0.450	0.062849162	0.937150838	10.61598154	2.640547168	6.284916201
475	152.000	0.475	0.066340782	0.933659218	10.6556823	2.738820395	6.634078212
500	159.000	0.500	0.069832402	0.930167598	10.69568111	2.854236182	6.983240223
525	162.000	0.525	0.073324022	0.926675978	10.73598134	2.897173442	7.332402235
550	165.000	0.550	0.076815642	0.923184358	10.77658641	2.939706397	7.681564246
575	167.000	0.575	0.080307263	0.919692737	10.8174998	2.964086028	8.030726257
600	170.000	0.600	0.083798883	0.916201117	10.85872502	3.005877755	8.379888268
625	174.000	0.625	0.087290503	0.912709497	10.90026567	3.064879427	8.729050279
650	177.000	0.650	0.090782123	0.909217877	10.94212537	3.105795159	9.078212291
675	180.000	0.675	0.094273743	0.905726257	10.98430781	3.146306585	9.427374302
700	182.000	0.700	0.097765363	0.902234637	11.02681674	3.169001609	9.776536313
725	185.000	0.725	0.101256983	0.898743017	11.06965597	3.208771808	10.12569832
750	187.000	0.750	0.104748603	0.895251397	11.11282935	3.230860374	10.47486034
775	190.000	0.775	0.108240223	0.891759777	11.15634082	3.269889346	10.82402235
800	192.000	0.800	0.111731844	0.888268156	11.20019436	3.291371453	11.17318436
825	195.000	0.825	0.115223464	0.884776536	11.24439403	3.329659198	11.52234637
850	196.000	0.850	0.118715084	0.881284916	11.28894392	3.333527056	11.87150838
875	198.000	0.875	0.122206704	0.877793296	11.33384824	3.354200551	12.22067039
900	200.000	0.900	0.125698324	0.874301676	11.37911121	3.37460451	12.5698324
925	203.000	0.925	0.129189944	0.870810056	11.42473715	3.41154457	12.91899441
950	206.000	0.950	0.132681564	0.867318436	11.47073046	3.448080324	13.26815642
975	207.000	0.975	0.136173184	0.863826816	11.51709558	3.450870033	13.61731844
1000	210.000	1.000	0.139664804	0.860335196	11.56383704	3.486731944	13.96648045
1025	211.000	1.025	0.143156425	0.856843575	11.61095944	3.489117347	14.31564246
1050	213.000	1.050	0.146648045	0.853351955	11.65846746	3.507836699	14.66480447
1075	215.000	1.075	0.150139665	0.849860335	11.70636584	3.526286514	15.01396648
1100	217.000	1.100	0.153631285	0.846368715	11.75465943	3.544466791	15.36312849
1125	218.000	1.125	0.157122905	0.842877095	11.80335313	3.546110968	15.7122905
1150	220.000	1.150	0.160614525	0.839385475	11.85245194	3.563819555	16.06145251
1175	223.000	1.175	0.164106145	0.835893855	11.90196093	3.597390401	16.41061453
1200	225.000	1.200	0.167597765	0.832402235	11.95188526	3.61449253	16.75977654
1225	227.000	1.225	0.171089385	0.828910615	12.00223019	3.631325122	17.10893855
1250	228.000	1.250	0.174581006	0.825418994	12.05300104	3.631958534	17.45810056
1275	230.000	1.275	0.178072626	0.821927374	12.10420326	3.648319436	17.80726257
1300	232.000	1.300	0.181564246	0.818435754	12.15584235	3.664410801	18.15642458
1325	233.000	1.325	0.185055866	0.814944134	12.20792393	3.664505139	18.50558659
1350	235.000	1.350	0.188547486	0.811452514	12.26045373	3.680124814	18.8547486
1375	236.000	1.375	0.192039106	0.807960894	12.31343754	3.679882231	19.20391061
1400	237.000	1.400	0.195530726	0.804469274	12.36688128	3.679504879	19.55307263
1425	239.000	1.425	0.199022346	0.800977654	12.42079096	3.694450711	19.90223464
1450	240.000	1.450	0.202513966	0.797486034	12.47517271	3.693736438	20.25139665
1475	242.000	1.475	0.206005587	0.793994413	12.53003275	3.70821058	20.60055866
1500	244.000	1.500	0.209497207	0.790502793	12.58537741	3.722415186	20.94972067
1525	245.000	1.525	0.212988827	0.787011173	12.64121316	3.721161838	21.29888268
1550	246.000	1.550	0.216480447	0.783519553	12.69754655	3.719773722	21.64804469
1575	248.000	1.575	0.219972067	0.780027933	12.75438427	3.733304484	21.9972067
1600	250.000	1.600	0.223463687	0.776536313	12.81173312	3.74656571	22.34636872
1625	250.000	1.625	0.226955307	0.773044893	12.86960003	3.729719641	22.69553073
1650	250.000	1.650	0.230446927	0.769553073	12.92799204	3.712873572	23.04469274

Contoh format opname kecrotan

KM	HM	HULU		HILIR		PETAK JALAN	RESORT
		KECROTAN	BALAS MATI	KECROTAN	BALAS MATI		
		MSP	MSP	MSP	MSP		
10	0	10	75			MRI - TEB	1.10 MRI
	100					MRI - TEB	1.10 MRI
	200			30	70	MRI - TEB	1.10 MRI
	300					MRI - TEB	1.10 MRI
	400					MRI - TEB	1.10 MRI
	500	80			30	MRI - TEB	1.10 MRI
	600					MRI - TEB	1.10 MRI
	700					MRI - TEB	1.10 MRI
	800					MRI - TEB	1.10 MRI
	900					TEB-CW	1.10 MRI
11	0					TEB-CW	1.10 MRI
	100					TEB-CW	1.10 MRI
	200	24		30		TEB-CW	1.10 MRI
	300					TEB-CW	1.10 MRI
	400					TEB-CW	1.10 MRI
	500					TEB-CW	1.10 MRI
	600					TEB-CW	1.10 MRI
	700					TEB-CW	1.10 MRI
	800					TEB-CW	1.10 MRI
	900					TEB-CW	1.10 MRI
12	0					TEB-CW	1.10 MRI
	100					TEB-CW	1.10 MRI
	200					TEB-CW	1.10 MRI
	300	15			70	TEB-CW	1.10 MRI
	400					TEB-CW	1.10 MRI
	500					TEB-CW	1.10 MRI
	600			30		TEB-CW	1.10 MRI
	700					TEB-CW	1.10 MRI
	800	16				TEB-CW	1.10 MRI
	900					TEB-CW	1.10 MRI
13	0					TEB-CW	1.10 MRI
	100					TEB-CW	1.10 MRI
	200					TEB-CW	1.10 MRI
	300					TEB-CW	1.10 MRI
	400					TEB-CW	1.10 MRI
	500					TEB-CW	1.10 MRI
	600					TEB-CW	1.10 MRI
	700					TEB-CW	1.10 MRI
	800					CW-DRN	1.10 MRI
	900					CW-DRN	1.10 MRI

Lampiran 3: Tabel Data Detail Kecrotan

km	2009		Jan-10		Juli -10		10-Nov		Des-10		Juli-11		2012		jumlah		Drainase		berhimpit		ballas		beda tinggi			
	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	total	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	hulu	hilir	
33	0				7		7		7				7		28	0	28	tdk	tdk	ya	ya	tipis	tipis	sejajar	sejajar	
33.1	34		10			6	6	6	8	6	10	12		10	68	40	108	tdk	tdk	ya	ya	tipis	tipis	sejajar	sejajar	
33.2	22		10				6		7		23		10		78	0	78	tdk	tdk	ya	ya	sedang	sedang	sejajar	sejajar	
33.3	11										4	6	13		28	6	34	tdk	tdk	tdk	tdk	sedang	sedang	sejajar	sejajar	
33.4											13	4	5	6	18	10	28	tdk	tdk	tdk	tdk	sedang	sedang	sejajar	sejajar	
33.5			8	5	8	8	8		10		4	4			38	17	55	tdk	tdk	tdk	tdk	sedang	sedang	sejajar	sejajar	
33.6											5				5	0	5	tdk	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	tinggi	sejajar	
33.7	5		9	9				4		5			5		19	18	37	tdk	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	tinggi	sejajar	
33.8	24		40	5									9		73	5	78	tdk	ya	ya	ya	tipis	tipis	rendah	rendah	
33.9	31	12	62	33			13		15		14		4		139	45	184	ya	tdk	ya	ya	tipis	tipis	sejajar	rendah	
34	10		47	16							10	10	16		83	26	109	ya	tdk	ya	ya	tipis	tipis	sejajar	rendah	
34.1		8	20	36			8	7	8	8	4		7	40	66	106	ya	tdk	ya	ya	tipis	tipis	sejajar	rendah		
34.2					6		7		7		5		4		29	0	29	tdk	ya	ya	tdk	sedang	baik	rendah	tinggi	
34.3	5		8				6	6	8	8	14		8	49	14	63	tdk	ya	ya	tdk	sedang	baik	rendah	tinggi		
34.4	7						12		15		14		3		51	0	51	tdk	ya	ya	tdk	sedang	baik	rendah	tinggi	
34.5							4		5		9		5		23	0	23	tdk	ya	ya	tdk	sedang	baik	rendah	tinggi	
34.6	39		46				15		17		22		36		175	0	175	tdk	ya	tdk	tdk	sedang	baik	rendah	tinggi	
34.7	26		40				6		8		17		37		134	0	134	tdk	ya	tdk	tdk	tipis	tipis	sejajar	tinggi	
34.8	13		13		6						3		15	4	50	4	54	tdk	ya	tdk	tdk	tipis	tipis	sejajar	tinggi	
34.9	4		14			5	8		8		8		6		48	5	53	tdk	ya	tdk	tdk	tipis	tipis	sejajar	tinggi	
35			9				6		6		12	6	8		41	6	47	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi	
35.1	9		12						20		6		5		52	0	52	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi	
35.2			31		5		19				34		15		104	0	104	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi	
35.3			40			8					17	13	37	4	94	25	119	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi	
35.4	48		41				13	10	15	10	4	11	25	4	146	35	181	tdk	ya	ya	tdk	sedang	tipis	sejajar	tinggi	
35.5	10						7	6	8	8			5	8	33	19	52	tdk	ya	ya	tdk	sedang	tipis	sejajar	tinggi	
35.6	12		10												22	0	22	tdk	ya	ya	tdk	sedang	tipis	sejajar	tinggi	
35.7	31		18		7						9		7		72	0	72	tdk	ya	ya	tdk	sedang	tipis	sejajar	tinggi	
35.8	11		24				11	6	12	8	4	12	32	3	94	29	123	tdk	ya	ya	tdk	sedang	tipis	sejajar	tinggi	
35.9	30	17		17			8	4		5			33	15	71	58	129	tdk	ya	ya	tdk	sedang	tipis	rendah	tinggi	
36				5					10		5	4	19	7	34	16	50	tdk	tdk	ya	ya	sedang	sedang	sejajar	sejajar	
36.1															0	0	0	tdk	tdk	ya	ya	sedang	sedang	sejajar	sejajar	
36.2			9		5		8	5	8	6			6	30	17	47	tdk	tdk	tdk	tdk	ya	sedang	tipis	rendah	sejajar	
36.3			6	17			5	12	6	15	6	12	6	12	29	68	97	tdk	tdk	tdk	ya	sedang	tipis	rendah	sejajar	
36.4		4		78	6	6	6	4		5	6	11			18	108	126	tdk	tdk	tdk	ya	sedang	tipis	rendah	sejajar	
36.5			12				6	7					3	4	23	9	32	tdk	tdk	tdk	ya	sedang	tipis	rendah	sejajar	
36.6	5								8				8		7	13	15	28	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi
36.7						5	12	4	15	5			5		6	27	25	52	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi
36.8	15						17	5	20	6	4				56	11	67	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi	
36.9	23						7		8	23			14		60	15	75	ya	ya	tdk	tdk	sedang	sedang	rendah	tinggi	
jml	425	41	539	221	50	44	225	86	251	103	309	126	396	91	2195	712	2907	1100m	2500m	1800m	1300m	9T31S	19T5B16S	20R18S2T	4R14S22T	

