



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

32597/H/08



RSS  
624. 43  
Sya  
p-1  
2008

| PERPUSTAKAAN<br>ITS |             |
|---------------------|-------------|
| Tgl. Terima         |             |
| Terima Dari         | 11-2-2008   |
| No. Agenda Prp.     | H<br>230025 |

TUGAS AKHIR - PS 1380

## PERENCANAAN TEKNIS STRUKTUR UNDERPASS ACHMAD YANI-JEMUR SARI SURABAYA

SYAIFULLAH  
NRP 3103 100 085

Dosen Pembimbing  
Ir. SUWARNO, M.Eng.  
MUSTA'IN ARIF, ST. MT

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2008



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - PS 1380**

**THE TECHNICAL PLANNING OF  
UNDERPASS  
STRUCTURE AT ACHMAD YANI-JEMUR  
SARI STREET SURABAYA**

**SYAIFULLAH  
NRP 3103 100 085**

**Supervisors  
Ir. SUWARNO, M.Eng.  
MUSTA'IN ARIF, ST. MT**

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2008**

**PERENCANAAN TEKNIS STRUKTUR UNDERPASS  
JALAN RAYA ACHMAD YANI – JEMUR SARI  
SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil  
Pada Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Oleh:  
Syaifullah  
NRP: 3103 100 085**

**Mengetahui/Menyetujui  
Dosen Pembimbing**

**Ir. Suwarno, M. Eng.**  
**NIP: 131.570.372**

**Musta'in Arif, ST. MT.**  
**NIP: 132.310.235**



**Surabaya, Februari 2008**

**PERENCANAAN TEKNIS STRUKTUR UNDERPASS  
JALAN RAYA ACHMAD YANI – JEMUR SARI  
SURABAYA**

Oleh : Syaifullah (3103 100 085 )

Dosen pembimbing 1 : Ir. Suwarno, M.Eng.

Dosen pembimbing 2 : Musta'in Arif, ST. MT.

**Abstrak**

Masalah kemacetan di persimpangan jalan Achmad Yani dan jemur Sari sudah semakin parah. Salah satu usaha untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan membuat suatu alternatif jalan raya yaitu dengan membuat underpass buat kendaraan yang berasal dari arah Sidoarjo menuju Surabaya. Dalam tugas akhir ini dibahas mengenai perencanaan teknis saja dari underpass. Underpass dihitung kekuatan dan stabilitasnya dengan mengkonsiderasikan 2 metode pelaksanaan , yakni dengan *TBM* dan *Cut and Cover Method*. Penampang underpass menggunakan bentuk *circular* disesuaikan dengan bentuk *Tunnel Boring Machine (TBM)*. Struktur *lining* underpass menggunakan sistem *segmental precast*. Sambungan arah melingkar menggunakan tipe *knuckle* dan arah memanjang menggunakan tipe *tongue and groove* untuk underpass dengan metode *TBM*. Sedangkan untuk perencanaan metode *Cut and Cover* digunakan sambungan baut biasa. Untuk perhitungan struktur digunakan program bantu *SAP 2000*. Cara *Cut and Cover* tidak bisa dilaksanakan pada lokasi dan di pergunakan cara *TBM* yang dimodifikasi dengan *strauss* sebagai pondasi.

*Kata kunci: kemacetan, persimpangan jalan Achmad Yani dan Jemur Sari, underpass, segmental lining, TBM, Cut and Cover*

# THE TECHNICAL PLANNING OF UNDERPASS STRUCTURE AT ACHMAD YANI-JEMUR SARI STREET SURABAYA

By : Syaifullah (3103 100 085 )  
Supervisor 1 : Ir. Suwarno, M.Eng.  
Supervisor 2 : Musta'in Arif, ST. MT.

## Abstract

The problem of traffic jam at Achmad Yani-Jemur Sari Street Crossing becomes a severe matter. One of the alternative solutions to overcome the problem is by designing the alternative road which is by designing the underpass to accommodate the traffic from Sidoarjo to Surabaya. This final project is only discussing about the technical planning of the underpass. The underpass is computed on the stability and the ability to accommodate the load meanwhile considering 2 construction methods, i.e. TBM method and Cut and Cover Method. The cross section of the underpass is circular type match with the TBM face. The lining structure of the underpass is segmental precast system. The radial joint applied is the knuckle type joint and the circumferential joint applied is the tongue and groove joint for the TBM Method. The planning of underpass lining which used in the Cut and Cover method is bolt connection. The calculation of the lining structure uses SAP 2000 software program. The Cut and Cover method is not suitable at the site so the TBM method modify with Strauss as foundation is applied.

*Key words: traffic jam, Achmad Yani-Jemur Sari street crossing, underpass, segmental lining, TBM, Cut and Cover*

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan keridhoan Allah swt atas segala apa yang telah Dia berikan sehingga tugas akhir berjudul:

*“Perencanaan Teknis Struktur Underpass Jalan Raya Achmad Yani-Jemur Sari”*

ini dapat diselesaikan dengan baik. Tujuan dikerjakannya tugas akhir ini bagi penulis adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana dari Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tidak ada sesuatupun yang sempurna, tidak terkecuali tugas akhir ini. Meskipun penulis sudah berusaha sebaik mungkin untuk mengerjakannya dengan teliti akan tetapi apabila nanti ada bagian-bagian yang dirasa kurang atau bahkan salah maka penulis dengan rendah hati menerima segala kritik dan saran yang membangun bagi kebaikan kita semua.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua orang yang tertarik pada ilmu teknik sipil, khususnya pada struktur bawah tanah.

Surabaya, Februari 2008

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Begitu banyak pihak yang telah dengan ikhlas hati membantu penyelesaian tugas akhir ini, untuk itu izinkanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah swt, atas segala nikmat yang tak terhingga,
2. Mak, Bak, almarhum Anang, almarhumah Ine dan kakak-kakakku, kamok selalu yang utame buatku di dunie. Terime kasih atas segale dukungan dan doa buatku, insyallah, bila Allah mengijinkan, aku akan membalas segale yang kamok enjukke untukku, Amin...,
3. Bapak Ir. Suwarno, M.Eng, selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terima kasih atas bimbingannya pak,
4. Bapak Musta'in Arif, ST.MT, selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terima kasih atas koreksi tulisannya pak,
5. Dr.Ir. Ria Asih Aryani S, M.Eng, Ir. Sudjanarko S, M.Eng, Ir. Moesdarjono S, Msc, Yudhi Lastiasih, ST.MT, sebagai dosen penguji proposal tugas akhir,
6. Bapak Hidajt Soegihardjo Masir, selaku ketua jurusan teknik sipil ITS,
7. Teman-teman S-46, Iok terima kasih buku Art of Tunneling-nya, Rina terima kasih Morlok-nya, Pace thank's for the printer, Bagus & Pandu atas diskusi-diskusi menariknya, serta teman-teman yang lainnya, terima kasih,
8. Semua karyawan jurusan teknik sipil ITS,
9. Teman-teman kost, Setyo terima kasih atas pinjaman printernya, Agung teman sekamar yang pergi-pergi terus, Darwin, mantan teman sekamar selama kira-kira 3 tahun, Bobby terima kasih printernya, Fifin atas mie ayam-mie ayam yang enak, serta semuanya yang sering main futsal sama-sama, kapan bikin kostum tim GW 23D?,
10. Serta segala pihak yang tidak mungkin untuk disebutkan satu persatu, dengan rendah hati penulis mengucapkan terima kasih.

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| Abstrak  | iii  |
| Kata Pengantar   | v    |
| Ucapan Terima Kasih  | vi   |
| Daftar Isi   | vii  |
| Daftar Gambar  | ix   |
| Daftar Tabel   | xii  |
| Daftar Grafik  | xiii |
| BAB I Pendahuluan  | 1    |
| 1.1. Latar Belakang  | 1    |
| 1.2. Permasalahan  | 2    |
| 1.3. Tujuan  | 2    |
| 1.4. Batasan Masalah   | 2    |
| BAB II Tinjauan Pustaka  | 3    |
| 2.1. Definisi Terowongan   | 3    |
| 2.2. Perkembangan terowongan   | 3    |
| 2.3. Klasifikasi Terowongan  | 4    |
| 2.3.1. Berdasarkan Tujuannya   | 4    |
| 2.3.2. Berdasarkan Bentuk  | 6    |
| 2.4. Survey Geologis dan Eksplorasi  | 9    |
| 2.5. Tekanan Vertikal  | 10   |
| 2.5.1. Beban Hidup   | 10   |
| 2.5.2. Beban Mati  | 13   |
| 2.6. Menentukan Perkiraan Tekanan Lateral                                    | 14   |
| 2.7. Menentukan Tekanan Bawah  |      |
| Menurut Tsimbaryevitch   | 16   |
| 2.8. Beban Rencana Untuk Terowongan<br>di Tanah Dangkal, Lepas dan Jenuh Air | 19   |
| 2.9. Daya Dukung Terzaghi  | 19   |
| 2.10. Penurunan Pada terowongan  | 21   |
| 2.11. Penjelasan Singkat tentang TBM   | 23   |
| 2.11.1. Deskripsi Umum   | 23   |
| 2.11.2. Pekerjaan Terowongan Dangkal di<br>Perkotaan                         | 25   |



|   |     |
|---|-----|
| 2.11.3. Metode-Metode Pengendalian Air Tanah            | 27  |
| BAB III Metodologi Penelitian                           | 29  |
| BAB IV Perencanaan Teknis Struktur Underpass            | 35  |
| 4.1. Umum   | 35  |
| 4.2. Analisa Lokasi                                     | 36  |
| 4.3. Analisa Data Tanah Lokasi                          | 37  |
| 4.3.1. Karakteristik dan Parameter Tanah                | 39  |
| 4.4. Perencanaan Alinyemen Horizontal                   | 41  |
| 4.5. Penentuan Dimensi Awal                             | 53  |
| 4.6. Analisa Pembebanan                                 | 59  |
| 4.6.1. Tekanan Vertikal                                 | 59  |
| 4.6.2. Tekanan Lateral                                  | 65  |
| 4.7. Analisa Daya Dukung Tanah                          | 69  |
| 4.7.1. Perhitungan Tegangan Total                       | 72  |
| 4.8. Perencanaan Lining Dengan Metode TBM               | 73  |
| 4.8.1. Gambaran Umum Perencanaan                        | 73  |
| 4.8.2. Kekhasan Perencanaan Lining                      | 74  |
| 4.8.3. Konfigurasi Segmen-Segmen Lining                 | 75  |
| 4.8.4. Analisa Struktur                                 | 79  |
| 4.8.5. Perencanaan Penulangan Lining                    | 83  |
| 4.8.6. Perencanaan Pelat Jalan                          | 95  |
| 4.8.7. Perencanaan Strauss Sebagai<br>Pondasi Underpass | 103 |
| 4.9. Perencanaan Lining Dengan Metode Cut and Cover     | 107 |
| 4.9.1. Gambaran Umum                                    | 107 |
| 4.9.2. Konfigurasi Lining                               | 107 |
| 4.9.3. Perencanaan Pondasi                              | 108 |
| 4.9.3.1. Perhitungan Beban Pondasi                      | 108 |
| 4.9.3.2. Perhitungan Daya Dukung Pancang                | 109 |
| 4.9.3.2. Analisa Gaya-Gaya Dalam                        | 113 |
| 4.9.3.3. Perencanaan Penulangan Lining                  | 120 |
| 4.9.3.4. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang              | 133 |
| 4.10. Perencanaan Box Culvert                           | 135 |
| BAB V Rekapitulasi Hasil Perencanaan                    | 143 |
| BAB VI Kesimpulan dan Saran                             | 163 |
| Daftar Pustaka  | 165 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1: Railway tunnel  | 4  |
| Gambar 2.2: Felbertauern Road Tunnel  | 5  |
| Gambar 2.3: Pedestrian Walkback shell   | 5  |
| Gambar 2.4: Terowongan jenis D-shaped   | 6  |
| Gambar 2.5: Terowongan jenis Horse-shoe shaped  | 7  |
| Gambar 2.6: Terowongan jenis Circular shaped  | 8  |
| Gambar 2.7: Terowongan jenis Square<br>or Rectangular shaped  | 9  |
| Gambar 2.8: Tekanan air yang bekerja pada<br>(a) lining tembus air dan<br>(b) lining tidak tembus air | 13 |
| Gambar 2.9: Asumsi umum tekanan yang bekerja<br>di atas terowongan                                    | 15 |
| Gambar 2.10: Metode perhitungan tekanan bawah   | 16 |
| Gambar 2.11: Diagram keruntuhan tanah<br>di dasar terowongan  | 21 |
| Gambar 2.12: Beberapa bagian-bagian TBM   | 25 |
| Gambar 4.1: Lokasi Proyek   | 36 |
| Gambar 4.2: Lengkung spiral-spiral  | 51 |
| Gambar 4.3: Diagram superelevasi  | 52 |
| Gambar 4.4: Rencana penampang melintang<br>Terowongan dengan TBM                                      | 55 |
| Gambar 4.5: Rencana penampang melintang<br>terowongan dengan pancang                                  | 56 |
| Gambar 4.6: Perencanaan kedalaman tunnel  | 57 |
| Gambar 4.7: Rencana layout terowongan   | 58 |
| Gambar 4.8: Newmark Diagram   | 62 |
| Gambar 4.9: Penampang Underpass<br>dengan Segmental Lining  | 74 |
| Gambar 4.10: Konfigurasi segmen-segmen lining   | 76 |
| Gambar 4.11: Tongue and groove joint  | 77 |
| Gambar 4.12: Knukle joint   | 78 |
| Gambar 4.13: Batu kunci/keystone  | 79 |
| Gambar 4.14: Ilustrasi pemberian beban  |    |



|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.15: Pemodelan tunnel                                  |     |
| a.) element tanpa ketebalan                                    | 81  |
| b ) dengan ketebalan   | 82  |
| Gambar 4.16: Bidang geser dan momen MAT -01.00 m               | 83  |
| Gambar 4.17: Bidang geser dan momen MAT 00.00 m                | 83  |
| Gambar 4.18: Penulangan segmen crown                           | 99  |
| Gambar 4.19: Penulangan segmen invert                          | 99  |
| Gambar 4.20: Penulangan segmen dinding                         | 100 |
| Gambar 4.21: Penulangan batu kunci                             | 101 |
| Gambar 4.22: Lining tampak 3D setelah dirangkai                | 102 |
| Gambar 4.23: Perencanaan dimensi strauss                       | 103 |
| Gambar 4.24: Konfigurasi lining dengan<br>cut and cover method | 107 |
| Gambar 4.25: Ilustrasi pembebanan                              | 114 |
| Gambar 4.26: Pemodelan tunnel dengan tiang pancang             | 114 |
| Gambar 4.27: Diagram bidang N, aksial MAT -01.00 m             | 115 |
| Gambar 4.28: Diagram bidang N, aksial MAT 00.00 m              | 115 |
| Gambar 4.29: Diagram bidang M, momen MAT -01.00 m              | 116 |
| Gambar 4.30: Diagram bidang M, momen MAT 00.00 m               | 116 |
| Gambar 4.31: Diagram bidang D, geser MAT -01.00 m              | 117 |
| Gambar 4.32: Diagram bidang D, geser MAT 00.00 m               | 117 |
| Gambar 4.33: Penampang terowongan dan tulangan                 | 132 |
| Gambar 4.34: (A) detil sambungan tulangan dan baut             | 132 |
| Gambar 4.35: (B) detil sambungan tulangankepala poer           | 133 |
| Gambar 4.36: Penampang penulangan box culvert terbuka          | 141 |
| Gambar 5.1: Profil memanjang                                   | 145 |
| Gambar 5.2: Detil penulangan metoda TBM                        | 146 |
| Gambar 5.3: Detil join knuckle                                 | 147 |
| Gambar 5.4: Detil join tounge and groove                       | 148 |
| Gambar 5.5: Detil key stone                                    | 149 |
| Gambar 5.6: Detil penulangan segmen crown                      | 150 |
| Gambar 5.7: (a)Detil penulangan batu kunci                     | 151 |
| (b)Detil penulangan segmen dinding                             | 151 |
| Gambar 5.8: Detil penulangan segmen invert                     | 152 |
| Gambar 5.9: Detil penulangan dengan metoda cut and cover       | 153 |
| Gambar 5.10: Detil penulangan segmen samping atas              | 154 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 5.11: Detil penulangan segmen samping bawah              | 155 |
| Gambar 5.12: Denah tiang pancang                                | 156 |
| Gambar 5.13: Pot. A-A   | 157 |
| Gambar 5.14: Pot. D-D, Detil penampang pancang                  | 158 |
| Gambar 5.15: Detil A, sambungan baut persegmen                  | 159 |
| Gambar 5.16: Detil B, detil di pelat jalan & poer               | 160 |
| Gambar 5.17: Detil C, detil sambungan segmen dengan pelat jalan | 161 |

## DAFTAR TABEL

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 2.1: Beban Hidup Maksimum<br>(P) Akibat Beban Truk H-20<br>Pada Permukaan                           | 13  |
| Tabel 2.2: Beberapa harga E dan koefisien poisson   | 22  |
| Tabel 4.1: Karakteristik dan parameter<br>Tanah dari laboratorium   | 39  |
| Tabel 4.2: Kelandaian relatif maksimum  | 43  |
| Tabel 4.3: Nilai superelevasi, e dan<br>Panjang lengkung peralihan, Ls<br>( $e_{maks}=10\%$ , AASHTO)     | 49  |
| Tabel 4.4: Nilai superelevasi, e dan<br>Panjang lengkung peralihan, Ls<br>( $e_{maks}=10\%$ , Bina Marga) | 50  |
| Tabel 4.5: Data traffic counting kendaraan<br>Dari arah Sidoarjo ke Jemur Sari                            | 54  |
| Tabel 4.6 Tekanan tanah ke samping perkedalaman<br>MAT -01.00 m   | 66  |
| Tabel 4.7: Tekanan tanah ke samping perkedalaman<br>MAT 00.00 m   | 67  |
| Tabel 4.8: Tabel koefisien daya dukung Terzaghi   | 70  |
| Tabel 4.9: Nilai Cn terhadap $\sigma_v$   | 110 |
| Tabel 4.10: Detil perhitungan N1  | 110 |
| Tabel 4.11: Daya dukung tiang pancang 35 cm   | 112 |
| Tabel 4.12: Daya dukung tiang pancang 40 cm   | 112 |
| Tabel 4.13: Daya dukung tiang pancang 45 cm   | 112 |
| Tabel 4.14: Daya dukung tiang pancang 50 cm   | 113 |
| Tabel 4.15: Defleksi yang terjadi   | 118 |
| Tabel 4.16: Gaya-gaya dalam hasil SAP 2000  | 119 |
| Tabel 5.1: Rekapitulasi hasil perencanaan   | 143 |

## DAFTAR GRAFIK

|   |    |
|---|----|
| Grafik 2.1: Tekanan Akibat Beban Hidup (Q)<br>Pada Konstruksi Bawah Tanah | 12 |
| Grafik 4.1: tegangan tanah ke samping vs kedalaman<br>pada MAT -01.00 m   | 68 |
| Grafik 4.2: Tegangan tanah kesamping vs kedalaman<br>Pada MAT 00.00 m     | 69 |

**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu permasalahan kota-kota besar di negara-negara berkembang saat ini adalah kemacetan. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk maka juga meningkatkan jumlah kendaraan yang menyebabkan kemacetan. Yang dalam hal ini adalah kendaraan pribadi. Surabaya yang merupakan salah satu kota besar di Indonesia juga tidak lepas dari masalah ini. Khususnya di jalan-jalan utamanya seperti Achmad Yani dan Basuki Rachmat sering sekali terjadi kemacetan, bahkan hampir setiap hari terjadi kemacetan.

Untuk itu diperlukan usaha-usaha bagaimana cara mengatasi masalah tersebut. Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis merencanakan pengerjaan teknis suatu terowongan / underpass yang berada di persimpangan jalan Achmad Yani dan jalan Jemur Sari yang merupakan salah satu usaha untuk mengatasi masalah kemacetan di sana. Untuk merencanakan sebuah underpass yang melintas di bawah permukaan jalan tentu harus memperhatikan banyak hal terutama kondisi jalan, lalu lintas dan juga terutama kondisi tanahnya sendiri yang lunak ditambah lagi muka air tanah yang tinggi seperti di Surabaya ini. Layout struktur dari lining beton terowongan ditentukan oleh berbagai faktor; geologi dan kondisi-kondisi hydrological, kedalaman tanah permukaan, bentuk dan ukuran terowongan dan metoda penggalian dan pendukung untuk menentukan yang paling berpengaruh. Berbagai macam ketebalan lapisan terowongan dan kondisi-kondisi pembebanan yang digunakan oleh faktor di atas memerlukan berbagai perhitungan potongan melintang untuk menghadirkan kondisi-kondisi kritis dan khas yang relevan untuk desain struktural (Sauer, G., Gall, V., Bauer, E., Dietmaier, P., 1994). Perencanaan teknis yang tepat secara struktural dari struktur terowongan tersebut yang melatar belakangi penulisan tugas akhir ini.



## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan diatasi dalam perencanaan teknis struktur terowongan ini adalah:

- a. Bagaimana cara menentukan preliminary design terowongan yang meliputi tipe terowongan (bentuk terowongan), dimensi terowongan (lebar, tinggi), serta dimensi dan letak support.
- b. Bagaimana cara menentukan jenis beban-beban yang digunakan untuk perhitungan kekuatan dan stabilitas konstruksi terowongan menahan gaya-gaya yang bekerja (gaya luar dan gaya dalam)
- c. Bagaimana menganalisa perhitungan kekuatan dan stabilitas struktur terowongan
- d. Bagaimana cara menuangkan hasil perencanaan ke dalam bentuk gambar.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan terowongan ini adalah:

- a. Dapat menentukan preliminary design terowongan yang meliputi tipe terowongan (bentuk terowongan), dimensi terowongan (lebar, tinggi), serta dimensi support.
- b. Dapat menentukan jenis beban-beban yang digunakan untuk perhitungan kekuatan dan stabilitas konstruksi terowongan menahan gaya-gaya yang bekerja (gaya luar dan gaya dalam)
- c. Dapat menganalisa perhitungan kekuatan dan stabilitas struktur terowongan
- d. Dapat menuangkan hasil perencanaan ke dalam bentuk gambar.

## 1.4 Batasan Masalah

- a. Tidak membahas metode pelaksanaan
- b. Tidak membahas biaya pembuatan terowongan
- c. Tidak membahas segi arsitektur

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Terowongan**

Secara umum terowongan dapat didefinisikan sebagai struktur bangunan perlintasan bawah tanah yang dibuat dengan tanpa memindahkan lapisan batu atau tanah yang ada di atasnya (India Central Board of Irrigation and Power, 1984).

#### **2.2 Perkembangan Terowongan**

Pada awalnya terowongan digunakan untuk kegunaan militer. Lalu terowongan juga digunakan sebagai prasarana untuk mengambil barang-barang tambang dari dalam tanah. Selain dua kegunaan di atas, peruntukan awal dari terowongan awalnya adalah sebagai tempat penyimpanan, makam, kuil dan sebagainya. Tapi dalam perkembangannya sekarang terowongan diaplikasikan untuk jalan raya, jalan kereta api, saluran, pembangkit tenaga air, dan saluran pendistribusi air bersih (India Central Board of Irrigation and Power, 1984).

Melalui perkembangan terkini di bidang peralatan teknik mekanik seperti pneumatic drills, improved drill bits, perkembangan kualitas dan kekuatan bahan peledak modern, penemuan mesin pembersihan lahan yang canggih, aplikasi yang sangat sukses dari alat elektronik untuk pencahayaan dan ventilasi, pengenalan teknik baru untuk mendukung terowongan, seperti penggunaan batangan baja, precast dan cast-in-situ lining beton, lining besi cor dalam hubungannya dengan tekanan grouting, shotcreting dan pembautan batuan, dan lain-lain membuat kecepatan pengerjaan proyek meningkat dan menambah angka keamanan bagi para pekerja (India Central Board of Irrigation and Power, 1984).

## 2.3 Klasifikasi Terowongan

Terowongan bisa diklasifikasikan berdasarkan tujuan, bentuk, dan pengaturan pendukung terowongan (India Central Board of Irrigation and Power, 1984).

2.3.1 Berdasarkan tujuannya dapat ditentukan 2 grup terowongan:

### A. Traffic Tunnels

#### 1. Railway Tunnel

Terowongan ini merupakan terowongan kereta api. Digunakan untuk stasiun bawah tanah (subway) di perkotaan atau untuk terowongan kereta api yang melintasi perbukitan.



*Gambar 2.1: Railway Tunnel*

#### 2. Highway Tunnel

Merupakan terowongan jalan raya yang digunakan bagi lalu lintas kendaraan bermotor. Terowongan ini juga biasa disebut underpass. Perencanaan layout dari terowongannya mengikuti bentuk dari alinyemen jalan rencana, sehingga kita harus terlebih dahulu merencanakan jalannya.



**Gambar 2.2: Felbertauern Road Tunnel**

3. Pedestrian Tunnel

Digunakan untuk tempat pejalan kaki, atau bila letaknya melintasi jalan raya maka berfungsi sebagai tempat penyeberangan pejalan kaki.



**Gambar 2 3: Pedestrian Walkback shell**

4. Navigation Tunnel

Terowongan jenis ini digunakan untuk keperluan navigasi dari suatu sungai ke sungai yang lain (Karoly Szechy, 1973).

B. Conveyance Tunnels

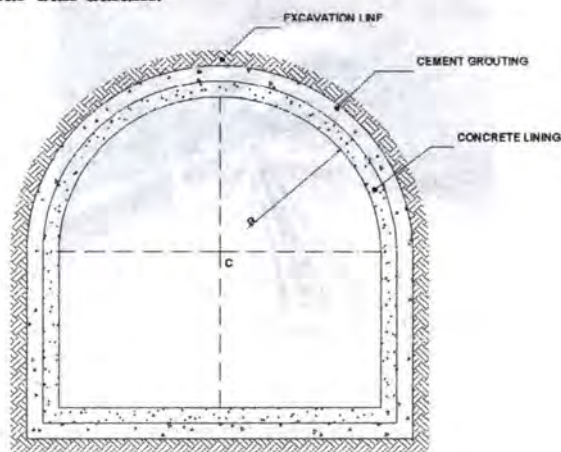
1. Hydroelectric Power Station Tunnels
2. Water Supply Tunnels

3. Sewer Tunnels
  4. Transportation tunnels in industrial plant.
- Hydraulic tunnel dapat dibagi lagi menjadi:
- a. Pressure Tunnel
  - b. Free Flowing Tunnel
  - c. Free Flowing-cum-pressure tunnel

2.3.2 Berdasarkan bentuknya maka terowongan dapat diklasifikasikan menjadi:

1. D-shaped

Terowongan jenis ini berbentuk seperti huruf 'D'. D-shaped cocok untuk terowongan di daerah yang bagus, batuan sedimen dan keras, padat, batuan metmorfik yang tekanan luar dari batuan dan air tidak terlalu besar dan lining-nya tidak didesain untuk mengantisipasi tekanan luar dan dalam.

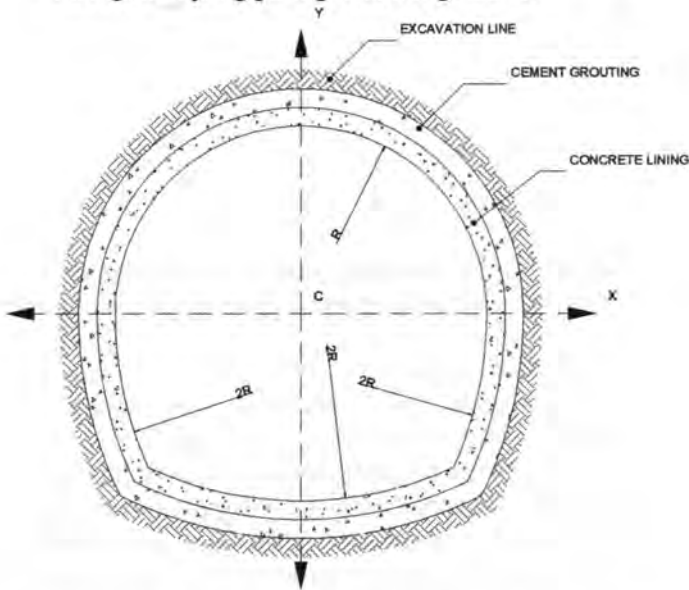


**Gambar 2.4: terowongan jenis D-shaped**

Sumber: *manual on planning and design of hydraulic tunnels*

## 2. Horse-shoe shaped

Bentuk ini merupakan perpaduan antara bentuk circular dan bentuk D-shaped. Bentuknya seperti tapal kuda (sepatu kuda). Bentuk kuat secara struktur terhadap tekanan batuan luar dan tekanan air. Bila bentuk ini dibangun di batuan yang cukup bagus dan harus menerima tekanan dari dalam juga maka bentuk ini merupakan yang paling cocok digunakan.

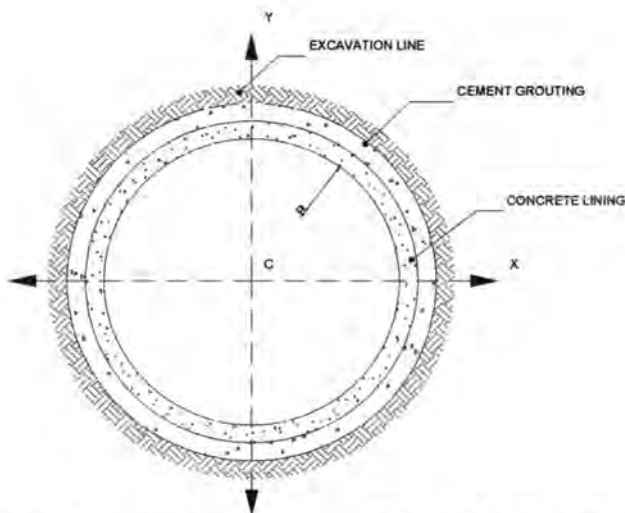


**Gambar 2.5: terowongan jenis Horse-shoe shaped**

Sumber: manual on planning and design of hydraulic tunnels

## 3. Circular shaped

Terowongan ini berbentuk bulat 'O'. Bentuk ini sangat baik bila mempertimbangkan masalah struktur untuk struktur terowongan hidraulik. Akan tetapi mengalami kesulitan dalam penggaliannya, terutama bila penampangnya kecil.



**Gambar 2.6: terowongan jenis Circular shaped**  
*Sumber: manual on planning and design of hydraulic tunnels*

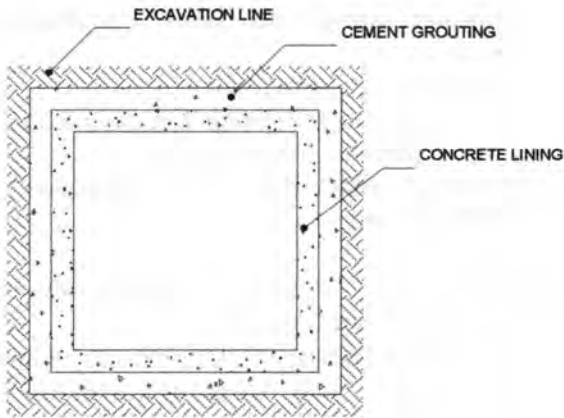
#### 4. Elliptical shaped

Terowongan ini berbentuk elip/lonjong. Selain bentuk lonjong sempurna ini masih ada bentuk yang lain seperti: egg-type shaped yang berbentuk bulat telur. Biasa digunakan sebagai saluran pembuang air kotor dan tidak cocok untuk transportasi. Lalu ada poly-sentris type shaped yang mempunyai pusat dan panjang jari-jari yang berbeda-beda. Bentuk ini cocok untuk lalu lintas terutama bagi jalur rel kereta api. Akan tetapi sulit konstruksinya dikarenakan lebih sulit dalam hal pembetonannya.

#### 5. Square or Rectangular shaped

Terowongan ini berbentuk persegi atau segi panjang. Biasanya digunakan sebagai terowongan untuk pejalan kaki. Dapat dibangun pada kedalaman yang rendah tetapi menemui kesulitan dalam konstruksinya karena memerlukan steel girders untuk pembetonannya.





**Gambar 2.7: Trowongan jenis Square or Rectangular shaped**  
*Sumber: manual on planning and design of hydraulic tunnels*

## 2.4 Survey Geologis dan Eksplorasi

Bagian yang paling utama dari pekerjaan pendahuluan terowongan adalah eksplorasi yang hati-hati dan seksama tentang keadaan geologis tanah (Karoly Szechy, 1973).

Tujuan dari eksplorasi ini adalah:

1. Untuk menentukan keadaan awal dan sebenarnya dari batuan
2. Mengumpulkan data hidrologis dan informasi tentang gas bawah tanah serta temperatur tanah.
3. Untuk menentukan sifat fisik, mekanik, dan kekuatan batuan sepanjang terowongan.
4. Untuk menentukan corak geologis yang mungkin bisa mempengaruhi magnitude tekanan batuan untuk diantisipasi sepanjang lokasi terowongan.

Eksplorasi seharusnya diperluas ke:

1. Penyelidikan cover atas

2. Penentuan kualitas dan posisi dari batuan lapisan bawah
3. Kondisi drainase permukaan
4. Posisi, tipe, dan volume air dan gas yang terkandung di dalam batuan lapisan bawah
5. Penentuan sifat fisik dan ketahanan terhadap pertemuan batuan.

Urutan eksplorasi geologis mengacu ke konstruksi terowongan bisa dibagi menjadi 3:

1. Penyelidikan tentang karakteristik umum mengacu ke perencanaan, yang seharusnya termasuk survey pustaka dan statistik tentang morfologi, petrography, stratigraphy, dan hidrologi dari lingkungan
2. Investigasi secara detail tentang geoteknik subsurface paralel ke perencanaan tetapi sejalan ke pelaksanaan.
3. Investigasi geologis seharusnya terus berjalan berbarengan dengan pelaksanaan konstruksi, tidak hanya bertujuan untuk mengecek desain tetapi juga untuk memastikan bahwa metoda driving yang digunakan sudah benar atau butuh untuk dimodifikasi.

## 2.5 Tekanan Vertikal

Diakibatkan oleh beban hidup dan beban mati

### 2.5.1 Beban Hidup

#### 1. Beban Internal

Beban mengacu pada berat dan kecepatan kendaraan bergerak, atau material yang diangkut oleh terowongan biasanya bisa diabaikan bila dibandingkan dengan tekanan tanah dan air. Untuk alasan ini maka beban internal biasanya diabaikan dalam perencanaan kecuali terowongan dengan tekanan internal yang besar (seperti terowongan pembangkit listrik, pengangkut gas bawah

tanah, dsb.). Hal ini menjadi lebih dipertimbangkan, karena tekanan dari dalam cenderung untuk meniadakan/melawan tekanan dari luar. Pengecualian dari hal di atas bisa dilihat di bawah ini:

- a. Penampang melintang dari segi empat tertutup dari konstruksi beton bertulang monolithic bertemu dengan perkerasan bawah tanah rel kereta api dimana berat dan tekanan tanah relatif kecil bila dibandingkan dengan beban internal rel kereta api, dan diman beban langsung di bawah pelat tidak lagi diperhitungkan karena lebarnya penampang segi empat tersebut.
- b. Terowongan pembuangan atau pembangkit listrik mengacu pada yang sebelumnya, diman tekanan dari dalam bisa mencapai perintah magnitude dengan pertimbangan kelebihan tekanan air dan batuan. Tekanan dalam lebih lanjut mempengaruhi tegangan tarik dan lentur yang sangat penting bagi lining terowongan.
- c. Terowongan yang ada di tanah lepas dan sangat lunak dimana lapisan di sekitar terowongan dalam keadaan liquid dan bisa meningkatkan moment kritis lokal sebagai beban luar asimetri.

## 2. Beban Permukaan

Beban mengacu pada bangunan dan kendaraan di permukaan, atau peralatan yang ada di atas permukaan sepanjang terowongan berperan hanya dalam kasus terowongan sub-pavement, yang digunakan di kedalaman yang relatif kecil di bawah permukaan. Di Hungaria beban ini harus di perhitungkan berdasarkan spesifikasi dari Highway Bridge Code. Di dalam desain Moskow Underground Railway beban ini diperbolehkan dengan mengasumsikan penyebaran sebesar  $45^{\circ}$  dan tidak ada

faktor dinamik. Di atas ketebalan overburden 8 m maka akibat dari beban ini tidak significant.

Untuk menghitung besarnya pengaruh dari beban permukaan dapat dipakai persamaan *Boussinesq* dan *Newmark* (Taylor, 1948) yaitu:

$$P_h = \frac{QC_b}{H^2}$$

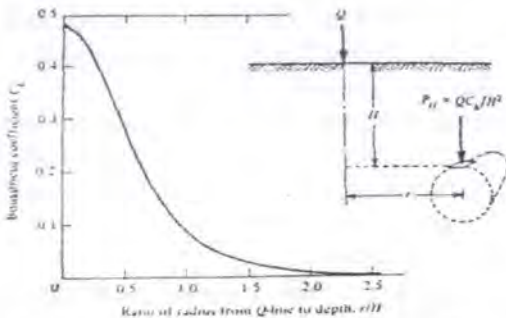
dimana: Untuk menghitung besarnya

Q = Beban-beban roda.

$C_b$  = koefisien *Boussinesq*

H = tinggi dari puncak terowongan ke permukaan.

Koefisien  $C_b$  tergantung pada tinggi dari puncak terowongan ke permukaan (H) dan jarak dari roda kendaraan (r) ke titik pusat terowongan. Besarnya koefisien  $C_b$  dapat dilihat pada grafik dibawah



**Grafik 2.1: Tekanan Akibat Beban Hidup (Q) Pada Konstruksi Bawah Tanah**

Sumber: (J. Boussinesq, 1885)

Untuk menghitung besarnya pengaruh beban hidup juga dapat memakai tabel dibawah. Yang memakai acuan beban truk H-20.

**Tabel 2.1: Beban Hidup Maksimum (P) Akibat Beban Truk H-20 Pada Permukaan.**

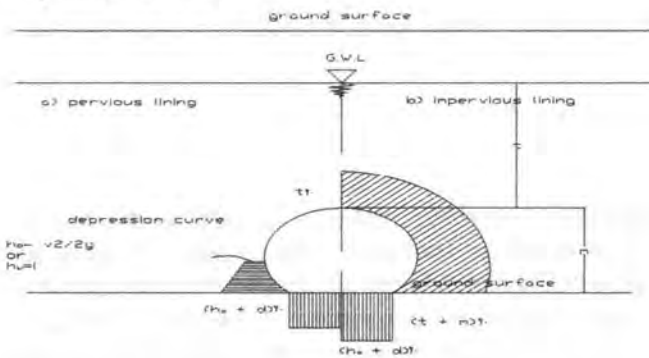
| H (ft)<br>Tinggi Dari Tanah di<br>Atas Terowongan | $P_b$ (lb/ft <sup>2</sup> )<br>Beban Hidup Maksimum |
|---|---|
| 4   | 375   |
| 5   | 260   |
| 6   | 190   |
| 7   | 140   |
| 8   | 110   |
| 9   | 90  |
| 10  | 75  |

Sumber : Bridge Design Spesifikasi, Section 16

## 2.5.2 Beban Mati

### 1. Tekanan Air

besar dan bentuk tekanan air terhadap terowongan di gambarkan sbb:



**Gambar 2.8: Tekanan air yang bekerja pada (a) lining tembus air dan (b) lining tidak tembus air**

Sumber: the art of tunneling

## 2.6 Menentukan Perkiraan Tekanan Lateral

Tekanan lateral dalam tanah kira-kira ditentukan dari teori tekanan tanah, sebagai hasil dari tekanan geostatic, atau beban atas dan koefisien tekanan tanah, berturut-turut dalam hal tegangan lateral. Tekanan lateral tidak seperti tekanan vertical yang berbanding lurus dengan kedalaman overburden. Makin besar overburden maka makin kecil tekanan horizontalnya. Menurut Terzaghi, perkiraan kasar dari tekanan lateral untuk tanah lempung adalah:

$$p_h = 0.3 \gamma (0.5m + h_p)$$

Dimana:  $h_p$  = tinggi dari tanah melambangkan beban atas

Untuk tanah berbutir dan sisa batuan, berdasarkan ratio Rankin:

$$p_h = \gamma H \tan^2(45^\circ - \phi/2),$$

dan akhirnya, pada batuan keras, berdasarkan rasio Poisson:

$$p_h = p_v \frac{\mu}{1 - \mu}$$

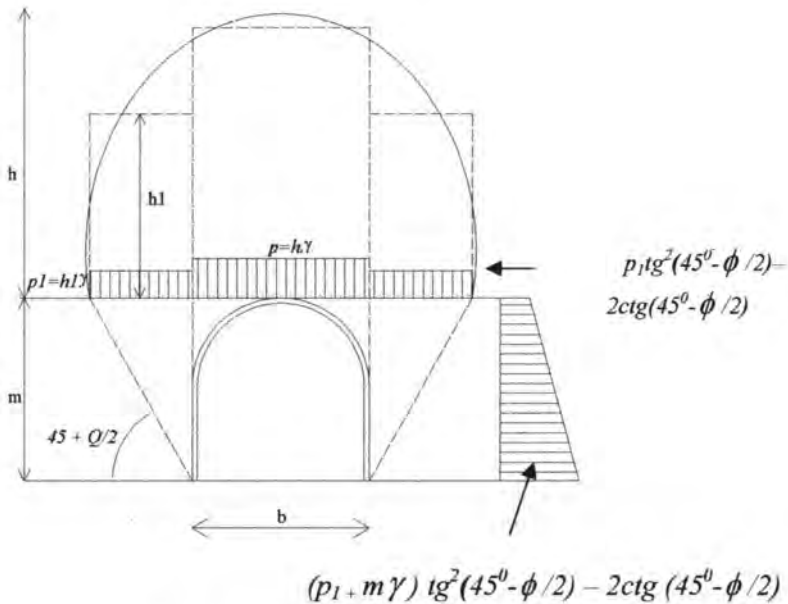
Berdasarkan panduan praktikal Soviet, kode desain yang dikembangkan untuk Budapest Underground Railway tekanan lateral atau horizontal seharusnya diasumsikan dengan distribusi linear dan harusnya berdasarkan tekanan vertical yang diperkirakan berdasarkan salah satu teori tekanan batuan daripada tekanan geostatik. Distribusi berbentuk parabola yang ditunjukkan oleh gambar di bawah seharusnya diasumsikan untuk tekanan vertical memiliki ordinat puncak yang berhubungan dengan beban atap yang dihitung. Jika ordinat tekanan parabola di

posisi vertikal dipindahkan ke sisi dari rongga adalah  $h_2 \gamma = p_2$ , maka intensitas tekanan lateral di atap menjadi:

$$e_1 = p_2 \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2c \tan (45^\circ - \phi/2),$$

dan dalam level sebaliknya

$$e_2 = (p_2 + m \gamma) \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2c \tan (45^\circ - \phi/2)$$

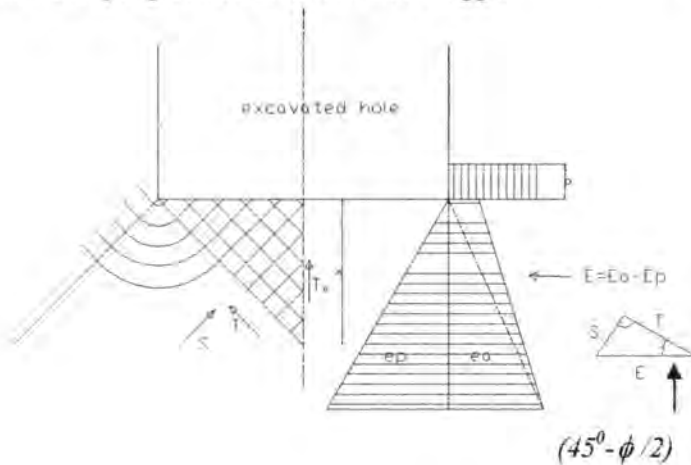


**Gambar 2.9: Asumsi umum tekanan yang bekerja di atas terowongan**

Sumber: *the art of tunneling*

## 2.7 Menentukan Perkiraan Tekanan Bawah Berdasarkan Tsimbaryevitch

Masalah tekanan dari bawah ini dipelajari secara teoritis oleh Tsimbaryevitch. Sebagaimana dalam analisa stabilitas dari pelat dasar dari konstruksi yang ditopang, dia mengasumsikan bahwa tanah berpindah ke arah rongga di bawah pengaruh tekanan tanah aktif yang berasal dari tekanan vertikal di bagian lateral. Perpindahan ini lindungi oleh tekanan tanah pasif pada massa tanah yang berada di bawah alas rongga.



**Gambar 2.10: Metode perhitungan tekanan bawah**  
*Sumber: The Art of Tunneling*

Tekanan tanah pada kedalaman  $x$  menjadi:

$$e_a = (p + x\gamma) \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2c \tan (45^\circ - \phi/2)$$

pada saat yang sama tekanan tanah pasif spesifik pada kedalaman  $x$  adalah



$$e_p = x \gamma \tan^2 (45^\circ + \phi/2) + 2c \tan (45^\circ + \phi/2)$$

Kedalaman  $x$ : dimana  $e_a = e_p$  bisa dihitung dengan menyamakan dua persamaan tersebut.

Lapisan di atas kedalaman ini akan di ikutkan ke tekanan alas:

$$x = \frac{p \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - 2c [\tan (45^\circ + \phi/2) + \tan (45^\circ - \phi/2)]}{\gamma [\tan^2 (45^\circ + \phi/2) - \tan^2 (45^\circ - \phi/2)]}$$

$$= \frac{p \lambda_a - 2c (\sqrt{\lambda_p} + \sqrt{\lambda_a})}{\gamma (\lambda_p - \lambda_a)}$$

Gaya magnitude  $E = E_a - E_p$  bisa diselesaikan menjadi komponen  $T$  dan  $S$ , paralel ke permukaan yang meluncur dan tegak lurus ke mereka, berturut-turut:

$$T = E \cos (45^\circ - \phi/2)$$

$$S = E \sin (45^\circ - \phi/2)$$

Gaya  $T$  cenderung untuk memindahkan tanah dan ditahan oleh komponen friksi/gesekan dari gaya normal

$$T' = S \tan \phi$$

Gaya magnitude yang bekerja di atas alas dipenuhi sebagai:

$$T_0 = 2E' x \frac{\sin^2 (45^\circ - \phi/2)}{\cos \phi}$$

Resultan  $T_0$  bekerja di garis pusat dan vertikal. Tekanan ke atas ini dapat di lawan dengan membebani alas dengan  $q_0$ , atau dengan dimensi busur yang sesuai. Beban  $q_0$  untuk melawan gaya ke atas harus di letakkan di atas panjang  $y$  yang bisa dicari:

$$y = \frac{x}{\tan(45^\circ - \phi/2)}$$

Dari gambar, bila reaksi alas di bawah dinding samping adalah  $p = Q_0/s$ , tinggi dari kolom tanah di samping rongga bisa di dapat dari hubungan  $H = q/\gamma$ .

Karena

$$x = H \frac{\tan^2(45^\circ - \phi/2)}{\tan^2(45^\circ + \phi/2) - \tan^2(45^\circ - \phi/2)}$$

$$E = E_a - E_p$$

$$E_a - E_p = \frac{1}{2} \gamma x(x + 2H) \tan^2(45^\circ - \phi/2) - \frac{1}{2} \gamma x^2 \tan^2(45^\circ - \phi/2),$$

Dan

$$T = E \frac{\sin(45^\circ - \phi/2)}{\cos \phi}$$

Tekanan yang bekerja dari bawah rongga adalah

$$T_0 = 2T \sin(45^\circ - \phi/2)$$

Penutup penampang dengan pelat alas dan penggunaan internal ballast merupakan satu-satunya jalan untuk menahan tekanan ini. Untuk angka keamanan koefisien  $n = 1.3 - 1.5$ . Dengan  $b/2 - s$  menandakan lebar pembebanan yang sebenarnya,  $P_s$  dan  $P_b$  merupakan berat pelat alas dan internal ballast, secara berurutan, koefisien keamanan dapat ditentukan dengan membandingkan hasil tegangan ke bawah dengan keatas  $N/y$ . Dengan kata lain, dibutuhkan:

$$n = \frac{(P_s + P_b) y}{T_0 (b/2 - s)} > 1.3 - 1.5$$

## 2.8 Beban Rencana Untuk Terowongan di Tanah Dangkal, Lepas dan Jenuh Air

Beban rencana untuk terowongan yang dekat dengan permukaan ( $H \leq 2.5B$ ) akan terdiri dari semua material di atas terowongan, termasuk tekanan air jika muka air berada di atas terowongan. Untuk lapisan tanah di atas dengan kedalaman  $h$  dan muka air  $t$  di atas terowongan, maka beban vertikalnya:

$$p_v = (h - t) \gamma_s (1 - n) + t[\gamma_s(1 - n) + 1.n]$$

dimana  $\gamma_s$  dan  $n$  adalah berat spesifik dan persentase void content tanah.

Asumsi beban rencana ini bisa lebih kecil atau lebih besar bergantung pada metode konstruksi, lokasi terowongan, dan kedalaman cover tanah atas.

## 2.9 Daya Dukung Tanah

Menurut TERZAGHI hubungan yang digunakan untuk menggambarkan perilaku keruntuhan tanah pada konstruksi terbuka dapat diaplikasikan pada konstruksi bawah tanah.

Keadaan tanah pada dasar terowongan dapat dibedakan menjadi dua kondisi yang ekstrem, yaitu jenis tanah yang kohesif dimana  $c \neq 0$  dan  $\phi = 0$  dan jenis tanah yang kedua adalah tanah non kohesif dimana  $c = 0$  dan  $\phi \neq 0$ . Daya dukung untuk tanah kohesif dengan lebar terowongan  $b$  menurut TERZAGHI adalah :

$$Q = p \max . b = (2 + \pi) c . b$$

*Dimana : c = kohesi tanah*

*. b = lebar dasar terowongan (m)*

Beban yang diterima tanah adalah :

$$Q_0 = \left( b + \frac{b}{2} \right) H \gamma - \frac{mb}{2} \gamma - \frac{1}{3} b f \gamma - H c = \frac{b \gamma}{2} \left( 3H - m - \frac{2}{3} f \right) - H c$$

*dimana : b = lebar terowongan*

*H = kedalaman terowongan dari muka tanah*

*m = tinggi terowongan*

Nilai Safety Factor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = \frac{Q}{Q_0} = \frac{(2+\pi)c \cdot b}{b \gamma \left[ \left( 3H - m - \frac{2}{3} f \right) \frac{2Hc}{b \gamma} \right]} = \frac{2(2+\pi)}{\gamma \left[ H \left( 3 - \frac{2c}{b \gamma} \right) - m - \frac{2}{3} f \right]}$$

*dimana : n = nilai safety factor*

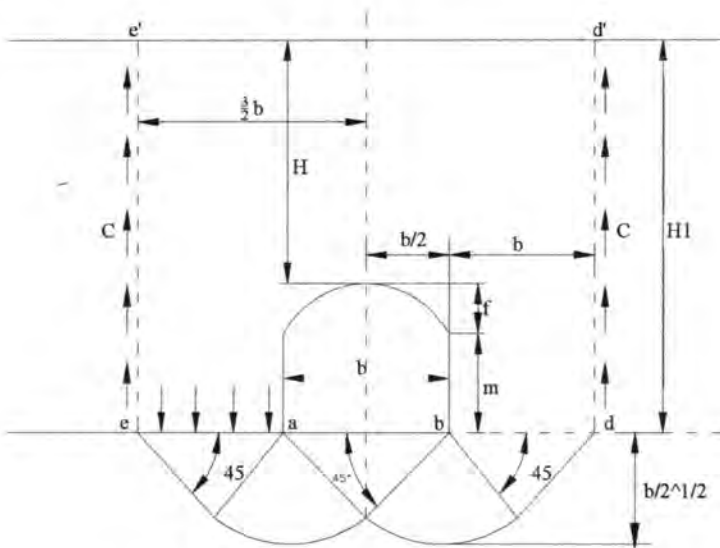
Untuk menjaga agar terowongan tidak mengalami sliding maka nilai  $n$  harus lebih besar dari 1,3-1,5.

Untuk tanah dengan nilai  $c=0$  dan  $\phi \neq 0$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_0 = \left[ A + \frac{b}{2} \right] H \gamma - \frac{b}{2} m \gamma - \frac{2}{3} \frac{b}{2} f \gamma - \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2(45^\circ - \phi/2) \tan \phi$$

$$\text{dimana : } A = H \gamma \tan^2(45^\circ - \phi/2) - \frac{b}{H} \left[ H \gamma - m - \frac{2}{3} f \right] > 0$$

Untuk lebih jelasnya mengenai teori ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini



**Gambar 2.11: Diagram keruntuhan tanah di dasar terowongan**

*Sumber : The Art Of Tunneling*

### 2.10 Penurunan Pada Terowongan

Analisa penurunan pada terowongan sama dengan analisa penurunan pada pondasi dangkal karena  $D/B < 4$  atau 5.

Dimana :  $D$  = kedalaman pondasi

$B = \text{lebar dasar pondasi}$

Penurunan pada pondasi dangkal dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu :

1. Penurunan segera (immediate settlement),

$$\rho_i = p \cdot B \frac{1-\nu^2}{E} I_p$$

dimana :  $E = \text{young's modulus}$

$\nu = \text{koefisien Poisson}$

$B = \text{lebar pondasi}$

$p = \text{tekanan bersih yang dibebankan}$

$I_p = \text{factor pengaruh}$

**Tabel 2.2: Beberapa harga  $E$  dan koef poisson (Das B.M)**

| Jenis Tanah       | Young Modulus                 | Koef. Poisson |
|-------------------|-------------------------------|---------------|
| Pasir lepas       | 10350-27600 KN/m <sup>2</sup> | 0,2-0,4       |
| Pasir agak padat  |                               | 0,25-0,4      |
| Pasir padat       | 34500-69000 KN/m <sup>2</sup> | 0,3-0,45      |
| Pasir berlanau    |                               | 0,2-0,4       |
| Lempung lembek    | 1380-3450 KN/m <sup>2</sup>   | 0,15-0,25     |
| Lempung agak kaku |                               | 0,2-0,5       |
| Lempung keras     | 5965-13800 KN/m <sup>2</sup>  | -             |

2. Penurunan Konsolidasi

- a. Pada kondisi terkonsolidasi normal

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o}$$

- b. Pada kondisi overconsolidated

- untuk  $p_o + \Delta p \leq p_c$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o}$$

- untuk  $p_o + \Delta p > p_c$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{p_c}{p_o} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \left( \frac{p_o + \Delta p}{p_c} \right)$$

dimana :  $H_c$  = tebal lapisan

$p_o$  = tekanan efektif overburden pada lapisan

$\Delta p$  = penambahan tekanan vertical pada lapisan

$e_o$  = angka pori

$p_c$  = tekanan prakonsolidasi

$C_c$  = compression index

$C_s$  = swelling index

## 2.11 Penjelasan Singkat tentang TBM

### 2.11.1 Deskripsi Umum

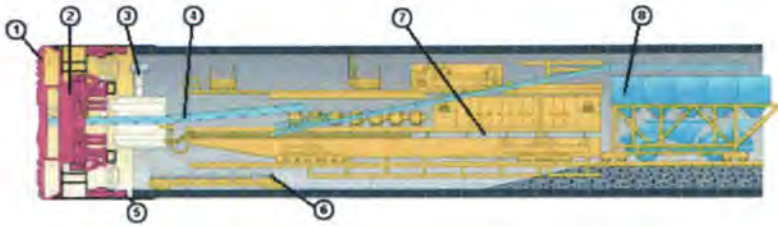
*Tunnel boring machine* (TBM) biasanya terdiri dari satu atau dua *shield* (berbentuk silinder logam yang besar) dan mekanisme pendukung *trailing*. Di bagian ujung depan *shield* terdapat *rotating cutting wheel* (piringan pemotong yang berputar). Di belakang *cutting wheel* terdapat *chamber* (semacam ruangan tempat beberapa peralatan berada), merupakan tempat di mana tanah galian di campur dengan *slurry* (campuran supaya tanah galian mudah diperlakukan) atau dibiarkan saja. Pemilihan jenis TBM tergantung dari keadaan tanah lokasi. Sistem untuk pembuangan tanah atau tanah galian yang sudah dicampur juga ada pada TBM.

Di belakang *chamber* terdapat satu set *hydraulic jacks* yang mendorong TBM ke depan dan disokong rangkaian *lining* yang telah selesai layaknya seekor cacing tanah. Bagian belakang TBM diikat pada dinding terowongan dan digunakan untuk mendorong TBM ke depan. Pada perpanjangan maksimum, kepala TBM diikat pada dinding terowongan dan bokong TBM didorong ke depan. Di belakang *shield*, di dalam rangkain terowongan yang sudah selesai, bisa ditemukan beberapa penyokong yang merupakan bagian dari TBM, seperti pengangkut tanah, pipa *slurry* (bila ada), ruangan kontrol, rel untuk transportasi segmen *lining*, dsb. *Cutting wheel* bisa berputar secepat 1 sampai 10 rpm (tergantung dari ukuran dan keadaan geologinya), dapat memotong permukaan batu menjadi piringan-piringan atau menggali tanah (*muck*). Tergantung dari jenis TBMnya, maka *muck* akan jatuh ke conveyor dan dibawa keluar terowongan atau dicampur dengan *slurry* untuk dipompa kembali ke depan terowongan.

TBM modern biasanya mempunyai *shield* yang berhubungan satu sama lain (*integrated shield*). Pemilihan TBM yang menggunakan satu atau dua *shiled* tergantung pada keadaan geologi dan kecepatan pengeboran yang dibutuhkan.

TBM yang menggunakan 2 layer shield (*Double shielded TBMs*) biasanya digunakan pada keadaan geologi tanah yang tidak stabil atau pada saat tingkat kesulitan tinggi dibutuhkan. Sedangkan TBM yang menggunakan satu shield (*Single shielded TBMs*), yang lebih murah, lebih cocok pada batuan keras.





1. Kepala Pemotong (Cutting Head)
2. Penggerak (Drive)
3. Erector
4. Conveyor Belt
5. Tunneling Jacks
6. Lining Segment Supply
7. Backup System
8. Silo Car

**Gambar 2.12: Beberapa bagian-bagian TBM**

Sumber: Wikipedia

### 2.11.2 Pekerjaan Terowongan Dangkal di Perkotaan

Pekerjaan konstruksi terowongan pada daerah perkotaan (*Urban tunneling*) mempunyai tantangan tertentu supaya permukaan tanah di atas terowongan tak terusik (*undisturbed*). Ini berarti penurunan tanah harus dihindari. Metode yang bisa dipakai yaitu menjaga tekanan tanah pada saat dan setelah konstruksi terowongan. Ada beberapa kesulitan untuk menerapkan hal ini, khususnya dengan beragamnya jenis tanah yang dilewati terowongan.

TBM dengan *positive face control* digunakan pada situasi tersebut. Ada tiga jenis umum: *Earth*

*pressure balance (EPB), Bentonite slurry (BS), and compressed air (CA)*. Compressed air method merupakan metode tertua, tapi sekarang tidak digunakan lagi karena cara kerjanya yang susah.

Kedua tipe (EPB dan BS) lebih disukai dibanding *open face methods* di daerah perkotaan karena mempunyai kontrol tanah yang jauh lebih baik.

Pada waktu mengerjakan proyek terowongan di daerah perkotaan, terowongan lain atau pondasi dalam harus dipertimbangkan pada awal-awal perencanaan. Proyek harus mengakomodasi perhitungan efek proyek terhadap bangunan lain.

Proyek terowongan yang menggunakan *shielded and earth pressure balance TBM* mencakup beberapa aktivitas berikut:

1. Penggalian dan menyokong *working shafts*
2. Penggalian dan menyokong *undercut* dan *tail tunnel*
3. Penggalian terowongan
4. Pembuangan tanah dari dalam terowongan
5. Menaikkan tanah ke atas permukaan
6. Merangkai dan menginstall *lining* terowongan
7. Menambah peralatan dan jalur rel (bila diperlukan)
8. Penggalian dan menyokong *removal shaft*

Kecuali untuk kegiatan (1), (2) dan (8) di atas, kegiatan-kegiatan di atas merupakan pekerjaan yang berulang dalam siklus pekerjaan terowongan. Tujuan dari perencanaan awal adalah untuk memastikan bahwa sepanjang pekerjaan terowongan buangan yang terjadi seminimum mungkin. Tujuan dari menghilangkan waktu tunggu (*wait time*) adalah untuk mengoptimalkan bahan

baku dan proses operasi. Kemajuan pekerjaan terowongan ditentukan oleh proses pekerjaan terowongan antara *working shafts* dan *tunnel face*. Untuk mengoptimalkan proses pekerjaan terowongan, semua kegiatan harus di koordinasi dengan baik untuk meminimalkan jeda yang terjadi pada kedua ujung

### 2.11.3 Metode - Metode Pengendalian Air Tanah

Metode-metode pengendalian air tanah pada pekerjaan terowongan antara lain *dewatering*, *grouting*, *compressed air*, *freezing* dan *special construction methods*.

a. *Dewatering* merupakan cara paling sederhana untuk mengontrol air tanah yaitu dengan memompa air dari sumur. Akan tetapi kemungkinan besar terjadi dampak yang tidak diinginkan dari proses konsolidasi yaitu akan meningkatkan berat efektif (*effective weight*) tanah.

b. *Grouting* bisa diaplikasikan untuk mengontrol air tanah dan pada saat yang sama bisa mengurangi penurunan permukaan tanah (*surface settlements*). Akan tetapi, umumnya cara ini relatif mahal dan membutuhkan waktu lama serta tidak terlalu bisa berfungsi baik walaupun sudah dilakukan dengan ketelitian tinggi.

d. *Compressed air* sering digunakan untuk menstabilkan lapisan tanah tembus air (*permeable*), di mana *dewatering* tidak bisa diaplikasikan.

e. *Freezing* lebih umum dipakai pada *shaft sinking* daripada terowongan, tapi metode ini bisa digunakan apabila metode-metode lain tidak bisa digunakan

**BAB III**  
**METODOLOGI**

### **BAB III**

## **METODOLOGI PENULISAN**

Metodologi penulisan tugas akhir ini, antara lain :

1. Membahas latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, serta metodologi.
2. Membahas tentang dasar-dasar teori, yang akan digunakan serta perumusan yang akan dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Mengumpulkan dan analisa data. Meliputi:
  - a Data tanah
  - b Data lalu lintas kendaraan dan kereta api
  - c Data layout terowongan
  - d Data bangunan existing
1. Merencanakan preliminary design terowongan
  - a. Menentukan bentuk terowongan  
Pemilihan penampang terowongan dipengaruhi oleh (Karoly Schezy, 1973):
    - ii. Ruang yang dibutuhkan berdasarkan pergerakan kendaraan;
    - iii. Tipe, kekuatan, kandungan air dan tekanan tanah;
    - iv. Metode pelaksanaan;
    - v. Material dan kekuatan lining terowongan terhadap beban internal;
    - vi. Kebutuhan untuk memenuhi kebutuhan akan single atau double track di terowongan.
  - b. Menentukan dimensi terowongan  
Dimensi dari underpass ditentukan menggunakan data lalu-lintas (tipe kendaraan yang melintas dan beban lalu-lintas) jadi kita bisa tahu berapa banyak lajur dan tinggi terowongan yang kita butuhkan.

## 2. Perencanaan Struktur dan Kontrol Stabilitas Terowongan

Perencanaan struktur dan kontrol stabilitas terowongan dilakukan per segmen. Segmen-segmen ini dibagi sepanjang terowongan menjadi 3 segmen terowongan yaitu segmen yang berada di bawah jalan raya, di bawah rel kereta api dan segmen yang tidak terdapat beban permukaan di atasnya.

- a Menghitung pembebanan struktur meliputi:
  - Beban Vertikal : beban vertikal meliputi beban mati (overburden), beban hidup (kendaraan), dan beban air.
  - Beban Lateral : beban lateral terdiri dari beban tanah dan beban air.
  - Beban dari bawah : beban dari bawah dihitung berdasarkan perumusan Tsimbaryevitch
  - Beban gempa
- b Menghitung gaya-gaya yang terjadi pada struktur terowongan meliputi :
  - Momen
  - Gaya normal
  - Gaya lintang

Gaya- gaya yang bekerja pada terowongan dihitung menggunakan perumusan yang berasal dari buku-buku referensi atau menggunakan program bantu.

- c Perhitungan penurunan tanah.  
Menghitung settlement yang akan terjadi diakibatkan oleh beban sendiri terowongan ditambah beban overburden, beban air dan kendaraan dikurangi gaya ke atas yang diakibatkan gaya ke atas air. Dapat dihitung menggunakan rumusan pada diktat mata kuliah rekayasa pondasi.

d Kontrol daya dukung tanah di dasar terowongan.

Daya dukung tanah di dasar terowongan dihitung menggunakan persamaan Terzaghi, kontrol ini untuk membuktikan apakah tanah di dasar terowongan mampu memikul beban terowongan atau tidak.

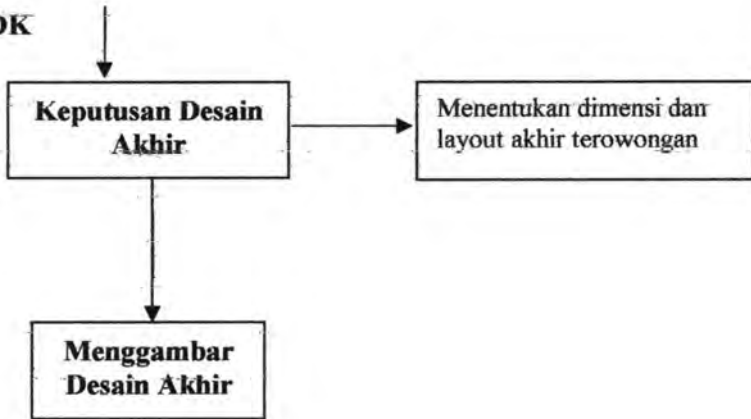
3. Perhitungan perkuatan pada terowongan yaitu :
  - Perencanaan tulangan dari beton bertulang yang digunakan agar dapat menahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur terowongan.
  - Perencanaan sambungan dari segmen-segmen. Perkuatan terowongan yang akan dipakai adalah beton bertulang precast
4. Mengambil keputusan akhir mengenai desain terowongan.
5. Menuangkan hasil perencanaan terowongan ke dalam bentuk gambar dengan program bantu AutoCad.

### Diagram Alir Metodologi





OK



**BAB IV**  
**PERENCANAAN TEKNIS STRUKTUR**  
**UNDERPASS**

## BAB IV

### PERENCANAAN TEKNIS STRUKTUR UNDERPASS

#### 4.1 Umum

Masalah yang paling mendasar yang dihadapi dalam setiap pekerjaan di dalam tanah adalah masalah daya dukung tanah itu sendiri. Apalagi pekerjaan pada tanah lunak seperti lempung atau lanau, maka kestabilan struktur tersebut sangatlah perlu diperhitungkan dengan sangat hati-hati. Suatu struktur pada tanah lunak saturated menerima gaya-gaya luar yang berasal dari beban tanah dan juga dari tekanan air. Bagi kekuatan struktur lining hal itu tidak terlalu menjadi masalah, akan tetapi bagi tanah ditempat struktur *tunnel* (misalnya) berada, itu merupakan tambahan beban yang harus dipikul selain dari beban dari struktur itu sendiri.

Untuk pengerjaan tugas akhir ini pertama kali yang akan di analisa adalah data tanah yang nantinya digunakan untuk perhitungan pembebanan terhadap struktur dan menentukan daya dukung tanah. Selanjutnya merencanakan bentuk, dimensi dan letak terowongan. Setelah itu merencanakan lining terowongan yang menerima beban-beban yang akan diterima lining sebagai tekanan vertikal dan horizontal. Tekanan lateral ditentukan dari tekanan vertikal berdasarkan tekanan tanah aktif Rankine Ratio. Lalu dilanjutkan dengan analisa gaya-gaya luar menggunakan program SAP 2000. Dari hasil analisa tadi kita bisa merencanakan tulangan lining. Setelah itu menghitung daya dukung tanah apakah mampu mendukung struktur atau tidak. Jika tidak, maka perlu direncanakan suatu cara untuk menolong tanah sebagai support dari struktur. Untuk jelasnya urutan-urutan pekerjaannya sebagai berikut:

1. Analisa tanah
2. Perencanaan terowongan awal
3. Merencanakan pembebanan
4. Perhitungan daya dukung tanah



5. Merencanakan struktur *lining*
6. Analisa gaya-gaya luar dengan SAP 2000
7. Penulangan *lining* dan plat jalan raya
8. Perencanaan retaining wall/box culvert untuk *approach road*.

#### 4.2 Analisa Lokasi

Proyek ini berlokasi di persimpangan jalan Achmad Yani-Jemur Sari Surabaya. Terowongan rencana akan berada di bawah 3 keadaan beban yang berbeda. Yang pertama di sana terdapat jalan raya Achmad Yani dan Jemur Sari yang dilalui lalu-lintas yang padat. Keadaan yang kedua terowongan juga berada di bawah bangunan penduduk serta yang ketiga di bawah rel kereta api. Analisa-analisa yang lain mengenai keadaan geologis (data tanah) dan data lalu lintas akan dijelaskan pada sub bab tersendiri.



**Gambar 4.1: Lokasi proyek**  
 Sumber: Google Earth

### 4.3 Analisa Data Tanah Lokasi

Data tanah yang tersedia untuk merencanakan terowongan ini adalah data dari *Standard Penetration Test (SPT)* untuk perencanaan **Proyek Surabaya Intra Urban Toll-Way**. Metode yang digunakan untuk *boring* adalah *Rotary Core Drilling*. Data yang digunakan untuk merencanakan terowongan ini diambil 2 titik bor yang berdekatan dengan lokasi proyek tugas akhir, yaitu:

#### a. BH - 08

Lokasi titik pengeboran berada di bawah iklan sepatu Eagle, jalan masuk Departemen Perhubungan Surabaya, Jalan Raya Achmad Yani. Kedalaman lubang pengeboran mencapai 40.45 m di bawah tanah, sedangkan muka air tanah berada 1 m dari permukaan tanah. Ciri-ciri fisik tanah pada kedalaman 0 - 4 m adalah berplastisitas tinggi, tanah liat dari lembut sampai keras serta berwarna abu-abu kecoklatan. Pada kedalaman 4 - 6.5 m berciri - ciri tanah liat berpasir lembut sampai keras dengan warna abu-abu. Kedalaman 6.5 - 13 m banyak terdapat tanah liat yang mengandung lempung yang halus dan lembek serta berwarna abu-abu. Dari kedalaman 13 m sampai 25 m tanahnya berubah menjadi tanah liat lempung yang keras yang berwarna coklat. Pada kedalaman 25 - 28.5 m bersifat tanah liat lempung berpasir dengan kepadatan yang tinggi berwarna coklat keabu-abuan. Lapisan selanjutnya berada pada kedalaman 28.5 - 35 m yang terdiri dari batuan pasir yang sangat padat dengan warna coklat keabu-abuan. Lapisan terakhir setebal 4 m, dari kedalaman 35.5 - 40.45 m berupa tanah liat yang keras berwarna abu-abu gelap.

Dari data di atas didapat informasi bahwa tanah mulai mengeras pada kedalaman 13 m sampai 25 m dengan banyaknya pukulan yang diperlukan mencapai 36 kali pukulan, sedangkan lapisan yang paling keras adalah pada kedalaman 28.5 - 35.5 m

yang jumlah pukulannya mencapai lebih dari 60 kali. Lapisan pada kedalaman 0 – 13 m hanya mencapai maksimal 5 kali pukulan. Pada lubang ini juga diambil 2 contoh tanah masing-masing pada kedalaman 3.5 – 4 m, dan pada kedalaman 11.5 – 12 m.

**b. BH – 09**

Lokasi pengeboran berada di depan pabrik kulit Wonocolo (pos jaga no.23). kedalaman pengeboran pada titik ini mencapai 40.45 m di bawah tanah, sedangkan muka air tanah berada di 1,8 m di bawah muka tanah. Ciri-ciri tanah pada lapisan 0-4 m adalah tanah liat berbutir halus dan kaku serta berwarna abu-abu. Lapisan kedua berada pada kedalaman 4 – 6 m berupa pasir berbutir halus dengan sedikit campuran tanah liat serta mempunyai kepadatan medium, dan berwarna abu-abu. Pada kedalaman 6 – 14 m merupakan lapisan ketiga yang berciri-ciri tanah liat berbutir halus yang halus sampai sangat halus serta berwarna abu-abu. Selanjutnya lapisan keempat di kedalaman 14 – 20 m berupa tanah liat yang keras sampai sangat keras dan mempunyai plastisitas yang tinggi serta berwarna abu-abu. Lapisan kelima mempunyai ketebalan 5 m dari kedalaman 20 – 25 m, mempunyai ciri-ciri tanah liat yang kaku sampai keras dan mempunyai plastisitas yang tinggi, berwarna coklat. Selanjutnya lapisan keenam pada kedalaman 25 – 36 m yang berciri-ciri tanah liat keras sampai sangat keras serta berwarna coklat. Lapisan terakhir berwarna coklat muda berupa batuan pasir yang sangat padat berada di kedalaman 36 – 40.5 m.

Dari data tersebut juga bisa dilihat bahwa tanah mulai mengeras pada kedalaman antara 25 m sampai 36 m, yaitu pada lapisan keenam. Hal ini bisa disimpulkan berdasarkan jumlah pukulan pada lapisan tersebut yang berkisar antara 21 sampai 60 kali pukulan, sedangkan lapisan selanjutnya mempunyai kekerasan yang lebih dengan jumlah pukulan pada tiap kedalaman melebihi 60 kali. Pada lapisan 1 – 5, jumlah pukulan

berkisar antara 1 sampai 22 kali pukulan, ini berarti tanah di lapisan ini masih bersifat lembut. Sampel tanah diambil pada 2 titik kedalaman masing-masing dengan ketebalan 0,5 m, yaitu pada kedalaman 3,5 – 4 m dan 9,5 – 10 m di bawah tanah.

Dari hasil analisa di atas di ketahui bahwa tanah di daerah ini didominasi oleh tanah lunak berupa tanah liat halus berpasir jenuh air.

Untuk tugas akhir ini data tanah yang digunakan adalah data tanah pada **BH-08** yang dianggap lebih cocok dengan proyek ini karena jaraknya tepat di lokasi proyek serta kedalaman pengeboran melewati kedalaman rencana dari terowongan.

#### 4.3.1 Karakteristik dan Parameter Tanah

Dari data tanah pada BH – 08 didapat 4 lapisan tanah teratas, berikut analisa hasil laboratorium sampel tersebut:

**Tabel 4.1: Karakteristik dan Parameter Tanah dari Laboratorium**

|          |                |                |             |            |   |                |
|----------|----------------|----------------|-------------|------------|---|----------------|
| <b>a</b> | <b>layer 1</b> | <b>(0-4 m)</b> | <b>OH -</b> | <b>MH</b>  |   |                |
|          | $\gamma_{sat}$ | = 1.899        | $t/m^3$     | $G_s$      | = | 2.674          |
|          | $\gamma_d$     | = 1.41         | $t/m^3$     | $e$        | = | 1.185          |
|          | $\phi$         | = 4.13         | °           | $W_c$      | = | 42.76 %        |
|          | $c$            | = 0.457        | $kg/cm^2$   | $S_r$      | = | 96.33 %        |
|          | $q_u$          | = 0.8          | $kg/cm^2$   | $\sigma$   | = | 7.107 $t/m^2$  |
|          | $\phi'$        | = 20.7474      | °           | $c'$       | = | 1.9624 $t/m^2$ |
|          | $\gamma'$      | = 0.899        | $t/m^3$     | $\sigma'$  | = | 5.1804 $t/m^2$ |
|          | $\mu$          | = 0.2          |             | $E$        | = | 6000 KN/m      |
|          |                |                |             | <b>SPT</b> | = | <b>5</b>       |

**b layer 2 (4-6.5 m)**

|                       |          |                    |           |          |                    |
|-----------------------|----------|--------------------|-----------|----------|--------------------|
| $\gamma_{\text{sat}}$ | = 1.875  | t/m <sup>3</sup>   | $\phi$    | = 5.65   | °                  |
| $\gamma_d$            | = 1.43   | t/m <sup>3</sup>   | $e$       | = 1.415  |                    |
| $C_u$                 | = 0.1    | kg/cm <sup>2</sup> | $W_c$     | = 53.8   | %                  |
| $G_s$                 | = 2.638  |                    | $S_r$     | = 100    | %                  |
| $q_u$                 | = 0.2    | kg/cm <sup>2</sup> | $\sigma$  | = 11.795 | t/m <sup>2</sup>   |
| $\phi'$               | = 15.132 | °                  | $c'$      | = 0      | t/m <sup>2</sup>   |
| $\gamma'$             | = 0.875  | t/m <sup>3</sup>   | $\sigma'$ | = 2.7945 | t/m <sup>2</sup>   |
| $\mu$                 | = 0.2    |                    | $c$       | = 0.058  | kg/cm <sup>2</sup> |
|                       |          |                    | $E$       | = 5400   | KN/m               |

**c layer 3 (6.5-13 m)**

|                       |          |                    |           |          |                    |
|-----------------------|----------|--------------------|-----------|----------|--------------------|
| $\gamma_{\text{sat}}$ | = 1.661  | t/m <sup>3</sup>   | $\phi$    | = 1.83   | °                  |
| $\gamma_d$            | = 1.14   | t/m <sup>3</sup>   | $e$       | = 2.08   |                    |
| $C_u$                 | = 0.05   | kg/cm <sup>2</sup> | $W_c$     | = 83.02  | %                  |
| $G_s$                 | = 2.542  |                    | $S_r$     | = 99.83  | %                  |
| $q_u$                 | = 0.1    | kg/cm <sup>2</sup> | $\sigma$  | = 22.591 | t/m <sup>2</sup>   |
| $\phi'$               | = 47.044 | °                  | $c'$      | = 0      | t/m <sup>2</sup>   |
| $\gamma'$             | = 0.661  | t/m <sup>3</sup>   | $\sigma'$ | = 8.6148 | t/m <sup>2</sup>   |
| $\mu$                 | = 0.2    |                    | $c$       | = 0.067  | kg/cm <sup>2</sup> |
|                       |          |                    | $E$       | = 4200   | KN/m               |



**d layer 4 (13-25 m)**

|                       |          |                    |                |                           |
|-----------------------|----------|--------------------|----------------|---------------------------|
| $\gamma_{\text{sat}}$ | = 1.94   | t/m <sup>3</sup>   | Gs             | = 2.658                   |
| $\gamma_d$            | = 1.5    | t/m <sup>3</sup>   | e              | = 1.134                   |
| $\phi$                | = 10     | °                  | W <sub>c</sub> | = 75.33 %                 |
| c                     | = 0.55   | kg/cm <sup>2</sup> | S <sub>r</sub> | = 100 %                   |
| q <sub>u</sub>        | = 1.1    | kg/cm <sup>2</sup> | $\sigma$       | = 45.871 t/m <sup>2</sup> |
| $\phi'$               | = 55.788 | °                  | c'             | = 2.0822 t/m <sup>2</sup> |
| $\gamma'$             | = 0.94   | t/m <sup>3</sup>   | $\sigma'$      | = 22.371 t/m <sup>2</sup> |
| $\mu$                 | = 0.3    |                    | E              | = 24000 KN/m              |
|                       |          |                    | SPT            | = 35                      |

Sumber: Lab. Mekanika Tanah dan Batuan Teknik Sipil ITS

#### 4.4 Perencanaan Alinyemen Horizontal

Perencanaan alinyemen horizontal jalan dalam terowongan ini menggunakan contoh perencanaan pada modul ajar Rekayasa Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil ITS.

Dikarenakan jari-jari tikungan R kecil (119 m) maka direncanakan menggunakan metode spiral-spiral.

##### Perhitungan Panjang Lengkung Peralihan, L<sub>s</sub> (Length Of Spiral)

Lengkung peralihan atau sering disebut lengkung spiral juga merupakan lengkung *spiral clothoid*. Radius pada *spiral clothoid* diawali dari radius yang terhingga sampai dengan radius yang merupakan radius lingkaran. Sesuai dengan nama peralihan, fungsi dari lengkung spiral adalah untuk mengantisipasi perubahan alinemen jalan dari betuk lurus dengan R tak terhingga sampai pada bentuk lengkung dengan R tetap atau untuk menuntun kendaraan dari posisi kemiringan normal (jalan lurus)

ke kemiringan alinemen horisontal (tikungan) sebagaimana fenomena keseimbangan gaya yang diakibatkan adanya gaya sentrifugal. Perhitungan lengkung peralihan,  $L_s$  adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan waktu tempuh di lengkung peralihan.

$$L_s = \frac{Vd * t}{3.6}$$

*dimana :*

$Vd$  = kecepatan rencana, km/jam

$T$  = waktu tempuh di lengkung peralihan, detik (= 3 detik)

2. Berdasarkan landai relatif.

$$L_s \geq (e + e_n) * B * m_{maks}$$

*dimana :*

$L_s$  = panjang lengkung peralihan, m

$e$  = superelevasi, %

$e_n$  = kemiringan melintang normal, %

$B$  = lebar jalur per arah, m

$m_{maks}$  = landai relatif maksimum

Tabel 4.2. Kelandaian relatif maksimum

| AASHTO 1990           |                                     | Bina Marga (Luar Kota) |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Kec. Rencana (km/jam) | Kelandaian relatif maks, $m_{maks}$ | Kec. Rencana (km/jam)  | Kelandaian relatif maks, $m_{maks}$ |
| 32                    | 33                                  | 20                     | 50                                  |
| 48                    | 150                                 | 30                     | 75                                  |
| 64                    | 175                                 | 40                     | 100                                 |
| 80                    | 200                                 | 50                     | 115                                 |
| 88                    | 123                                 | 60                     | 125                                 |
| 96                    | 222                                 | 80                     | 150                                 |
| 104                   | 244                                 | 100                    |                                     |
| 112                   | 250                                 |                        |                                     |

Sumber: Modul ajar mata kuliah Rekayasa Jalan Raya ITS

3. Berdasarkan rumus Modifikasi Shortt.

$$L_s = 0.022 \frac{V^3}{R C} - 2.727 \frac{V e}{C}$$

dimana :

$L_s$  = panjang lengkung peralihan,  $m$

$V$  = kecepatan rencana,  $km/jam$

$R$  = jari-jari tikungan,  $m$

$C$  = perubahan percepatan,  $(0.3 - 0.9 m/dt^3)$

$e$  = superelevasi, %

4. Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian.

$$L_s = \frac{(e_{maks} - e_n) V_d}{3.6 * r_e}$$

dimana :

$L_s$  = panjang lengkung peralihan, m

$E_{maks}$  = superelevasi maksimum, %

$e_n$  = kemiringan melintang normal, %

$V_d$  = kecepatan rencana, km/jam

$R_e$  = tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang jalan,

= 0.035 m/m/detik untuk  $V_d \leq 70$  km/jam

= 0.025 m/m/detik untuk  $V_d \geq 80$  km/jam

Dari ke empat persamaan tersebut, panjang lengkung peralihan,  $L_s$  yang digunakan untuk perencanaan adalah  $L_s$  dengan nilai yang terbesar.

Untuk tugas akhir ini direncanakan alinemen horizontal sbb :

- Kecepatan rencana,  $V_d = 60$  km/jam
- Jari-jari tikungan,  $R = 119$  m
- Sudut tikungan,  $\Delta = 30^\circ$
- Superelevasi normal,  $e_n = 2\%$
- Superelevasi maksimum,  $e_{maks} = 10\%$
- Lebar jalan = 4.3 meter untuk satu arah
- Jalan luar kota

**Perhitungan :**

- $V_d = 60 \text{ km/jam}$

- $R = 119 \text{ m}$

Dari Tabel 4.4 (Bina Marga jalan luar kota), didapat :

- $L_s = 60 \text{ m}$

- $e = 0.100$

$$> \quad \theta_s = \frac{90 L_s}{\pi R}$$

$$\theta_s = \frac{90 * 60}{\pi * 119} = 14,44 \text{ meter}$$

$$> \quad L_c = \frac{(\Delta - 2 \theta_s) * \pi R}{180}$$

$$L_c = \frac{(35 - 2 * 14,44) * \pi * 119}{180} = 12,71 \text{ meter}$$

karena  $e$  lebih besar dari 3% dan  $L_c$  lebih kecil dari 25 meter, maka disarankan menggunakan lengkung *spiral - Spiral*. Sehingga perhitungan parameter lengkung seperti yang disajikan dibawah ini.

$$> \quad \theta_s = \frac{1}{2} \Delta$$

$$\theta_s = \frac{1}{2} 35 = 17.5^\circ$$

$$> \quad \theta_s = \frac{90 L_s}{\pi R} \quad \rightarrow \quad L_s = \frac{\pi R \theta_s}{90}$$

$$L_s = \frac{\pi * 119 * 17.5}{90} = 7269 \text{ meter} \quad \rightarrow \text{cek terhadap}$$

:

**Cara 1**, berdasarkan waktu tempuh di lengkung peralihan

$$L_s = \frac{Vd * t}{3.6} \quad ; t = 3 \text{ detik}$$

$$L_s = \frac{60 * 3}{3.6} = 50 \text{ meter}$$

**Cara 2**, berdasarkan landai relatif

$$L_{s_{\text{min imum}}} = (e + e_n) * B * m_{\text{maks}}$$

$m_{\text{maks}} = 125 \text{ m}$  untuk kecepatan 60 km/jam (Tabel 4.2)

$$L_{s_{\text{min imum}}} = (0.08 + 0.02) * 3.5 * 125 = 43.75 \text{ meter}$$

**Cara 3**, berdasarkan rumus Modifikasi Shortt

$$L_s = 0.022 \frac{V^3}{RC} - 2.727 \frac{V e}{C}$$

$$L_s = 0.022 \frac{60^3}{119 * 0.4} - 2.727 \frac{60 * 0.08}{0.4} = 67.108 \text{ meter}$$

**Cara 4**, berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian

$$L_s = \frac{(e_{maks} - e_n) V d}{3.6 * r_e}$$

$$e_{maks} = 10\%$$

$$r_e = 0.035 \text{ m/m/detik untuk } Vd \leq 70 \text{ km/jam}$$

$$L_s = \frac{(e_{maks} - e_n) V d}{3.6 * r_e}$$

Jadi, dari ke empat cara tersebut maka panjang lengkung peralihan  $L_s$  rencana adalah **72.69 meter**.

$$p = \frac{L_s^2}{6 R} - R (1 - \cos \theta_s)$$

$$p = \frac{72.69^2}{6 * 119} - 119 * (1 - \cos 17.5) = 1.89 \text{ meter}$$

$$> \quad k = Ls - \frac{Ls^3}{40 R^2} - R * \sin \theta_s$$

$$k = 72.69 - \frac{72.69^3}{40 * 119^2} - 119 * \sin 17.5 = 36.228 \text{ meter}$$

$$> \quad Ts = (R + p) * tg \left( \frac{1}{2} \Delta \right) + k$$

$$Ts = (119 + 1.89) * tg \left( \frac{1}{2} * 35 \right) + 36.228 = 74.344 \text{ meter}$$

$$> \quad E = \frac{(R + p)}{\cos \left( \frac{1}{2} \Delta \right)} - R$$

$$E = \frac{119 + 1.89}{\cos \left( \frac{1}{2} * 35 \right)} - 119 = 7.757 \text{ meter}$$



Tabel 4.3: Nilai Superelevasi,  $e$  dan Panjang Lengkung Peralihan,  $L_s$  ( $e_{maks} = 10\%$ , metode AASHTO)

| D<br>(o) | R<br>(m) | V = 50 km/jam |       | V = 60 km/jam |       | V = 70 km/jam |       | V = 80 km/jam |       | V = 90 km/jam |       | V = 100 km/jam |       | V = 120 km/jam |       |
|----------|----------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|          |          | $e$           | $L_s$ | $e$           | $L_s$ | $e$           | $L_s$ | $e$           | $L_s$ | $e$           | $L_s$ | $e$            | $L_s$ | $e$            | $L_s$ |
| 0,25     | 5730     | LN            | 0     | LN            | 0     | LN            | 0     | LN            | 0     | LN            | 0     | LP             | 60    | LP             | 70    |
| 0,50     | 2865     | LN            | 0     | LN            | 0     | LP            | 40    | LP            | 50    | LP            | 50    | 0,021          | 60    | 0,030          | 70    |
| 0,75     | 1910     | LN            | 0     | LP            | 40    | LP            | 40    | 0,020         | 50    | 0,025         | 50    | 0,031          | 60    | 0,044          | 70    |
| 1,00     | 1432     | LP            | 30    | LP            | 40    | 0,021         | 40    | 0,027         | 50    | 0,033         | 50    | 0,040          | 60    | 0,057          | 70    |
| 1,25     | 1146     | LP            | 30    | LP            | 40    | 0,025         | 40    | 0,033         | 50    | 0,040         | 50    | 0,049          | 60    | 0,069          | 80    |
| 1,50     | 955      | LP            | 30    | 0,023         | 40    | 0,030         | 40    | 0,038         | 50    | 0,047         | 50    | 0,057          | 60    | 0,080          | 90    |
| 1,75     | 819      | LP            | 30    | 0,026         | 40    | 0,035         | 40    | 0,044         | 50    | 0,054         | 50    | 0,065          | 60    | 0,090          | 100   |
| 2,00     | 716      | 0,021         | 30    | 0,029         | 40    | 0,039         | 40    | 0,049         | 50    | 0,060         | 50    | 0,072          | 70    | 0,096          | 110   |
| 2,50     | 573      | 0,026         | 30    | 0,036         | 40    | 0,047         | 40    | 0,059         | 50    | 0,072         | 60    | 0,085          | 80    | Dmaks = 2,40   |       |
| 3,00     | 477      | 0,030         | 30    | 0,042         | 40    | 0,055         | 40    | 0,068         | 60    | 0,081         | 70    | 0,094          | 90    |                |       |
| 3,50     | 409      | 0,035         | 30    | 0,048         | 40    | 0,062         | 50    | 0,076         | 60    | 0,089         | 80    | 0,099          | 90    |                |       |
| 4,00     | 358      | 0,039         | 30    | 0,054         | 40    | 0,066         | 50    | 0,082         | 70    | 0,095         | 80    | Dmaks = 3,91   |       |                |       |
| 4,50     | 318      | 0,043         | 30    | 0,059         | 40    | 0,074         | 50    | 0,088         | 60    | 0,099         | 80    |                |       |                |       |
| 5,00     | 286      | 0,048         | 30    | 0,064         | 40    | 0,079         | 60    | 0,093         | 70    | 0,100         | 90    |                |       |                |       |
| 6,00     | 239      | 0,055         | 40    | 0,073         | 50    | 0,088         | 60    | 0,098         | 80    | Dmaks = 5,12  |       |                |       |                |       |
| 7,00     | 205      | 0,062         | 40    | 0,080         | 50    | 0,094         | 70    | Dmaks = 6,82  |       |               |       |                |       |                |       |
| 8,00     | 179      | 0,068         | 40    | 0,086         | 60    | 0,098         | 70    |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 9,00     | 159      | 0,074         | 50    | 0,091         | 60    | 0,099         | 70    |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 10,00    | 143      | 0,079         | 50    | 0,095         | 60    | Dmaks = 9,12  |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 11,00    | 130      | 0,083         | 50    | 0,098         | 60    |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 12,00    | 119      | 0,087         | 50    | 0,100         | 60    |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 13,00    | 110      | 0,091         | 60    | Dmaks = 12,79 |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 14,00    | 102      | 0,093         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 15,00    | 95       | 0,096         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 16,00    | 90       | 0,097         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 17,00    | 84       | 0,099         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 18,00    | 80       | 0,099         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |
| 19,00    | 75       | Dmaks = 18,83 |       |               |       |               |       |               |       |               |       |                |       |                |       |

**Keterangan:**  
 LN = lengkung jalan normal diasumsikan = 2 %  
 LP = lengkung luar diputar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lengkung jalan normal = 2 %  
 L<sub>s</sub> = diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi Shortt, landai relatif maksimum (gambar 12), jarak tempuh 2 detik, dan lebar perkerasan 2 x 3,75 m.

Sumber: Modul mata kuliah Rekayasa Jalan Raya ITS

Tabel 4.4: Nilai Superelevasi,  $e$  dan Panjang Lengkung Peralihan,  $L_s$  ( $e_{maks} = 10\%$ , metode BINA MARGA)

| D<br>(o) | R<br>(m) | V = 50 km/jam |       | V = 60 km/jam |       | V = 70 km/jam |       | V = 80 km/jam |       | V = 90 km/jam |       |
|----------|----------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
|          |          | e             | $L_s$ | e             | $L_s$ | e             | $L_s$ | e             | $L_s$ | e             | $L_s$ |
| 0,250    | 5730     | LN            | 0     | LN            | 0     | LN            | 0     | LN            | 0     | LN            | 0     |
| 0,500    | 2865     | LN            | 0     | LN            | 0     | LP            | 60    | LP            | 70    | LP            | 75    |
| 0,750    | 1910     | LN            | 0     | LP            | 50    | LP            | 60    | 0,020         | 70    | 0,025         | 75    |
| 1,000    | 1432     | LP            | 45    | LP            | 50    | 0,021         | 60    | 0,027         | 70    | 0,033         | 75    |
| 1,250    | 1144     | LP            | 45    | LP            | 50    | 0,025         | 60    | 0,033         | 70    | 0,040         | 75    |
| 1,500    | 953      | LP            | 45    | 0,023         | 50    | 0,030         | 60    | 0,038         | 70    | 0,047         | 75    |
| 1,750    | 819      | LP            | 45    | 0,026         | 50    | 0,035         | 60    | 0,044         | 70    | 0,054         | 75    |
| 2,000    | 716      | LP            | 45    | 0,029         | 50    | 0,039         | 60    | 0,049         | 70    | 0,060         | 75    |
| 2,500    | 573      | 0,026         | 45    | 0,036         | 50    | 0,047         | 60    | 0,059         | 70    | 0,072         | 75    |
| 3,000    | 477      | 0,030         | 45    | 0,042         | 50    | 0,055         | 60    | 0,068         | 70    | 0,081         | 75    |
| 3,500    | 409      | 0,035         | 45    | 0,048         | 50    | 0,062         | 60    | 0,076         | 70    | 0,089         | 75    |
| 4,000    | 358      | 0,039         | 45    | 0,054         | 50    | 0,068         | 60    | 0,082         | 70    | 0,095         | 75    |
| 4,500    | 318      | 0,043         | 45    | 0,059         | 50    | 0,074         | 60    | 0,088         | 70    | 0,099         | 75    |
| 5,000    | 286      | 0,048         | 45    | 0,064         | 50    | 0,079         | 60    | 0,093         | 70    | 0,100         | 75    |
| 6,000    | 239      | 0,055         | 45    | 0,073         | 50    | 0,088         | 60    | 0,098         | 70    | Dmaks = 5,12  |       |
| 7,000    | 205      | 0,062         | 45    | 0,080         | 50    | 0,094         | 60    | Dmaks = 6,62  |       |               |       |
| 8,000    | 179      | 0,068         | 45    | 0,086         | 50    | 0,098         | 60    |               |       |               |       |
| 9,000    | 159      | 0,074         | 45    | 0,091         | 50    | 0,099         | 60    |               |       |               |       |
| 10,000   | 143      | 0,079         | 45    | 0,095         | 60    | Dmaks = 9,12  |       |               |       |               |       |
| 11,000   | 130      | 0,083         | 45    | 0,098         | 60    |               |       |               |       |               |       |
| 12,000   | 119      | 0,087         | 45    | 0,100         | 60    |               |       |               |       |               |       |
| 13,000   | 110      | 0,091         | 50    | Dmaks = 12,79 |       |               |       |               |       |               |       |
| 14,000   | 102      | 0,093         | 50    |               |       |               |       |               |       |               |       |
| 15,000   | 95       | 0,096         | 50    |               |       |               |       |               |       |               |       |
| 16,000   | 90       | 0,097         | 50    |               |       |               |       |               |       |               |       |
| 17,000   | 84       | 0,099         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |
| 18,000   | 80       | 0,099         | 60    |               |       |               |       |               |       |               |       |
| 19,000   | 75       | Dmaks = 18,83 |       |               |       |               |       |               |       |               |       |

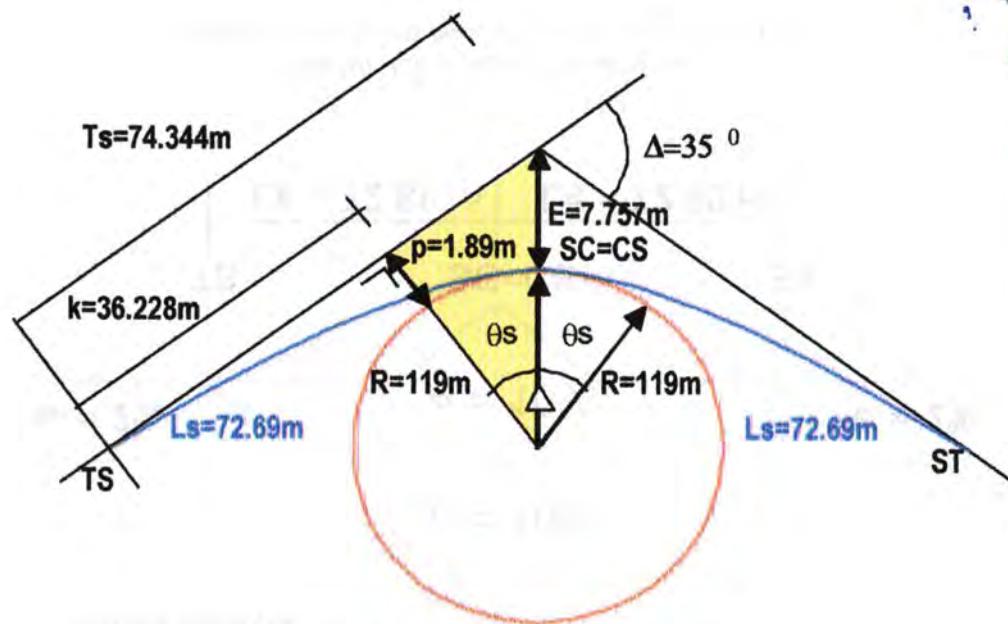
Keterangan:

LN = lereng jalan normal diasumsikan = 2 %

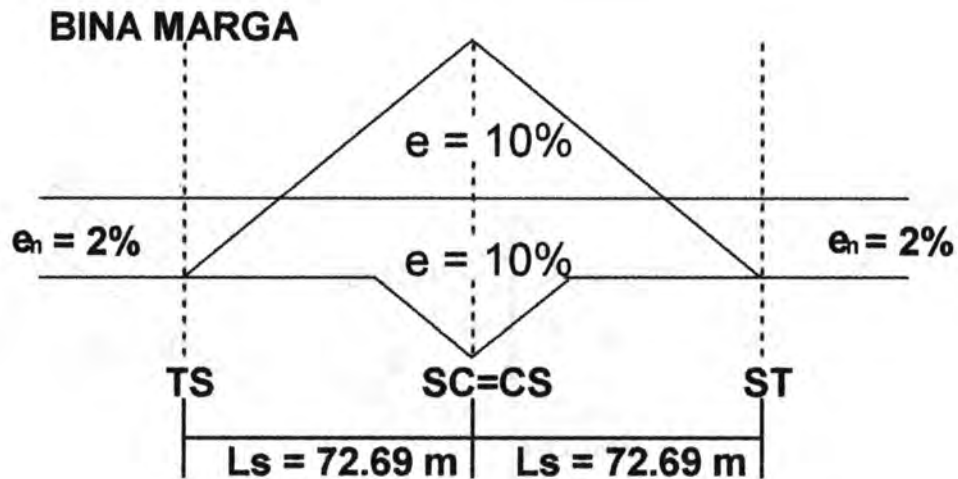
LP = lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jalan normal = 2 %.

$L_s$  = diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi Shortt, lairai relatif maksimum (gambar 12), jarak tempuh 2 detik, dan lebar perkerasan  $2 \times 3,75$  m.

Sumber: Modul mata kuliah Rekayasa Jalan Raya ITS



**Gambar 4.2: Lengkung spiral-spiral**  
 Sumber: Modul mata kuliah Rekayasa Jalan Raya ITS



**Gambar 4.3: Diagram Superelevasi**  
*Sumber: Modul mata kuliah Rekayasa Jalan Raya ITS*

#### 4.5 Penentuan Dimensi Awal dan Letak

Dimensi terowongan ditentukan berdasarkan jenis kendaraan yang lewat yang berhubungan dengan ukuran kendaraan. Untuk kendaraan ini direncanakan hanya dilewati oleh kendaraan pribadi dan atau minibus. Karena kendaraan jenis ini paling banyak melewati jalan lama sehingga berpengaruh terhadap kemacetan di daerah tersebut. Data jumlah kendaraan yang direncanakan melewati terowongan bisa dilihat pada tabel 4.5. Yang paling menentukan ukuran dari terowongan adalah dimensi kendaraan yang melewati terowongan serta clearance yang di ijinakan minimal sesuai peraturan.

Tebal lining direncanakan setebal 50 cm sedangkan pelat lantai direncanakan setebal 40 cm. Lebar jalan 4.3 m, ditambah dengan trotoar dikedua sisi jalan selebar masing-masing 1 m. Jarak vertikal antara atap dan lantai menjadi 5 m. Trotoar mempunyai ketebalan 20 cm dari atas pelat. Ketebalan ini untuk mengantisipasi tambahan lapisan aspal. Direncanakan juga lubang-lubang air untuk mengalirkan air dari jalan ke saluran air di bawah pelat jalan.

Pada permulaan underpass akan dipasang saluran yang akan mengakomodasi jumlah air yang melimpah dari hujan menuju saluran di bawah underpass dan dari sana akan dipompa ke atas menuju saluran pembuangan.

**Tabel 4.5: Data Traffic Counting Kendaraan dari Arah Sidoarjo ke Jemur Sari**

| LOKASI : JL. A. YANI (DUNDARAN BOLOG) |                              | SKET LOKASI                                  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
|---------------------------------------|------------------------------|--|------------------------|--------------------------------|-------------|--------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| TANGGAL : 25 NOVEMBER 2005            |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| PERIODE : 06.00 - 08.00 WIB           |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| CUACA : CERAH, BESAR/AM, HEMBUNG      |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| SUYEVOR : DOMASARDI                   |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| ARAH : Dari Perak ke Timur            |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| JAM<br>WAKTU                          | NO. KEND.<br>SEPEDA<br>MOTOR | PIVOT<br>PRIBADI<br>(KEEP/TAXI<br>SARJANAMA) | PICK<br>UP/DOX<br>KECH | PIVOT<br>UMUM<br>(MINI<br>BUS) | BUS<br>MINI | BUS<br>BESAR | TRUK<br>KECH/<br>DOX | TRUK<br>KECH/<br>DOX | TRUK<br>BESAR/<br>DOX [2] | TRUK<br>BESAR/<br>DOX [3] | SKRUP/GER<br>ODAK/<br>ODAK |
| 06.00-01.05                           | 672                          | 48   | 0                      | 1                              | 0           | 2            | 0                    | 2                    | 0                         | 0                         | 2                          |
| 06.01-03.00                           | 279                          | 56   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 5                          |
| 06.03-04.05                           | 231                          | 48   | 3                      | 3                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 4                          |
| 06.04-07.00                           | 267                          | 53   | 1                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 4                          |
| 06.07-07.05                           | 341                          | 35   | 2                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 2                    | 0                         | 0                         | 7                          |
| 06.07-07.30                           | 342                          | 34   | 2                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 5                          |
| 06.07-07.45                           | 360                          | 35   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 4                          |
| 06.07-08.00                           | 353                          | 38   | 7                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 6                          |
| 06.08-08.05                           | 329                          | 32   | 0                      | 0                              | 0           | 2            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 4                          |
| 06.08-08.30                           | 328                          | 187  | 7                      | 3                              | 0           | 0            | 0                    | 2                    | 0                         | 0                         | 6                          |
| 06.08-08.45                           | 333                          | 135  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 2                    | 0                    | 0                         | 0                         | 3                          |
| 06.08-09.00                           | 363                          | 167  | 5                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 2                         | 2                         | 2                          |
| 06.08-09.05                           | 280                          | 125  | 0                      | 0                              | 0           | 3            | 0                    | 0                    | 0                         | 2                         | 2                          |
| 06.09-09.30                           | 283                          | 134  | 0                      | 2                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 2                          |
| 06.09-09.45                           | 276                          | 195  | 0                      | 2                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 1                          |
| 06.09-10.00                           | 285                          | 150  | 0                      | 0                              | 0           | 3            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 3                          |
| 06.09-10.05                           | 266                          | 129  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 3                          |
| 06.09-10.30                           | 233                          | 134  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 1                    | 2                         | 0                         | 3                          |
| 06.09-10.45                           | 221                          | 127  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 1                          |
| 06.09-11.00                           | 228                          | 141  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-11.05                           | 233                          | 130  | 0                      | 2                              | 0           | 2            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-11.30                           | 228                          | 133  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-11.45                           | 240                          | 148  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-12.00                           | 281                          | 166  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-12.05                           |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| 06.09-12.30                           | 229                          | 133  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 3                          |
| 06.09-12.45                           | 240                          | 149  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 4                          |
| 06.09-13.00                           | 243                          | 183  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-13.05                           | 280                          | 149  | 0                      | 2                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-13.30                           | 250                          | 149  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 3                          |
| 06.09-13.45                           | 255                          | 130  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-14.00                           | 227                          | 124  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 7                          |
| 06.09-14.05                           | 193                          | 38   | 0                      | 2                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-14.30                           | 232                          | 158  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-14.45                           | 227                          | 183  | 0                      | 0                              | 0           | 2            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-15.00                           | 245                          | 183  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-15.05                           |                              |  |                        |                                |             |              |                      |                      |                           |                           |                            |
| 06.09-15.30                           | 232                          | 143  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-15.45                           | 284                          | 32   | 0                      | 2                              | 0           | 2            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-16.00                           | 327                          | 185  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-16.05                           | 269                          | 88   | 0                      | 2                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-16.30                           | 332                          | 130  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-16.45                           | 383                          | 12   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-17.00                           | 375                          | 52   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-17.05                           | 343                          | 58   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-17.30                           | 430                          | 24   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-17.45                           | 345                          | 5  | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
| 06.09-18.00                           | 340                          | 19   | 0                      | 0                              | 0           | 0            | 0                    | 0                    | 0                         | 0                         | 0                          |
|                                       | 13116                        | 4118   | 371                    | 45                             | 12          | 70           | 12                   | 219                  | 17                        | 28                        | 154                        |

Sumber: Lab. Perhubungan Teknik Sipil ITS

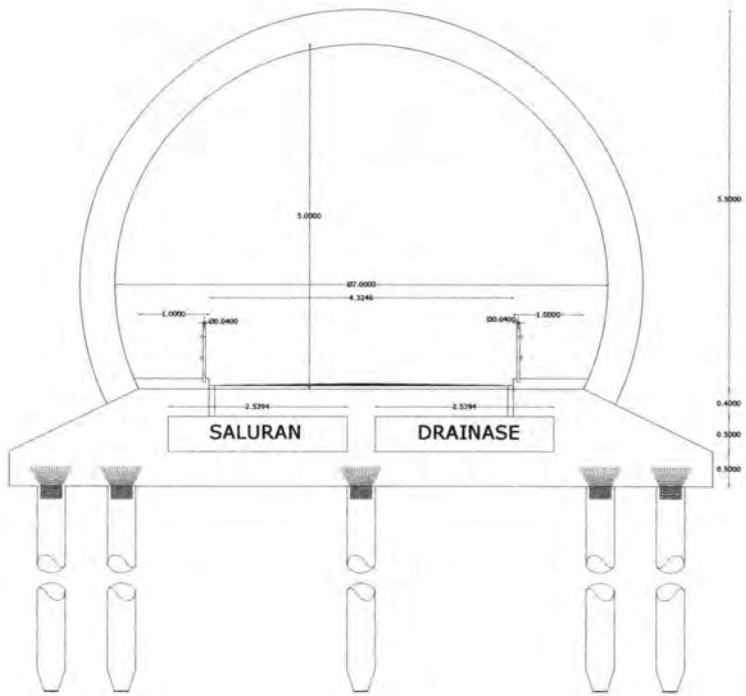
Perencanaan terowongan ini akan menggunakan bentuk circular. Alasan dipilihnya bentuk ini berdasarkan pertimbangan pelaksanaannya akan menggunakan *TBM* yang mempunyai bentuk circular serta pertimbangan kondisi geologis lokasi setempat. Sedangkan data-data awal terowongan yang direncanakan sebagai berikut:

|   |         |
|---|---------|
| Panjang (L)                               | : 660 m |
| Diameter dalam (d)                        | : 7 m   |
| Diameter luar (D)                         | : 8 m   |
| Tebal lining beton (tl)                   | : 0.5 m |
| Tebal plat beton jalan (tj)               | : 0.4 m |
| Tebal support jalan (ts)                  | : 0.4 m |
| Radius tikungan (R)                       | : 119 m |
| Jarak perm. terowongan ke perm. tanah (H) | : 4 m   |



**Gambar 4.4: Rencana penampang melintang terowongan dengan TBM**

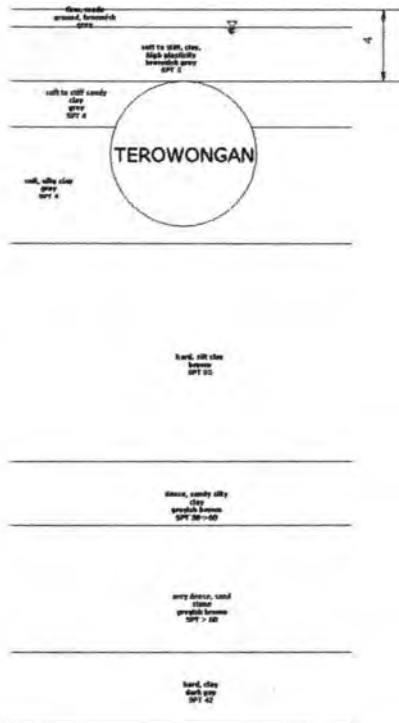
*Sumber: Analisa penulis*



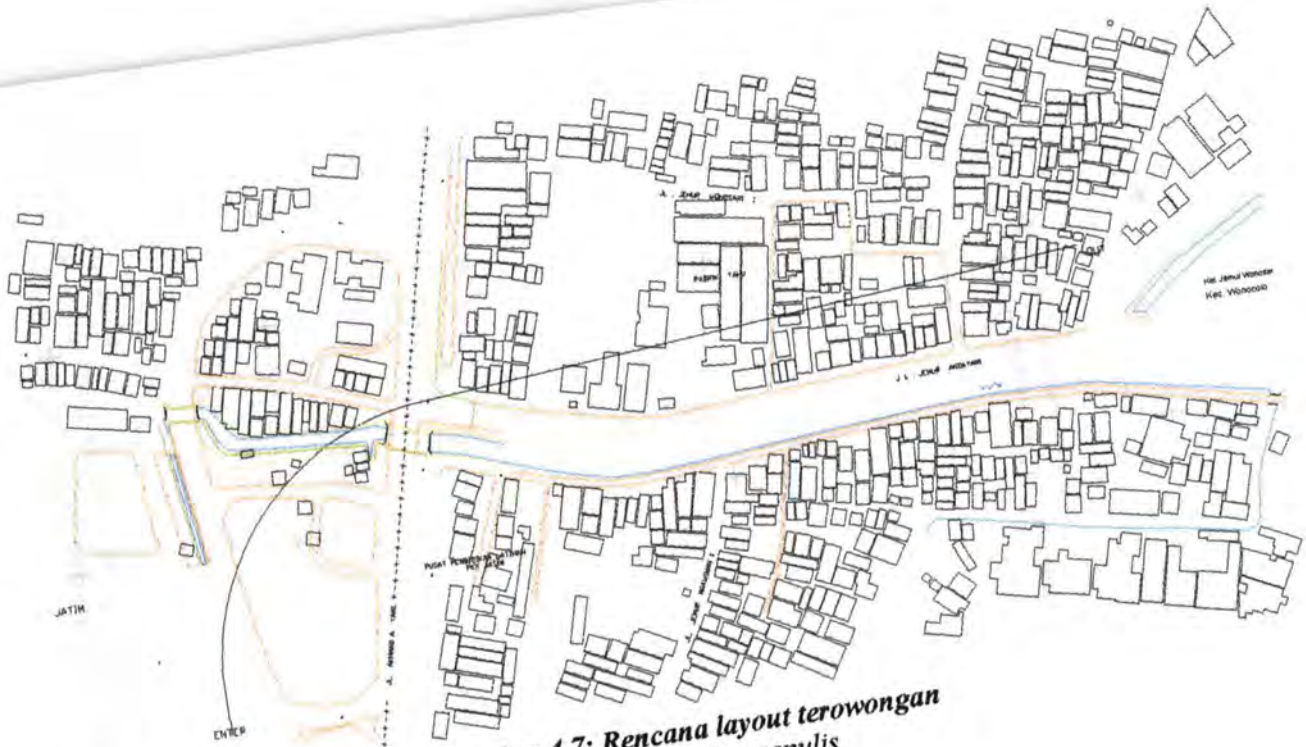
**Gambar 4.5: Rencana penampang melintang terowongan dengan pancang**  
 Sumber: Analisa penulis



Sedangkan posisi tunnel direncanakan diletakkan pada kedalaman 4 – 12 m dari permukaan tanah. Untuk lebih jelas lihat gambar di bawah ini:



**Gambar 4.6: Perencanaan kedalaman tunnel**  
**Sumber: Analisa penulis**



**Gambar 4.7: Rencana layout terowongan**  
Sumber: Analisa penulis

## 6 Analisa Pembebanan

Beban-beban yang dipikul oleh struktur terowongan antara lain:

1. beban overburden tanah + aspal
2. beban sendiri terowongan
3. beban surcharge
  - a. beban jalan raya
  - b. beban kereta api
  - c. beban bangunan existing

Beban-beban di atas yang akan mengakibatkan terjadinya tekanan vertikal dan lateral yang digunakan untuk perhitungan struktur nantinya.

### 4.6.1 Tekanan Vertikal

#### 1. Beban Overburden Tanah + Aspal

Beban ini diderita langsung oleh lining bagian atas dari struktur terowongan dan secara langsung mengakibatkan tekanan vertikal.

a. MAT -01.00 m

$$P_v = H \times y_w + h \times y_t + t_{aspal} \times \gamma_{aspal}$$

$$P_v = (3 \times 1) + (1 \times 1.41) + (3 \times 0.889) + (0.1 \times 2.2)$$

$$P_v = 7,297 \text{ ton/m}^2$$

b. MAT 00.00 m

$$P_v = H \times y_w + h \times y_t + t_{aspal} \times \gamma_{aspal}$$

$$P_v = (4 \times 1) + (4 \times 0.889) + (0.1 \times 2.2)$$

$$P_v = 7,776 \text{ ton/m}^2$$

ket :

$p_v$  : tekanan vertikal ( $\text{ton/m}^2$ )

- $H$  : tinggi air tanah dari lining atas (m)  
 $h$  : tebal tanah di atas terowongan (m)  
 $\gamma_w$  : massa jenis air ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )  
 $\gamma_i$  : massa jenis tanah di lapisan tsb. ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

## 2. Beban Sendiri Terowongan

$$\begin{aligned}
 q &= (\gamma_{\text{beton}} \times L \text{ lining}) / B \\
 q &= 2.4 \text{ t}/\text{m}^3 \times 0.25 \times 3.14 \times (8^2 - 7^2) \text{ m} \\
 q &= 3.5325 \text{ ton}/\text{m}^2
 \end{aligned}$$

ket:

- $q$  : tekanan akibat beban sendiri ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )  
 $\gamma_{\text{beton}}$  : berat jenis beton ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )  
 $t_l$  : tebal lining terowongan (m)

## 3. Beban Surcharge.

### a. Beban Jalan Raya

Beban jalan raya di atas permukaan tanah adalah  $1.2 \text{ ton}/\text{m}^2$ , efeknya pada kedalaman 7 m pada tanah lempung berdasarkan tabel 2.1 adalah  $366 \text{ kg}/\text{m}^2$  (diambil nilai pada kedalaman 10 ft atau kira-kira 3 m)

### b. Beban Kereta Api (Iman Handiman, Ahmad Rifa'i, Suryo Hapsoro Tri Utomo, 2006)

Berat kereta api penumpang berdasarkan morlok yaitu 60-75 ton, untuk amannya kita ambil 75 ton. Dengan panjang 85 ft atau 26 m serta diasumsikan lebarnya 4 m. Jumlah tempat duduknya 120-165 buah, untuk pembebanan diambil 165 tempat duduk dengan asumsi berat setiap penumpang 60 kg.

$$P_s = 75 + (0.06 \times 165)$$

$$P_s = 84.9 \text{ ton} / (26 \times 4)$$

$$P_s = 0.8 \text{ ton/m}^2$$

Berdasarkan (utomo,2004),

$$P_d = P_s \times I_p$$

$$I_p = 1 + 0.01 (v/1.609-5)$$

Direncanakan kecepatan kereta 100 km/jam

$$I_p = 1 + 0.01 (100/1.609-5)$$

$$I_p = 0.7$$

Jadi,

$$P_d = 0.8 \times 0.7$$

$$P_d = 0.57 \text{ ton/m}^2 \text{ atau } 570 \text{ kg/m}^2$$

Ket:

$P_s$  = tekanan statis kereta api (ton/m<sup>2</sup>)

$P_d$  = tekanan dinamis kereta api (ton/m<sup>2</sup>)

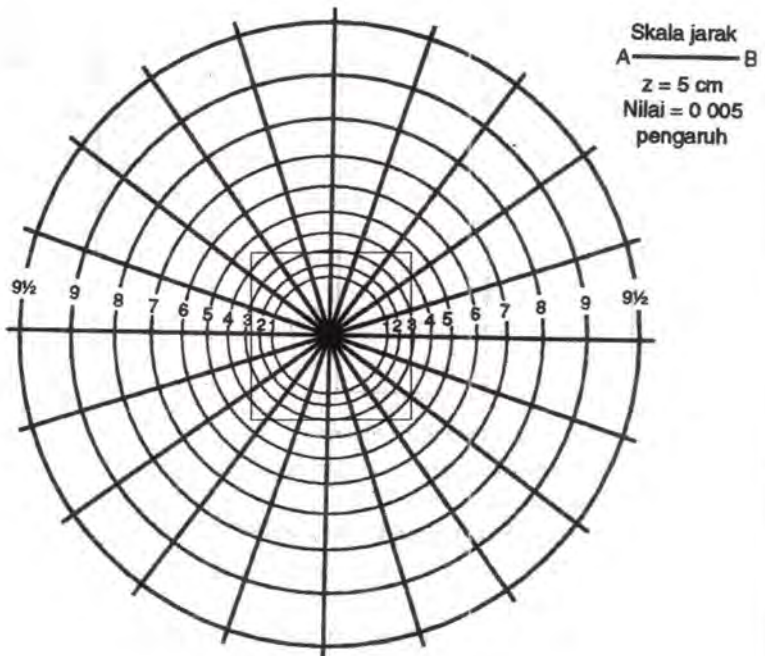
$I_p$  = faktor dinamis

$V$  = kecepatan rencana (km/jam)

c. Beban Bangunan Existing (*Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1967*)

Berdasarkan hasil survey di lapangan menyatakan bahwa jenis bangunan yang ada didominasi oleh rumah-rumah penduduk yang terbuat dari beton dan maksimal terdiri dari 2 lantai. Diestimasikan beban yang diterima oleh dinding atas terowongan berdasarkan diagram pengaruh (Newmark 1942) merupakan beban terbagi rata sebesar 3 ton/m<sup>2</sup>. Beban dimodelkan berbentuk persegi dengan luasan 10 x 10 m<sup>2</sup>, dan pusat beban tepat berada di atas terowongan agar terowongan mendapatkan beban yang maksimum.

Langkah pertama dalam perhitungan adalah membuat gambar tiruan bangunan tersebut pada kertas tipis dengan skala sedemikian rupa sehingga kedalaman 3 m sama dengan jarak AB pada diagram. Kemudian kita letakkan gambar tiruan tersebut di atas diagram sehingga titik pusat bangunan (beban) tepat berada di titik pusat diagram lingkaran Newmark dan kita hitung jumlah daerah pengaruh yang dilingkupi oleh daerah pembebanan bangunan.



**Gambar 4.8: Newmark Diagram**

Sumber: Mekanika Tanah 2 dan analisa penulis

Dari diagram di atas didapatkan jumlah daerah pengaruh yang dilingkupi oleh beban adalah 66, jadi tekanan di bawahnya adalah  $66 \times 0.005 \times 3 = 0.99 \text{ ton/m}^2$  atau  $990 \text{ kg/m}^2$ .

4. Tekanan ke atas dan uplift air  
Tekanan ke atas dihitung berdasarkan perumusan Tsimbaryevitch:

$$E = E_a - E_p$$

$$= \frac{1}{2} \gamma x(x + 2H) \tan^2 (45^\circ - \phi/2) - \frac{1}{2} \gamma x^2 \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$7 \text{ m} = H \frac{\tan^2 (45^\circ - 1.83/2)}{\tan^2 (45^\circ + 1.83/2) - \tan^2 (45^\circ - 1.83/2)}$$

$$H = 0.97 \text{ m}$$

$$= (0.5 \times 1.661 \times 1.83(1.83 + 1.94) \times 0.94) -$$

$$(0.5 \times 1.661 \times 1.83^2 \times 0.94)$$

$$= (5.386) - (2.614)$$

$$= 2.772 \text{ t/m}$$

$$= 2.772 / 8$$

$$= 0.3465 \text{ t/m}^2$$

$$T = E \frac{\sin (45^\circ - \phi/2)}{\cos \phi}$$

$$T = 0.3465 \text{ t/m}^2 \frac{\sin (45^\circ - 1.83^\circ/2)}{\cos 1.83^\circ}$$

$$= 0.24 \text{ t/m}^2$$

$$T_0 = 2T \sin (45^\circ - \phi / 2)$$

$$T_0 = 2 \cdot (0.24) \sin (45^\circ - 10^\circ / 2)$$

$$T_0 = 0.34 \text{ t/m}^2$$

*Ket:*  $T_0$  = Tekanan bekerja dari bawah rongga ( $\text{t/m}^2$ )

$x$  = kedalaman tunnel (m)

$\gamma$  = berat jenis tanah ( $\text{t/m}^3$ )

$\phi$  = sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )

$H$  = tinggi kolom tanah di samping rongga (m)

Besarnya uplift air merupakan tekanan massa air pada kedalaman dasar terowongan:

Contoh perhitungan diambil kedalaman 11 m:

$$T_0 = H x \gamma_w$$

$$T_0 = 11 \text{ m} x 1.0 \text{ t/m}^3$$

$$T_0 = 11 \text{ t/m}^2$$

*Ket:*  $T_0$  = uplift air ( $\text{t/m}^2$ )

$H$  = kedalaman (m)

$\gamma_w$  = berat jenis air ( $\text{t/m}^3$ )

#### 5. Beban dari mesin TBM

Mesin TBM yang dipergunakan direncanakan berbobot maksimum 300 ton dengan panjang dari cutterhead sampai tail shield 6 m dengan lebar 9 m. Dengan perincian tersebut maka tekanan yang diberikan oleh mesin adalah:

$$P_v = 300 \text{ ton} / 54 \text{ m}^2$$

$$P_v = 5.56 \text{ t/m}^2$$



## 6.2 Tekanan Lateral

Tekanan lateral dapat ditentukan dari tekanan vertikal berdasarkan Rankine.

Kondisi tanah aktif menurut Rankine:

$$\sigma_a = \gamma z \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_a = \sigma_v \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad , \text{ cohesionless soil, } c = 0$$

Koefisien tekanan tanah aktif ( $K_a$ ):

layer 1

$$K_a = \tan^2 \left[ 45 - \frac{\phi}{2} \right] = 0.866$$

layer 2

$$K_a = \tan^2 \left[ 45 - \frac{\phi}{2} \right] = 0.821$$

layer 3

$$K_a = \tan^2 \left[ 45 - \frac{\phi}{2} \right] = 0.938$$

layer 4

$$K_a = \tan^2 \left[ 45 - \frac{\phi}{2} \right] = 0.948$$

**Tabel 4.6: Tekanan tanah ke samping perkedalaman MAT - 01.00 m**

| H<br>(m) | $K_a$ | $\gamma$    | $\gamma_w$  | $\sigma_h$  | $\sigma_w$  | $\sigma_a$ (total) |
|----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
|          |       | ( $t/m^3$ ) | ( $t/m^3$ ) | ( $t/m^2$ ) | ( $t/m^2$ ) | ( $t/m^2$ )        |
| 0        | 0.866 | 0.899       | 1           | 0           | 0           | 0                  |
| 1        | 0.866 | 0.899       | 1           | 0.778       | 0           | 0.778              |
| 1        | 0.866 | 0.899       | 1           | 0.778       | 0           | 0.778              |
| 2        | 0.866 | 0.899       | 1           | 1.556       | 1           | 2.556              |
| 3        | 0.866 | 0.899       | 1           | 2.334       | 2           | 4.334              |
| 4        | 0.866 | 0.899       | 1           | 3.113       | 3           | 6.113              |
| 4        | 0.821 | 0.875       | 1           | 2.873       | 3.001       | 5.874              |
| 5        | 0.821 | 0.875       | 1           | 3.590       | 4           | 7.590              |
| 6        | 0.821 | 0.875       | 1           | 4.308       | 5           | 9.308              |
| 6.5      | 0.821 | 0.875       | 1           | 4.667       | 5.5         | 10.167             |
| 6.5      | 0.938 | 0.661       | 1           | 4.032       | 5.501       | 9.533              |
| 7        | 0.938 | 0.661       | 1           | 4.341       | 6           | 10.341             |
| 8        | 0.938 | 0.661       | 1           | 4.961       | 7           | 11.961             |
| 9        | 0.938 | 0.661       | 1           | 5.582       | 8           | 13.582             |
| 10       | 0.938 | 0.661       | 1           | 6.202       | 9           | 15.202             |
| 11       | 0.938 | 0.661       | 1           | 6.822       | 10          | 16.822             |
| 12       | 0.938 | 0.661       | 1           | 7.442       | 11          | 18.442             |
| 13       | 0.938 | 0.661       | 1           | 8.062       | 12          | 20.062             |
| 13       | 0.704 | 0.940       | 1           | 8.605       | 12.001      | 20.606             |
| 14       | 0.704 | 0.940       | 1           | 9.266       | 13          | 22.266             |
| 15       | 0.704 | 0.940       | 1           | 9.928       | 14          | 23.928             |

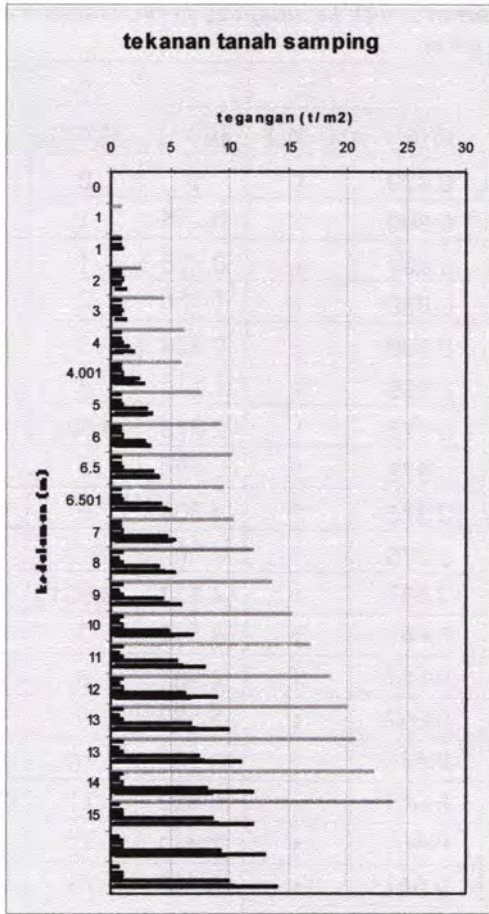
Sumber: Analisa penulis

Tabel 4.7: Tekanan tanah ke samping perkedalaman MAT  
00.00 m

| H<br>(m) | $K_a$ | $\gamma$    | $\gamma_w$  | $\sigma_h$  | $\sigma_w$  | $\sigma_a$ (total) |
|----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
|          |       | ( $t/m^3$ ) | ( $t/m^3$ ) | ( $t/m^2$ ) | ( $t/m^2$ ) | ( $t/m^2$ )        |
| 0        | 0.866 | 0.899       | 1           | 0           | 0           | 0                  |
| 1        | 0.866 | 0.899       | 1           | 0.778       | 1           | 1.778              |
| 1        | 0.866 | 0.899       | 1           | 0.778       | 1           | 1.778              |
| 2        | 0.866 | 0.899       | 1           | 1.556       | 2           | 3.556              |
| 3        | 0.866 | 0.899       | 1           | 2.334       | 3           | 5.334              |
| 4        | 0.866 | 0.899       | 1           | 3.113       | 4           | 7.113              |
| 4        | 0.821 | 0.875       | 1           | 2.873       | 4.001       | 6.874              |
| 5        | 0.821 | 0.875       | 1           | 3.590       | 5           | 8.590              |
| 6        | 0.821 | 0.875       | 1           | 4.308       | 6           | 10.308             |
| 6.5      | 0.821 | 0.875       | 1           | 4.667       | 6.5         | 11.167             |
| 6.5      | 0.938 | 0.661       | 1           | 4.032       | 6.501       | 10.533             |
| 7        | 0.938 | 0.661       | 1           | 4.341       | 7           | 11.341             |
| 8        | 0.938 | 0.661       | 1           | 4.961       | 8           | 12.961             |
| 9        | 0.938 | 0.661       | 1           | 5.582       | 9           | 14.582             |
| 10       | 0.938 | 0.661       | 1           | 6.202       | 10          | 16.202             |
| 11       | 0.938 | 0.661       | 1           | 6.822       | 11          | 17.822             |
| 12       | 0.938 | 0.661       | 1           | 7.442       | 12          | 19.442             |
| 13       | 0.938 | 0.661       | 1           | 8.062       | 13          | 21.062             |
| 13       | 0.704 | 0.940       | 1           | 8.605       | 13.001      | 21.606             |
| 14       | 0.704 | 0.940       | 1           | 9.266       | 14          | 23.266             |
| 15       | 0.704 | 0.940       | 1           | 9.928       | 15          | 24.928             |

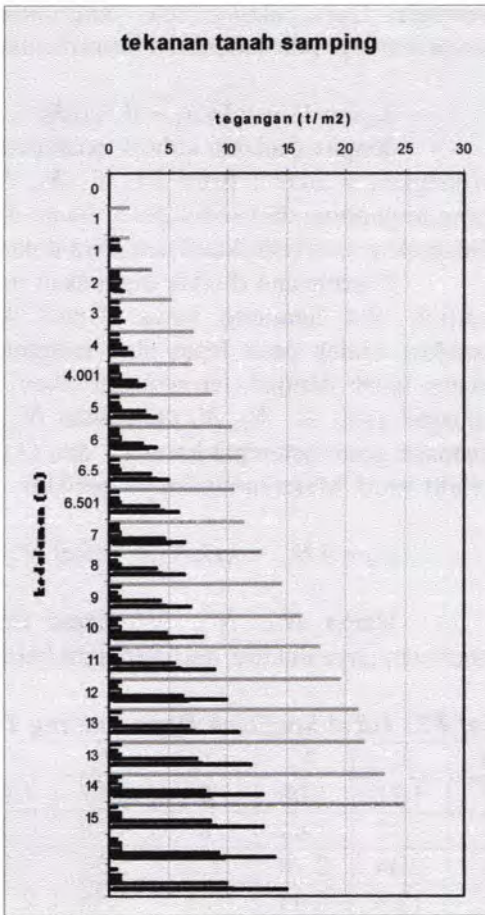
Sumber: Analisa penulis





**Grafik 4.1: Tegangan tanah ke samping vs kedalaman pada MAT -01.00 m**  
Sumber: Analisa penulis

Handwritten notes and a stamp at the bottom of the page, including the number 817.



**Grafik 4.2: Tekanan tanah ke samping vs kedalaman pada MAT 00.00 m**

*Sumber: Analisa penulis*

## 7 Analisa Daya Dukung Tanah

Untuk menghitung daya dukung tanah terhadap terowongan digunakan persamaan yang diberikan oleh

Terzaghi. Daya dukung batas yang dapat diberikan oleh tanah untuk pondasi menerus lurus dengan lebar B :

$$q_{ult} = c.N_c + \gamma.D_f.N_q + 0.5\gamma B.N_\gamma$$

dengan  $c$  adalah kohesi tanah penyangga pondasi, sedangkan  $\gamma$  adalah berat isi.  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  adalah fungsi yang tergantung dari sudut geser dalam dari tanah itu, dan dinamakan koefisien-koefisien daya dukung.

Persamaan di atas digunakan untuk pasir padat, kerikil, dan lempung keras. Untuk keadaan dimana pondasi adalah pasir lepas atau lempung buruk sebagai mana tanah tempat terowongan akan dibangun maka sebagai ganti  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  digunakan  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  untuk keadaan geser setempat karena  $c$  dan  $\emptyset$  pada keadaan ini relatif kecil. Maka rumusnya menjadi:

$$q_{ult} = c.N'_c + \gamma.D_f.N'_q + 0.5\gamma B.N'_\gamma$$

Harga  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  dapat dilihat dari tabel koefisien daya dukung dari Terzaghi berikut:

**Tabel 4.8: Tabel Koefisien Daya Dukung Terzaghi**

| $\emptyset$ | $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | $N'_c$ | $N'_q$ | $N'_\gamma$ |
|-------------|-------|-------|------------|--------|--------|-------------|
| $0^\circ$   | 5.71  | 1.00  | 0          | 3.81   | 1.00   | 0           |
| $5^\circ$   | 7.32  | 1.64  | 0          | 4.48   | 1.39   | 0           |
| $10^\circ$  | 9.64  | 2.70  | 1.2        | 5.34   | 1.94   | 0           |
| $15^\circ$  | 12.8  | 4.44  | 2.4        | 6.46   | 2.73   | 1.2         |
| $20^\circ$  | 17.7  | 7.43  | 4.6        | 7.90   | 3.88   | 2.0         |
| $25^\circ$  | 25.1  | 12.7  | 9.2        | 9.86   | 5.60   | 3.3         |
| $30^\circ$  | 37.2  | 22.5  | 20.0       | 12.7   | 8.32   | 5.4         |
| $35^\circ$  | 57.8  | 41.4  | 44.0       | 16.8   | 12.8   | 9.6         |
| $40^\circ$  | 95.6  | 81.2  | 114.0      | 23.2   | 20.5   | 19.1        |
| $45^\circ$  | 172   | 173   | 320        | 34.1   | 35.1   | 27.0        |

Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi

Dengan harga  $\emptyset$  tanah untuk perencanaan terowongan adalah 1.83 maka:

$$* \quad N'_c = \frac{4.48 - 3.81}{5} \times 1.83 + 3.81$$

$$N'_c = 4.0547$$

$$* \quad N'_q = \frac{1.39 - 1}{5} \times 1.826 + 1$$

$$N'_q = 1.1424$$

$$* \quad N'_\gamma = 0$$

Jadi besarnya daya dukung tanah tersebut adalah:

$$q_{ut} = c \cdot N'_c + \gamma \cdot D_f \cdot N'_q + 0.5 \gamma B \cdot N'_\gamma$$

$$q_{ut} = (0.67 \times 4.0547) + (0.661 \times 12 \times 1.1424) + 0$$

$$q_{ut} = 11,7784 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{ijin} = q_{ut} / FS$$

$$q_{ijin} = 11,7784 / 3$$

$$q_{ijin} = 3,92613 \text{ ton/m}^2$$

ket:

$c$  : kohesi ( $t/m^2$ )

$N_c$   $N_q$   $N_\gamma$  : koefisien-koefisien daya dukung

$\gamma$  : berat isi ( $ton/m^3$ )

$D_f$  : tinggi tunnel (m)

$B$  : lebar terowongan (m)

$FS$  : safety factor, bernilai 3 bila  $c$  tidak nol

#### 4.7.1 Perhitungan Tegangan Total Metode TBM

Beban yang diterima oleh tanah merupakan seluruh beban luar yang ada dan ditambah beban struktur terowongan.

**Tegangan total<sub>1</sub>:**

$$\begin{aligned}
 &= (\text{beban sendiri struktur} + \text{kendaraan}) + \\
 &\quad (\text{beban overburden} + \text{aspal}) + \\
 &\quad (\text{beban lalu lintas}) + (\text{TBM}) \\
 &= (3.5325 + 1) + (7,297) + (0.336) + (5.56) \\
 &= 17,7255 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

**Tegangan total<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned}
 &= (\text{beban sendiri struktur} + \text{kendaraan}) + \\
 &\quad (\text{beban overburden} + \text{aspal}) + \\
 &\quad (\text{beban kereta api}) + (\text{TBM}) \\
 &= (3.5325 + 1) + (7,297) + (0.57) + (5.56) \\
 &= 17,9595 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

**Tegangan total<sub>3</sub>:**

$$\begin{aligned}
 &= (\text{beban sendiri struktur} + \text{kendaraan}) + \\
 &\quad (\text{beban overburden} + \text{aspal}) + (\text{beban} \\
 &\quad \text{bangunan existing}) + (\text{TBM}) \\
 &= (3.5325 + 1) + (7,297) + (0.99) + (5.56) \\
 &= 18,3795 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Jadi terlihat di sini bahwa daya dukung tanah dengan safety factor 3 tidak mampu mengakomodasi tegangan yang terjadi di dasar terowongan.

$$q_{ijin} = 3,92613 \text{ ton/m}^2 < 18.1305 \text{ ton/m}^2 \dots KO$$

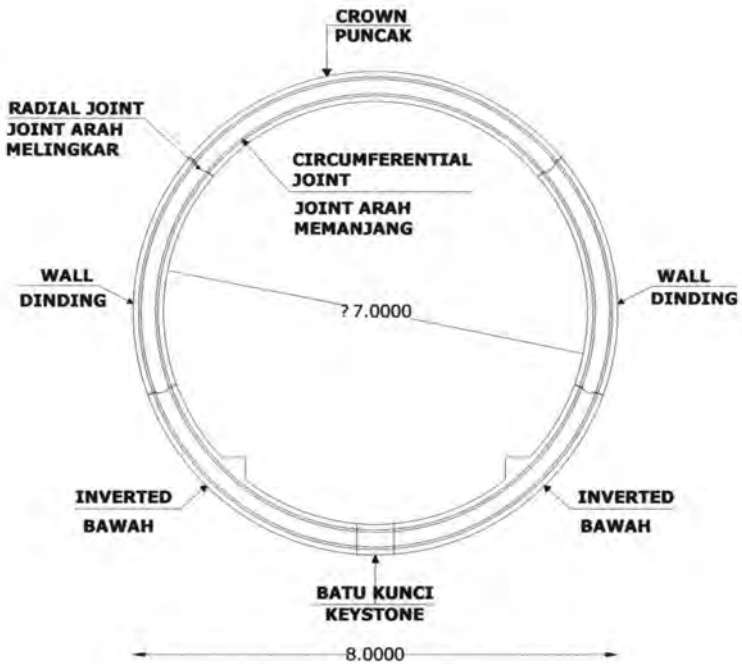


## Perencanaan Lining Dengan Metode TBM

### 4.8.1 Gambaran Umum Perencanaan

Pelaksanaan pekerjaan *underpass* direncanakan menggunakan *TBM (Tunnel Boring Machine)*. Penggunaan *TBM* ini dikarenakan lokasi *underpass* nanti berada di bawah jalan raya yang padat sehingga sulit apabila metoda cut and cover diterapkan, dan juga dengan kedalaman rencana yang memungkinkan. Oleh sebab itu maka *lining* terowongan direncanakan menggunakan *segmental lining*. Segmen-segmen *lining* merupakan beton precast sehingga cepat dilaksanakan, ekonomis serta cepat dan akurat diproduksi.

Segmen-segmen *lining* ini direncanakan dihubungkan tanpa menggunakan baut sebagai pengikat. Fungsi ini digantikan oleh joint-joint yang direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat tepat membentuk cincin *lining*. Joint yang dimaksud untuk arah melingkar (*radial joint*) menggunakan tipe *knuckle*. Setiap *radial joint* ini bisa berotasi/bergerak bebas sampai dengan sudut tertentu sampai lingkaran segmen yang dirakit membentuk formasi cincin *lining* penuh. Sedangkan joint ke arah memanjang tunnel (*circumferential joint*), direncanakan menggunakan tipe *tongue and groove*. Tipe ini diharapkan bisa mengontrol kesalahan alinyemen (*misalignment*) arah memanjang terowongan. Untuk mengunci cincin *lining* ada bagian segmen yang disebut sebagai batu kunci (*keystone*), yang berguna untuk mengunci rakitan dari segmen-segmen *lining*.



**Gambar 4.9: Penampang Underpass dengan Segmental Lining**  
 Sumber: Analisa penulis

#### 4.8.2 Kekhasan Perencanaan Lining

##### 1. Secara Struktural

Lining untuk terowongan ini direncanakan menggunakan beton precast yang terbagi menjadi segmen-segmen. Untuk menghubungkan tiap segmen sehingga menjadi cincin penuh diterapkan sistem joint (radial dan circumferential). Untuk *radial joint* digunakan tipe knuckle. *Radial joint* ini berperilaku seperti pin, jadi deformasi pada cincin lining didapatkan dari rotasi *radial joint* bukan dari

regangan material lining seperti pada segmen yang dihubungkan dengan baut. Jadi tidak akan terjadi *bending stress*, kecuali joint berotasi melewati batas sudut yang direncanakan.

Pada akhirnya hal ini akan mengurangi tulangan yang dibutuhkan dan pada saat yang bersamaan deformasi dari cincin lining membantu tanah sekitarnya untuk melepaskan tekanan tanah sampai keseimbangan antara beban tanah dan tekanan support dicapai.

## 2. Secara Pelaksanaan dan Biaya

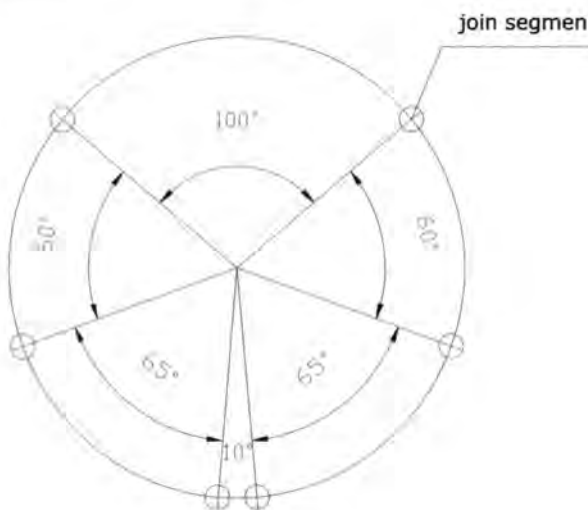
Pelaksanaan perakitan beton precast jauh lebih cepat bila dibandingkan dengan cor setempat (*cast in situ*), walaupun biaya untuk membuat beton precast lebih mahal akan tetapi hal ini dapat diatasi dengan mempercepat waktu pelaksanaan sehingga biaya produksi tidak membesar.

### 4.8.3 Konfigurasi Segmen-Segmen Lining

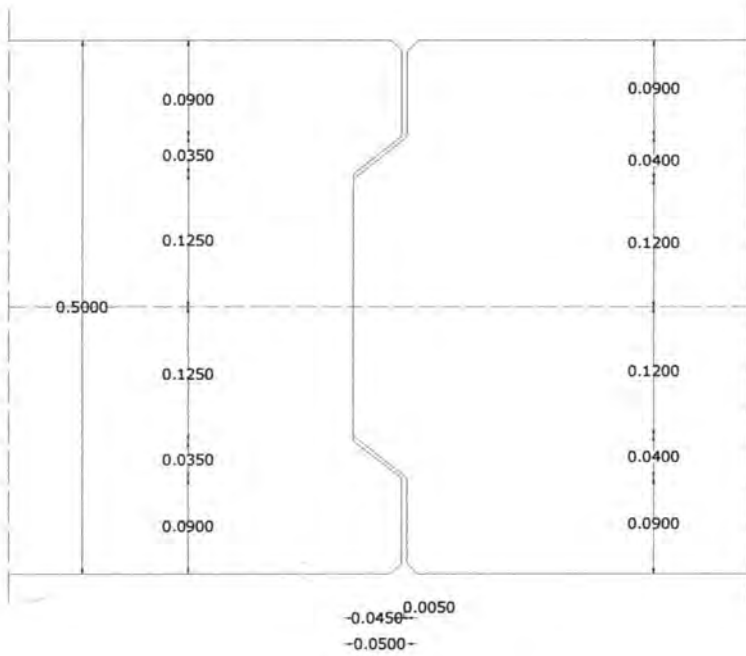
Untuk membentuk satu cincin penuh, direncanakan terdiri dari 6 buah segmen. 6 buah segmen itu terdiri dari 1 segmen *crown*, 2 segmen dinding, 2 segmen *invert* dan 1 segmen *keystone* yang berfungsi untuk mengunci cincin. *Crown* terletak paling atas dari cincin dan di bawah setiap ujungnya ada segmen dinding, sedangkan segmen *invert* terletak di ujung-ujung segmen dinding dan terakhir *keystone* berada paling bawah.

Kedua segmen *invert* diletakkan pada bagian dasar terlebih dahulu dan saling menyangga dengan berat masing-masing. Setelah itu kedua dinding diletakkan pada ujung atas masing-masing sisi. Segmen dinding didimensi sedemikian rupa sehingga pusat gravitasi atau

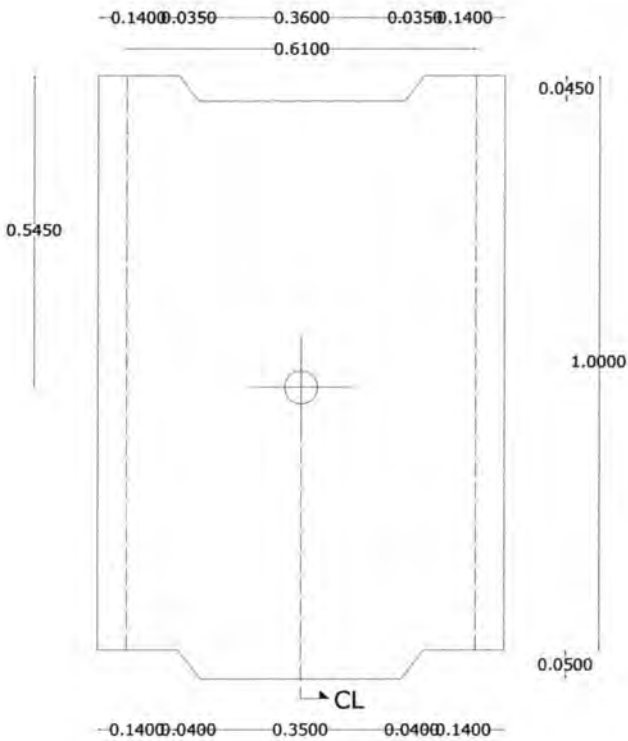
titik beratnya jatuh di luar dari titik pertemuan antara dinding dan segmen *invert* sehingga kedua segmen tersebut tidak akan terguling walaupun tanpa penopang. Lalu segmen *crown* diletakkan di tempatnya dan dibiarkan tepat disana. Selanjutnya segmen *invert* diangkat ke dua sisi diikuti oleh dinding sehingga ujung-ujung atas dinding menyentuh ujung-ujung bawah dari *crown* dan membentuk *closed joint*. Sedangkan ujung-ujung bawah segmen *invert* tadi yang saling bertemu terpisah dan membentuk rongga dimana tempat untuk meletakkan *keystone* sebagai pengunci cincin. Demikian urutan-urutan perakitan cincin lining. Lining yang sudah terakit kemudian didorong ke belakang untuk dihubungkan dan dikunci dengan cincin yang terakit sebelumnya. Proses ini berulang sampai pekerjaan selesai.



**Gambar 4.10: Konfigurasi segmen-segmen lining**  
 Sumber: Analisa penulis



**Gambar 4.11: Tongue and Groove Joint**  
*Sumber: Analisa penulis*



**Gambar 4.13: Batu Kunci / Keystone**  
*Sumber: Analisa penulis*

#### 4.8.4 Analisa Struktur

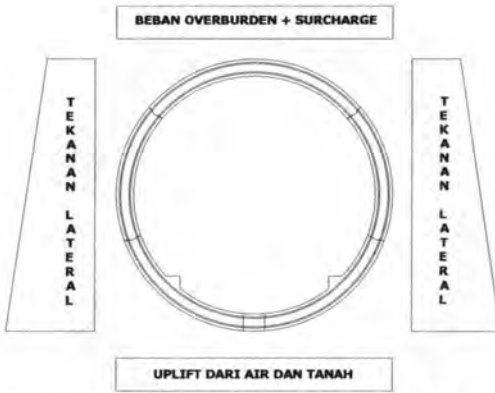
Dalam menganalisa kekuatan struktur lining terowongan ini akan menggunakan software SAP 2000. Gaya-gaya dalam diperoleh berdasarkan tekanan akibat overburden, beban surcharge dan juga tekanan ke atas yang sudah di jabarkan pada sub bab sebelumnya. Untuk joint radial yang bertipe knuckle seperti pada gambar

akan dianggap sebagai pin sebelum berputar  $3^0$  dan joint menjadi joint tertutup.

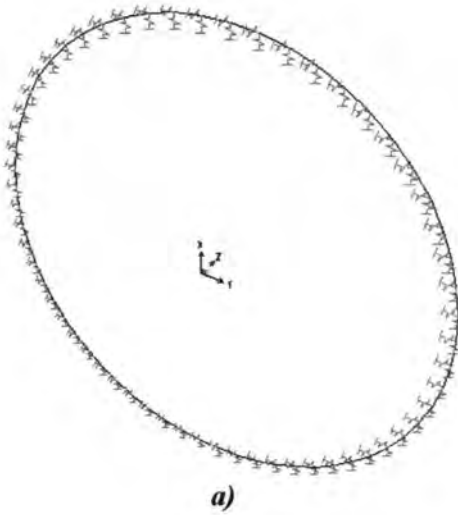
Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dari struktur terowongan rencana, pengerjaan proyek ini menggunakan bantuan dari program SAP 2000. Pemodelan terowongan di SAP 2000 disesuaikan dengan bentuk terowongan yang direncanakan yaitu berbentuk circular dan menerima beban-beban. Beban dibuat menjadi 2 jenis yaitu vertikal dan lateral yang masing-masing berbentuk beban merata. Beban vertikal terdiri dari 3 beban kombinasi yaitu: kombinasi pertama terdiri dari beban overburden tanah ditambah beban lalu lintas, kombinasi kedua terdiri dari beban overburden tanah ditambah beban kereta api dan kombinasi terakhir terdiri dari beban overburden tanah ditambah beban bangunan existing.

Tahapan-tahapan dalam perhitungan gaya dalam dengan bantuan program SAP 2000 seperti di bawah ini:

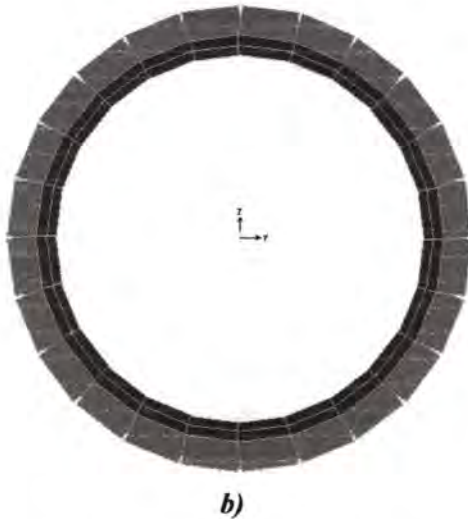
1. Pembuatan model terowongan
2. pendefinisian material struktur terowongan serta beban-bebannya
3. memasukkan tekanan luar akibat kombinasi beban-beban
4. analisa gaya dalam



**Gambar 4. 14: Ilustrasi pemberian beban**  
*Sumber: Analisa penulis*



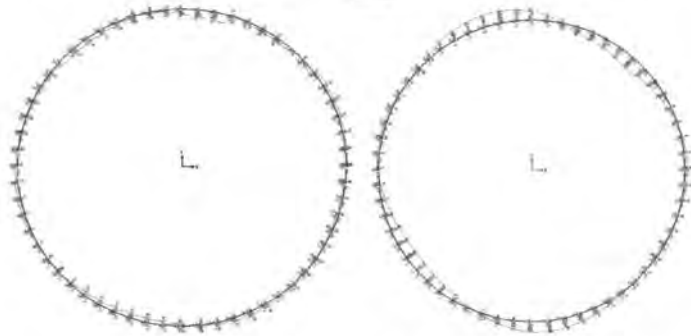




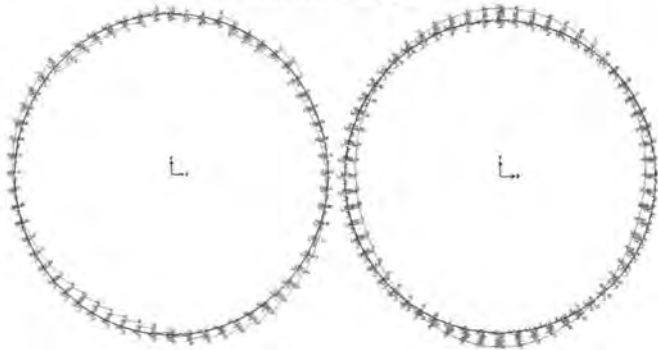
**Gambar 4.15: Pemodelan tunnel**  
*a) tampilan element tanpa ketebalan, b) dengan ketebalan*  
 Sumber: Analisa penulis

Hasil dari analisa menggunakan SAP 2000 adalah gaya-gaya dalam pada struktur dinding terowongan. Selengkapnya bisa dilihat pada lampiran, sedangkan data-data hasil SAP 2000 yang dibutuhkan untuk perencanaan struktur adalah sebagai berikut:

- a. MAT -1 m
  - $M_{lx} = - M_{tx} = 13341612.70 \text{ Nm}$
  - $M_{ly} = - M_{ty} = 165736.00 \text{ Nm}$
  - $V_u = 2102182.1 \text{ N}$
- b. MAT 0 m
  - $M_{lx} = - M_{tx} = 14652332.7 \text{ Nm}$
  - $M_{ly} = - M_{ty} = 734315.7 \text{ Nm}$
  - $V_u = 2626470.05 \text{ N}$



**Gambar 4.16: Bidang geser dan momen MAT -01.00 m**  
*Sumber: Analisa penulis*



**Gambar 4.17: Bidang geser dan bidang momen MAT 00.00 m**  
*Sumber: Analisa penulis*

#### 4.8.5 Perencanaan Penulangan Lining

##### a. Untuk keadaan tanah dengan MAT -01.0 m

Contoh perhitungan berdasarkan *PBI 71 Tabel 13.3.2 – hal. 203*:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| $f_c'$        | = 50 Mpa                   |
| $f_y$         | = 450 Mpa                  |
| $\gamma_1$    | = 0,85 (SKSNI '91 3.3.2.7) |
| Selimit beton | = 40 mm                    |

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{450}{0,85 \cdot 50} = 10,588$$

(SKSNI '91 3.3.5.1)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{450} = 0,003$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,05505$$

(SKSNI '91 3.1.4.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}} = 0,0413$$

(SKSNI '91 3.3.3.3)

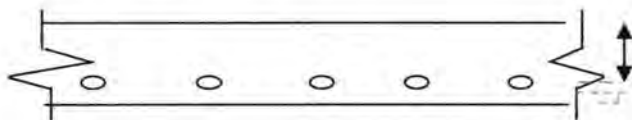
Tulangan untuk dinding dengan tebal (t) = 50 cm.

Momen yang terjadi:

$$M_{lx} = -M_{rx} = 13341612,70 \text{ Nm}$$

$$M_{ly} = -M_{ry} = 165736,00 \text{ Nm}$$

- **Tulangan arah x**



$$M_u = 13341612,70 \text{ Nm}$$

$$\phi = 22 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$\text{tebal pelat} = 500 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = t - \text{se limut beton} - 0,5 \cdot \phi = 449 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{13341612700.00}{19 \cdot 1000 \cdot 450.5^2} = 3.008$$

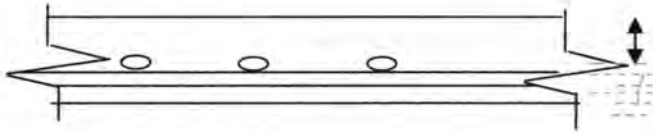
$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = 0.0069$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0069 > \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \rho_{\text{perlu}} = 0,0069$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 3115.89 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi$  22 -100 mm ( $As = 3801.3271 \text{ mm}^2$ )

#### - Tulangan arah y



$$M_u = 734315.7 \text{ Nm} \quad \text{tebal pelat} = 500 \text{ mm}$$

$$\phi = 19 \text{ mm} \quad b = 1000 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$dx = t - \text{se limut beton} - 0,5 \cdot \phi - \phi = 431,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{165736000}{19 \cdot 1000 \cdot 431.5^2} = 0.0468$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = 0.000104$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000104 < \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,00311$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d_y = 1342,44 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi$  19 -200 mm ( $As = 1417.6437 \text{ mm}^2$ )

Menurut *SK-SNI 3.6.4.2 S* terpasang  $< 2 \times t$  pelat =  $2 \times 500 = 1000$  mm

-Penulangan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus arah tulangan memanjang dengan spasi tidak boleh lebih besar dari  $5 \times$  tebal dinding atau 500 mm (*SK-SNI 3.16.12-2.1.a*).

Rasio tulangan susut dan suhu ( $\rho$ ) = 0,002

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \cdot d \cdot d \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\phi 8 - 250$  ( $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$ )

#### - Perhitungan tulangan geser

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{2102182.1}{0,6} = 4377450.1$$

#### -Kekuatan geser yang diterima beton

$$V_c = \frac{F_c}{4} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{50}{4} \times 1000 \times 447,5$$

$$V_c = 5593750 \text{ N}$$

$$\phi V_n = \frac{1}{5593750} \times 5593750 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_n \text{ perlu ujung} \\ 5593750 &> 4377450.1 \end{aligned}$$

### - Perhitungan sambungan

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{2102182.1}{1} = 2102182.1 \text{ N}$$

### - Kekuatan geser yang diterima beton

$$V_c = \frac{f_c}{4} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{50}{4} \times 1000 \times 364$$

$$V_c = 4550000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,6 \times 4550000$$

$$= 2730000 \text{ N}$$

$$\phi V_n > V_n \text{ perlu ujung}$$

$$2730000 > 2102182.1 \text{ N}$$

Tidak perlu dowel

### Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 390 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai  $z$  yang diberikan oleh:

$$= f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{SNI 03-2847-}$$

2002 pasal 12.6(4)25

tidak melebihi 25 MN/m untuk penampang di dalam ruangan

dimana:

- $f_s$  = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, dapat diambil  $0.6f_y$   
 $= 0.6 \times 450 \text{ MPa} = 270 \text{ MPa}$   
 $d_c$  = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan  
 $d_c = 40 + 1/2 \cdot 19 + 19 = 68.5 \text{ mm}$   
 $A$  = luas efektif beton tarik di sekitar lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan tersebut dibagi jumlah batang tulangan

$$A = \frac{2(40 + \frac{1}{2}19) \times 1000}{6} = 16500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 z &= f_s \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 270 \sqrt[3]{0.0685 \times 0.0165} = 28.125 \text{ MN/m} \\
 &= 28.125 \text{ MN/m} > 25 \text{ MN/m} \quad \dots \text{ KO}
 \end{aligned}$$

Karena  $z >$  dari yang disyaratkan maka jumlah tulangan harus ditambah, dengan cara trial and error didapatkan jumlah tulangan minimum D 19 – 100

$$\text{As perlu} = 1401.5556 \text{ mm}^2$$

$$\text{As max} = \text{mm}^2$$

$$\rho_{\max} \times b \times d = 0,0413 \times 1000 \times 450.5 = 18605.5 \text{ mm}^2$$

As perlu < As max ....OK (*Under Reinforce*)

$$A = \frac{2(40 + \frac{1}{2}19) \times 1000}{11} = 9000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 z &= f_s \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 270 \sqrt[3]{0.0685 \times 0.009} = 22.98 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \\
 &\dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Sebagai alternatif terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh:

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.6(4)25)

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 22,98 \times 10^3 = 0,215 \text{ mm} \dots \text{Ok!}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

**Tulangan terpasang = D 19 – 100**

### **b. Untuk perencanaan keadaan tanah dengan MAT 00.00 m**

Contoh perhitungan berdasarkan *PBI 71 Tabel 13.3.2 – hal. 203*:

|               |                                     |
|---------------|-------------------------------------|
| $f_c'$        | = 50 Mpa                            |
| $f_y$         | = 450 Mpa                           |
| $\gamma_1$    | = 0,85 ( <i>SKSNI '91 3.3.2.7</i> ) |
| Selimut beton | = 40 mm                             |

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{450}{0,85 \cdot 50} = 10,588$$

(*SKSNI '91 3.3.5.1*)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{450} = 0,003$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,05505$$

(*SKSNI '91 3.1.4.3*)



$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}} = 0,0413$$

(SKSNI '91 3.3.3.3)

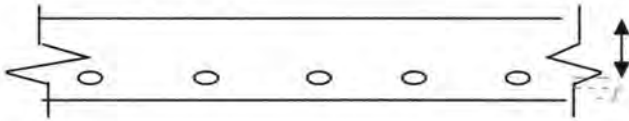
Tulangan untuk dinding dengan tebal ( $t$ ) = 50 cm.

Momen yang terjadi:

$$M_{lx} = -M_{tx} = 1465233,27 \text{ Nm}$$

$$M_{ly} = -M_{ty} = 734315,7 \text{ Nm}$$

- **Tulangan arah x**



$$M_u = 1465233,3 \text{ Nm}$$

tebal pelat = 500 mm

$$\phi = 22 \text{ mm}$$

b = 1000 mm

(diambil per meter)

$$d = t - \text{se limut beton} - 0,5 \cdot \phi = 449 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{1465233,2700,00}{22 \cdot 1000 \cdot 449^2} = 3,304$$

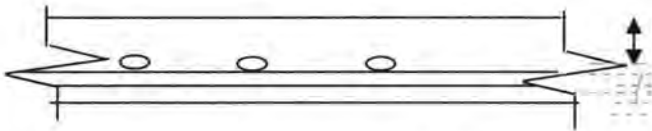
$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,007651$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0076 > \rho_{\min} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0076$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 3435,4486 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi$  22 -100 mm ( $A_s = 3801,3271 \text{ mm}^2$ )

- Tulangan arah y



$$M_u = 734315.7 \text{ Nm} \quad \text{tebal pelat} = 500 \text{ mm}$$

$$\phi = 19 \text{ mm} \quad b = 1000 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$dx = t - \text{se lim ut beton} - 0,5 \cdot \phi - \phi = 431,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{734315700}{19 \cdot 1000 \cdot 413.5^2} = 0.2075$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0.000462$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000462 < \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,00311$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d_y = 1342,44 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi 19$  -200 mm ( $A_s = 1417.6437 \text{ mm}^2$ )

Menurut SK-SNI 3.6.4.2 S terpasang  $< 2 \times t$  pelat =  $2 \times 500 = 1000 \text{ mm}$

-Penulangan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus arah tulangan memanjang dengan spasi tidak boleh lebih besar dari  $5 \times$  tebal dinding atau  $500 \text{ mm}$  (SK-SNI 3.16.12-2.1.a).

Rasio tulangan susut dan suhu ( $\rho$ ) = 0,002

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot d \cdot d$$

$$= 0,002 \cdot 1000 \cdot 100$$

$$= 200 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan  $\phi$  8 – 250 ( $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$ )

**- Perhitungan tulangan geser**

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{2626470.05}{0,6} = 4377450.1$$

**- Kekuatan geser yang diterima beton**

$$V_c = \frac{f_c}{4} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{50}{4} \times 1000 \times 447,5$$

$$V_c = 5593750 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1 \times 5593750$$

$$= 5593750 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_n \text{ perlu ujung} \\ 5593750 &> 4377450.1 \end{aligned}$$

**- Perhitungan sambungan**

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{2626470.05}{1} = 2626470.05$$

**- Kekuatan geser yang diterima beton**

$$V_c = \frac{f_c}{4} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{50}{4} \times 1000 \times 364$$

$$\begin{array}{rcl}
 V_c = & 4550000 & \text{N} \\
 \phi V_n = & 0,6 & \times \quad 4550000 \\
 = & 2730000 & \text{N} \\
 & & V_n \text{ perlu} \\
 \phi V_n & > & \text{ujung} \\
 2730000 & > & 2626470.05
 \end{array}$$

tidak perlu dowel

### Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 390 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai  $z$  yang diberikan oleh:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{SNI 03-2847-}$$

002 pasal 12.6(4)25

tidak melebihi 25 MN/m untuk penampang di dalam ruangan

dimana:

= tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, dapat diambil  $0.6f_y$

$$= 0.6 \times 450 \text{ MPa} = 270 \text{ MPa}$$

= tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan

$$= 40 + 1/2 \cdot 19 + 19 = 68.5 \text{ mm}$$

= luas efektif beton tarik di sekitar lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan tersebut dibagi jumlah batang tulangan

$$= \frac{2(40 + \frac{1}{2}19) \times 1000}{6} = 16500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 z &= fs \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 270 \sqrt[3]{0.0685 \times 0.0165} = 28.125 \text{ MN/m} \\
 &= 28.125 \text{ MN/m} > 25 \text{ MN/m} \dots \text{KO}
 \end{aligned}$$

Karena  $z >$  dari yang disyaratkan maka jumlah tulangan harus ditambah, dengan cara trial and error didapatkan jumlah tulangan minimum D 19 – 100

$$\text{As perlu} = 1401.5556 \text{ mm}^2$$

$$\text{As max} = \text{mm}^2$$

$$\rho_{\text{max}} x b x d = 0,0413 \times 1000 \times 450.5 = 18605.5 \text{ mm}^2$$

As perlu  $<$  As max ....OK (*Under Reinforce*)

$$A = \frac{2 \left( 40 + \frac{1}{2} 19 \right) \times 1000}{11} = 9000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 z &= fs \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 270 \sqrt[3]{0.0685 \times 0.009} = 22.98 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \\
 &\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Sebagai alternatif terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh:

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot fs \sqrt[3]{d_c A}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.6(4)25)

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 22.98 \times 10^3 = 0,215 \text{ mm} \dots \text{Ok!}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

**Tulangan terpasang = D 19 – 100**

#### 4.8.6 Perencanaan Pelat Jalan

Pelat yang digunakan sebagai penopang untuk jalan raya direncanakan menggunakan beton bertulang dengan spesifikasi sebagai berikut:

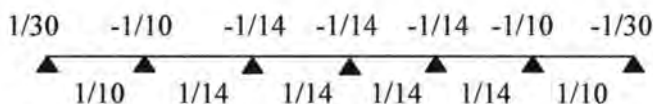
|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| $f_c'$                       | = 35 MPa  |
| $f_y$                        | = 350 MPa |
| $\beta_1$                    | = 0.85    |
| selimut beton                | = 20 mm   |
| diameter tulangan ( $\Phi$ ) | = 8 mm    |
| tebal pelat (t)              | = 400 mm  |

##### 1. Pembebanan

|    |               |  |
|----|---------------|--|
| a. | beban mati    |  |
|    | - berat pelat | $= t \times \gamma_c \times l$<br>$= 0.4 \times 24 \times l$<br>$= 9.6 \text{ KN/m}$                   |
|    | - berat aspal | $= \text{tebal aspal} \times \gamma_b \times l$<br>$= 0.05 \times 22 \times l$<br>$= 1.1 \text{ KN/m}$ |
|    | $q_m$         | $= 9.6 + 1.1$<br>$= 10.7 \text{ KN/m}$   |

Momen maks (momen negatif) :

Jika pelat lantai kendaraan dianggap terjepit elastis pada tumpuan dan terletak bebas pada ujung tumpuan (*PBI '71 hal 195 poin F*) maka faktor momen yang terjadi adalah :



Faktor Beban : beton dicor di tempat  $K_{MS}^U = 1.3$

$$M_{qm} = 1/10 (q_m \times K_{MS}^U) \times S^2$$

$$M_{qm} = 1/10 \times 10.7 \text{ KN/m} \times 1.3 \times 1.4^2$$

$$M_{qm} = 2.726 \text{ KNm}$$

b. beban hidup

- beban truk 'T' = 100 KN

..BMS 2.3.4.1

DLA untuk pembebanan truk = 0.3

..BMS 2.3.6

T = 'T' (1 + DLA)

T = 100 (1 + 0.3)

T = 130 KN

Faktor beban: muatan truk  $K_{TT}^U = 2$

..BMS 2.3.4

$$MT = 0.8 \times \frac{S + 0.6}{10} \times K_{TT}^U \times T$$

..BMS 2.5.5

*S = jarak antar balok memanjang*

$$MT = 0.8 \times \frac{1.4 + 0.6}{10} \times 2 \times 130 = 41.6 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_{qm} + M_T$$

$$M_u = 4.87 \text{ KNm} + 41.6 \text{ KNm}$$

$$M_u = 44.33 \text{ KNm}$$

## 2. Penulangan

Data Perencanaan :

-  $f'_c$  = 35 Mpa

-  $f_y$  = 350 Mpa

- selimut beton = 20 mm

- tebal pelat = 400 mm  
 Faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0.8$

Untuk tulangan yang terkena aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur ( SK - SNI 3.2.3-2.2.a ).

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

...SK - SNI 3.1.4-3.

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35}{350} \left( \frac{600}{600 + 350} \right) = 0,04563$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,00400$$

SKSNI '91 3.3.5.1

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,0342$$

SKSNI '91 3.3.3.3

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Mu                       | = 44.326 KNm |
| diameter tulangan $\phi$ | = 12 mm      |
| Selimut beton            | = 20 mm      |
| Tebal pelat              | = 400 mm     |
| b                        | = 1000 mm    |

$$dx = t - \text{se lim ut beton} - 0,5 \cdot \phi - \phi = 37,4 \text{ cm}$$

Mn perlu = Mu/ $\phi$

$$Mn_{perlu} = \frac{44,326}{0,8} = 55,41$$



$$Rn = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot dx^2}$$

$$Rn = \frac{44326360}{0.8 \cdot 1000 \cdot 374^2} = 0.3961 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{350}{0.85 \cdot 35} = 11.8$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{11.8} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11.8 \cdot 0.3961}{350}} \right) = 0.00114$$

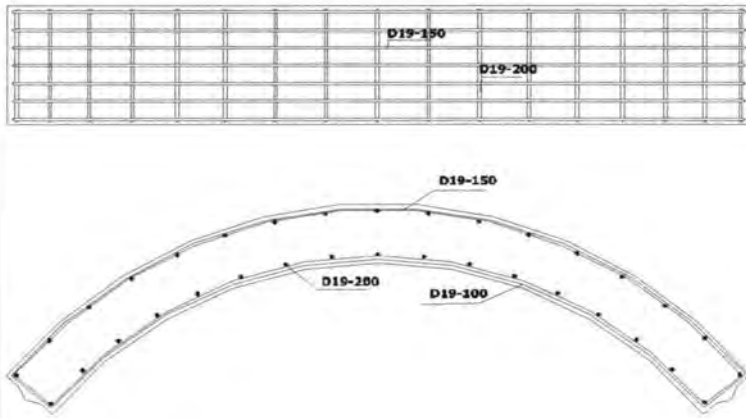
$$\rho_{perlu} = 0,001140 < \rho_{min} = 0,00400 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{min} = 0,00114$$

$$As_{perlu} = \rho \cdot b \cdot dy$$

$$As_{perlu} = 0,00114 \cdot 1000 \cdot 374 = 426.1407 \text{ mm}^2$$

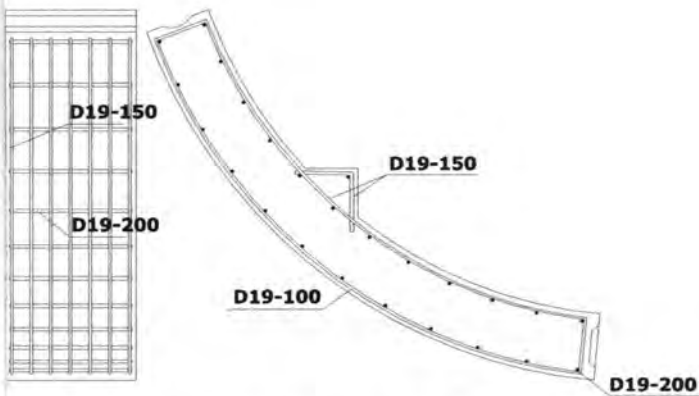
Digunakan tulangan  $\phi$  12 -250 mm ( $As = 452.4 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} As_{susut} (\text{arah } y) &= \rho_{min} \times b \times dx \\ &= 0.004 \times 1000 \times 374 \\ &= 1496 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



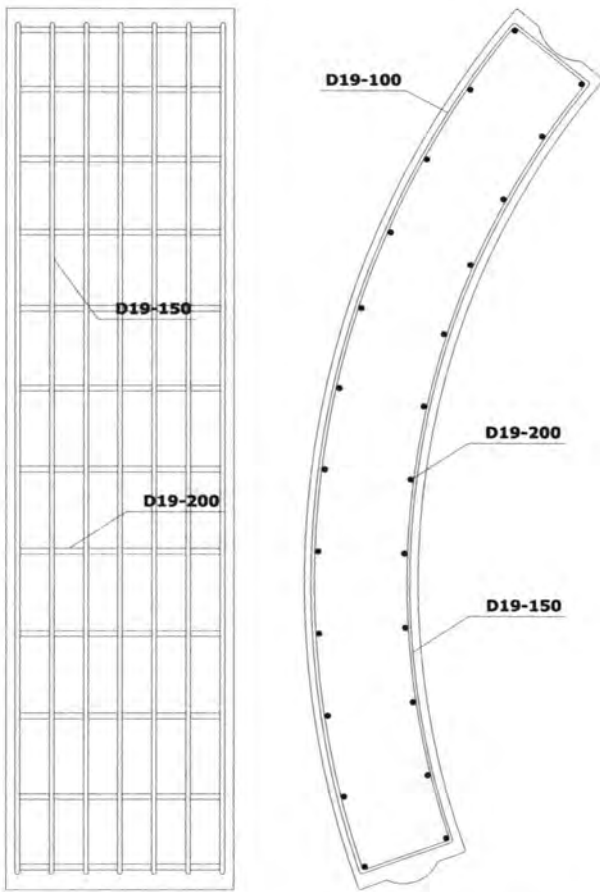
**Gambar 4.18: Penulangan segmen Crown**

*Sumber: Analisa penulis*



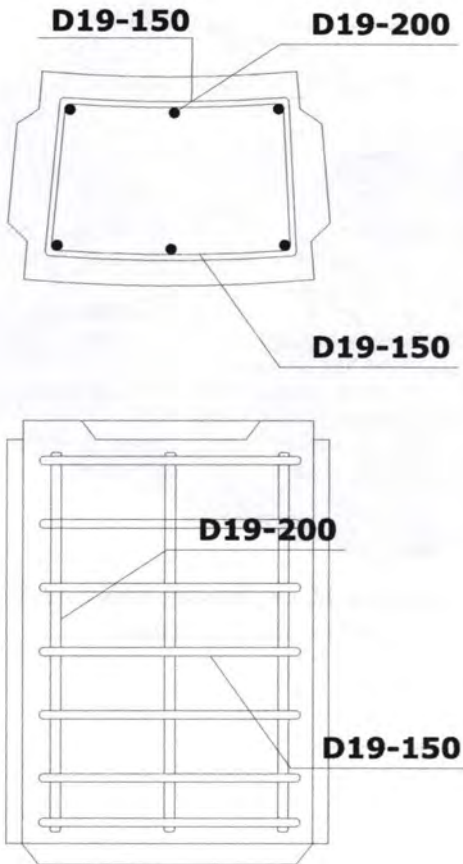
**Gambar 4.19: Penulangan segmen invert**

*Sumber: Analisa penulis*



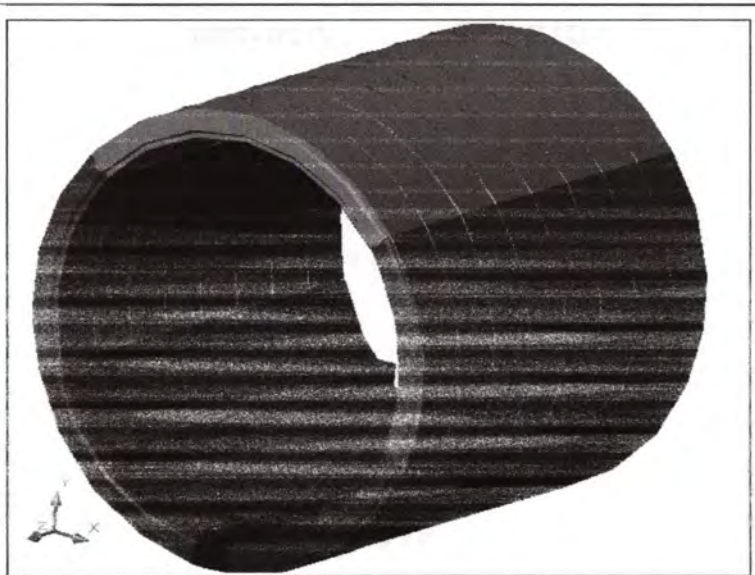
**Gambar 4.20: Penulangan segmen dinding**

*Sumber: Analisa penulis*



**Gambar 4.21: Penulangan batu kunci**

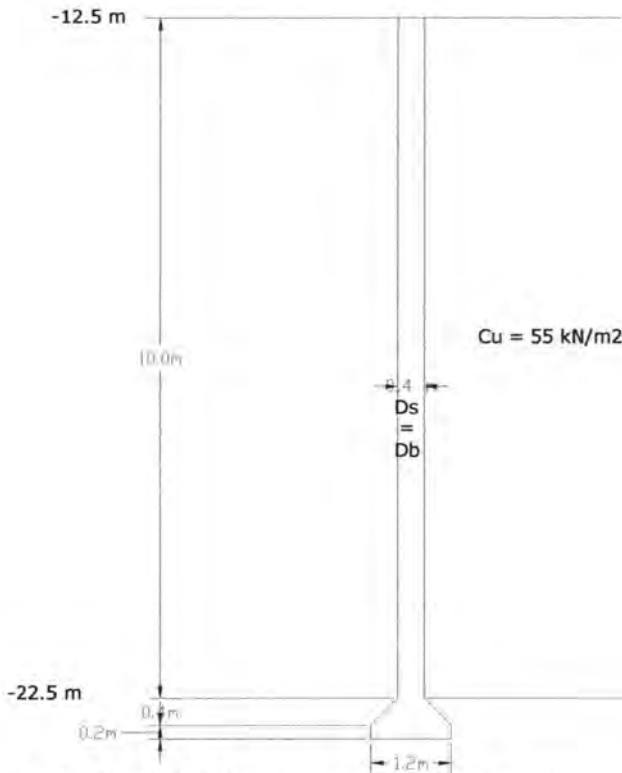
*Sumber: Analisa penulis*



**Gambar 4.22: Tampak 3D segmen-segmen setelah dirangkai**  
*Sumber: Analisa penulis*

### 8.7 Perencanaan Strauss Sebagai Pondasi Underpass

Dikarenakan daya dukung tanah yang tidak memadai maka direncanakan pondasi untuk mendukung tanah di bawah terowongan. Di sini direncanakan menggunakan pondasi strauss mengingat kemungkinan untuk dilaksanakannya.



**Gambar 4.23: Perencanaan dimensi strauss**

*Sumber: analisa penulis*

#### a. Beban-beban

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{beton}} &= (\gamma \cdot A) / l \\
 &= (2.4 \text{ t/m}^2 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot (8^2 - 7^2)) / 8 \\
 &= 3.53 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{overburden}} = 7,297 \text{ ton/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{poer}} &= (\gamma \cdot A) / l \\ &= (2,4 \text{ t/m}^2 \cdot 3\text{m} \cdot 4\text{m}) / 8 \\ &= 3,6 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{beton}} + Q_{\text{overburden}} + Q_{\text{poer}} \\ &= 3,53 \text{ t/m}^2 + 7,297 \text{ ton/m}^2 + 3,6 \text{ t/m}^2 \\ &= 14,409 \text{ t/m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \\ &= 115,272 \text{ ton} \end{aligned}$$

Direncanakan untuk 4 strauss, jadi untuk 1 strauss:

$$\begin{aligned} Q_{w1\text{strauss}} &= 115,272 / 4 \\ &= 28,818 \text{ ton} \\ &= 288,18 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

**b. Cek diameter lubang strauss (Ds)**

Direncanakan  $f'_c = 28.000 \text{ kN/m}^2$

$$D_s = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f'_c}}$$

$$D_s = 2,257 \sqrt{\frac{288,18}{28000}} = 0,229 \text{ m}$$

Diameter rencana  $D_s = 0,4 > 0,229 \text{ m} \dots\dots\dots \text{OK}$

**c. Menentukan kapasitas tahanan beban terpusat/point ultimit netto**

$$Q_p(\text{net}) = C_u \cdot N^* \cdot c \cdot A_p$$

$N^*c$ : pada lempung saat  $L/Db = 4$  atau lebih  
maka  $N^*c = 9$ .

$$*L/Db = 10 \text{ m} / 0,4 \text{ m} = 25 > 4, N^*c = 9$$

$$\begin{aligned} Q_p(\text{net}) &= 55.9.0,25.3,14.1,2^2 \\ &= 55.9.1,13 \\ &= 559,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

**d. Menentukan kapasitas tahanan gesek**

$$Q_s = \pi \cdot D_s \cdot L_1 \cdot C_u \cdot \alpha^*$$

Disini  $\alpha^*$  diasumsikan 0,4 (nilainya bervariasi dari 0,35-0,6, berdasarkan penelitian)

$$Q_s = \pi \cdot 0,4 \cdot 10 \cdot 55 \cdot 0,4 = 276,46 \text{ kN}$$

**e. Menentukan angka keamanan**

$$SF = \frac{Q_u}{Q_w} = \frac{559,83 + 276,46}{288,18} = 2,9$$

**f. Total penurunan elastis selama pekerjaan**  
( $E_p = 22 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ )

$$*s_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi \cdot Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p}$$

Diasumsikan bahwa tahanan gesek optimal, jadi:

$$Q_{ws} = 276,46 \text{ kN},$$

$$Q_{wp} = 288,18 - 276,46 = 11,72 \text{ kN}$$

$$\text{Asumsi } \xi = 0,6$$

$$A_p = 0,25 \cdot \pi \cdot D_s^2$$

$$A_p = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,4^2$$

$$A_p = 0,126 \text{ m}^2$$



Jadi,

$$s_1 = \frac{(11,72 + 0,6.276,46).10,6}{0,126.22 \times 1000000} = 0,000679m$$

$$= 0,68mm$$

$$* s_2 = \frac{Q_{wp}.C_p}{D_p.q_p}$$

$$C_p = 0,04 \text{ (lempung keras)}$$

$$q_p = C.N_c = 55.9 = 495 \text{ kN/m}^2$$

Jadi,

$$s_2 = \frac{(11,72).(0,04)}{(1,2).(495)} = 0,00079 = 0,79mm$$

$$* s_3 = \frac{Q_{ws}.C_s}{L_1.q_p}$$

$$C_s = (0,93 + 0,16\sqrt{\frac{L_1}{D_s}}).C_p$$

$$= (0,93 + 0,16\sqrt{\frac{10}{0,4}}).0,04 = 0,0692$$

$$s_3 = \frac{276,46 \times 0,0692}{(10)(495)} = 0,00386 = 3,86mm$$

Total penurunan elastis:

$$S_{total} = S_1 + S_2 + S_3 = 0,68 + 0,79 + 3,86 = 5,33 \text{ mm}$$

## 4.9 Perencanaan Lining Dengan Metode Cut and Cover

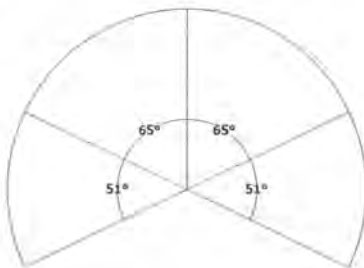
### 4.9.1 Gambaran Umum

Untuk perencanaan *lining* dengan metode ini bentuk terowongan agak berbeda akan tetapi tetap dengan dimensi dan ketebalan *lining* rencana yang sama. Lining akan tetap bersegmen akan tetapi hanya akan terdiri atas 4 segmen yakni, 2 segmen crown, 2 buah dinding sedang segmen invert akan menyatu dengan kepala pondasi.

Keuntungan menggunakan metode ini kita bisa menggunakan pondasi untuk mengatasi masalah daya dukung tanah.

### 4.9.2 Konfigurasi Lining

Hanya ada 4 segmen yang akan dirangkai untuk menjadi lining dari underpass, yakni 2 segmen crown dan 2 segmen dinding. Segmen invert tidak dibutuhkan karena telah menyatu dengan kepala pondasi rencana tempat segmen dinding bagian bawah menyatu nantinya. 2 segmen crown akan bertemu di tengah-tengah atas underpass dihubungkan dengan baut. Desain segmen dibuat sedemikian rupa sehingga bisa memasang baut yang gunanya untuk menyatukan segmen-segmen. Sedangkan segmen dinding bagian bawah juga dihubungkan dengan baut ke pijakan sekaligus kepala pondasi.



Gambar 4.24: konfigurasi lining dengan cut and cover method

Sumber: analisa penulis

### 4.9.3 Perencanaan Pondasi

Untuk pengerjaan struktur tunnel ini perlu diperhatikan daya dukung tanah di lokasi. Struktur tunnel direncanakan berada pada tanah lunak dengan kedalaman 4 -12 m di bawah permukaan tanah. Sedangkan muka air tanah di sana berada pada 1 m dari permukaan, ini berarti bahwa seluruh struktur tunnel berada di dalam tanah yang jenuh air dan dengan daya dukung (telah dihitung pada sub bab daya dukung tanah) yang kecil bila dibandingkan dengan beban yang diterima.

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka direncanakan suatu support berupa pondasi yang direncanakan berupa grup pada setiap 2.5 m memanjang tunnel dengan perhitungan bahwa 2.5 m merupakan panjang tiap segmen tunnel pada waktu pelaksanaan. Perlu diingat bahwa pemakaian pondasi ini hanya mungkin dilakukan pada metode pelaksanaan *cut and cover* saja, tidak untuk *shielded TBM tunneling method*.

#### 4.9.3.1 Perhitungan Beban Pondasi

Beban yang diterima oleh pondasi merupakan seluruh beban luar yang ada dan ditambah beban struktur terowongan

**Tegangan total<sub>1</sub>:**

$$\begin{aligned}
 &= (\text{beban sendiri struktur} + \text{kendaraan}) + \\
 &\quad (\text{beban overburden} + \text{aspal}) + \\
 &\quad (\text{beban lalu lintas}) \\
 &= (3.5325 + 1) + (7,297) + (0.336) \\
 &= 12,1655 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

**Tegangan total<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned}
 &= (\text{beban sendiri struktur} + \text{kendaraan}) + \\
 &\quad (\text{beban overburden} + \text{aspal}) + \\
 &\quad (\text{beban kereta api})
 \end{aligned}$$

$$= (3.5325 + 1) + (7,297) + (0.57)$$

$$= 12,3995 \text{ ton/m}^2$$

**Tegangan total<sub>3</sub>:**

$$= (\text{beban sendiri struktur} + \text{kendaraan}) +$$

$$(\text{beban overburden} + \text{aspal}) + (\text{beban}$$

$$\text{bangunan existing})$$

$$= (3.5325 + 1) + (7,297) + (0.99)$$

$$= 12,8195 \text{ ton/m}^2$$

Dengan membandingkan beban-beban total di atas dengan daya dukung hasil perhitungan di dapatkan selisih yang merupakan beban yang mesti diatasi oleh pondasi. Sebelum dikurangi, daya dukung dibagi terlebih dahulu dengan safety faktor 3.

$$q_{ijin} = 3,92613 \text{ ton/m}^2 < 12.5705 \text{ ton/m}^2 \dots KO$$

#### 4.9.3.2 Perhitungan Daya Dukung Pancang

Karena tanah terletak dibawah muka air maka harga N hasil dari SPT harus dikoreksi terlebih dahulu menjadi  $N'$  (TERZAGHI & PECK)

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

$$\text{Untuk } N = 15 ; N' = 15 + 0,5 (15-15)$$

$$= 15$$

**Menurut SEED,**

$$N_1 = C_n \cdot N$$

$$- \sigma'v \text{ pada kedalaman 4 meter} = H \cdot \gamma'$$

$$= 13 \cdot (1,661 - 1)$$

$$= 8.593 \text{ t/m}^2 = 0.8593 \text{ kg/cm}^2 = 85.93 \text{ kpa}$$

Nilai  $C_n$  didapat dari interpolasi tabel di bawah:

**Tabel 4.9: Nilai  $C_n$  terhadap  $\sigma'_v$** 

|             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\sigma'_v$ | 30   | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  | 450  |
| $C_n$       | 1,60 | 1,22 | 0,95 | 0,78 | 0,65 | 0,57 | 0,50 | 0,45 | 0,42 | 0,40 |

Sumber: SEED, dkk

$$N_1 = 1,03 \cdot 15 = 15,39$$

Detil perhitungan lihat tabel di bawah:

**Tabel 4.10: Detil perhitungan  $N_1$** 

| Kedalaman<br>(m) | N<br>blows | N'<br>(blows) | $\gamma$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $\gamma'$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $\sigma'_v$<br>(Kpa) | $C_n$ | N <sub>1</sub> | N<br>terpilih |
|------------------|------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------|----------------|---------------|
| 13               | 15         | 15            | 1,661                           | 0,661                            | 85,93                | 1,03  | 15,39          | 15            |
| 13,5             | 23         | 19            | 1,94                            | 0,940                            | 126,9                | 0,86  | 19,75          | 19            |
| 14               | 31         | 23            | 1,94                            | 0,940                            | 131,6                | 0,84  | 26,12          | 23            |
| 14,5             | 35         | 25            | 1,94                            | 0,940                            | 136,3                | 0,83  | 28,93          | 25            |
| 15               | 30         | 22,5          | 1,94                            | 0,940                            | 141                  | 0,81  | 24,32          | 22,5          |
| 15,5             | 27         | 21            | 1,94                            | 0,940                            | 145,7                | 0,79  | 21,45          | 21            |
| 16               | 23         | 19            | 1,94                            | 0,940                            | 150,4                | 0,78  | 17,92          | 17,92         |
| 16,5             | 22         | 18,5          | 1,94                            | 0,940                            | 155,1                | 0,77  | 16,87          | 16,87         |
| 17               | 22         | 18,5          | 1,94                            | 0,940                            | 159,8                | 0,75  | 16,60          | 16,60         |
| 17,5             | 22,5       | 18,75         | 1,94                            | 0,940                            | 164,5                | 0,74  | 16,70          | 16,70         |
| 18               | 23         | 19            | 1,94                            | 0,940                            | 169,2                | 0,73  | 16,79          | 16,79         |
| 18,5             | 24,5       | 19,75         | 1,94                            | 0,940                            | 173,9                | 0,72  | 17,59          | 17,59         |
| 19               | 28         | 21,5          | 1,94                            | 0,940                            | 178,6                | 0,71  | 19,76          | 19,76         |
| 19,5             | 31         | 23            | 1,94                            | 0,940                            | 183,3                | 0,69  | 21,50          | 21,50         |
| 20               | 34         | 24,5          | 1,94                            | 0,940                            | 188                  | 0,68  | 23,16          | 23,16         |
| 20,5             | 35         | 25            | 1,94                            | 0,940                            | 192,7                | 0,67  | 23,41          | 23,41         |
| 21               | 34         | 24,5          | 1,94                            | 0,940                            | 197,4                | 0,66  | 22,33          | 22,33         |
| 21,5             | 32         | 23,5          | 1,94                            | 0,940                            | 202,1                | 0,65  | 20,69          | 20,69         |
| 22               | 31         | 23            | 1,94                            | 0,940                            | 206,8                | 0,64  | 19,81          | 19,81         |

Sumber: Analisa penulis

Untuk perhitungan diambil harga N yang paling kritis.

*Metode Luciano Decourt*

Contoh perhitungan untuk tiang pancang  $\emptyset = 400$  mm ; kedalaman = D = 3 m dari dasar terowongan.

$$QI = Qp + Qs$$

Dimana:  $Qp = qp \cdot Ap = Np \cdot K \cdot Ap$

$$4 B = 4 \times 0.4 = 1,6 \text{ meter}$$

$$Np = \frac{21 + 17.92 + 16.87}{3} = 18.59$$

$$Ap = \pi r^2 = \pi 0,2^2 = 0,1256 \text{ m}^2$$

K = 20 t/m<sup>2</sup> , untuk tanah lempung

$$\bullet Qp = Np \times K \times Ap$$

$$= 18.59 \times 20 \times 0,1256$$

$$= 46.71 \text{ ton}$$

$$\bullet Qs = (Ns/3 + 1) \times As$$

$$Ns = \frac{15+19+23+25+22.5+21+17.92}{7} = 20.49$$

$$As = (2\pi r) D$$

$$= (2 \pi 0,2) \times 3 = 3.768 \text{ m}^2$$

$$\bullet Qs = (20.49/3 + 1) \times 3.768 \text{ m}^2$$

$$= 29.5 \text{ ton}$$

$$\text{> } QI = Qp + Qs$$

$$= 46.71 + 29.5$$

$$= 76.21 \text{ ton}$$

Detil perhitungan daya dukung sebagai berikut untuk berbagai diameter bisa dilihat di tabel 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 berikut:

**Tabel 4.11: Daya dukung tiang pancang 35 cm**

| Kedalaman (m) | K (t/m <sup>2</sup> ) | Ap (m <sup>2</sup> ) | Np    | Qp (ton) | Ns    | Ns/3 + | As (m <sup>2</sup> ) | Qs (ton) | Ql (ton) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------|----------|-------|--------|----------------------|----------|----------|
| 3             | 20                    | 0,096                | 18,59 | 35,762   | 20,49 | 7,83   | 3,297                | 25,81    | 61,57575 |
| 4             | 20                    | 0,096                | 16,72 | 32,163   | 19,65 | 7,55   | 4,396                | 33,2     | 65,35811 |
| 5             | 40                    | 0,096                | 17,03 | 65,495   | 19,13 | 7,38   | 5,495                | 40,53    | 106,0206 |
| 6             | 40                    | 0,096                | 19,61 | 75,445   | 19,06 | 7,35   | 6,594                | 48,48    | 123,9228 |
| 7             | 40                    | 0,096                | 22,69 | 87,279   | 19,49 | 7,5    | 7,693                | 57,68    | 144,9555 |
| 8             | 40                    | 0,096                | 22,15 | 85,183   | 19,89 | 7,63   | 8,792                | 67,08    | 152,2647 |
| 10            | 40                    | 0,096                | 20,17 | 77,588   | 19,91 | 7,64   | 10,99                | 83,94    | 161,527  |
| 13            | 40                    | 0,096                | 22,95 | 88,269   | 20,29 | 7,76   | 14,29                | 110,9    | 199,1769 |

Sumber: Analisa penulis

**Tabel 4.12: Daya dukung tiang pancang 40 cm**

| Kedalaman (m) | K (t/m <sup>2</sup> ) | Ap (m <sup>2</sup> ) | Np    | Qp (ton) | Ns    | Ns/3 + | As (m <sup>2</sup> ) | Qs (ton) | Ql (ton) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------|----------|-------|--------|----------------------|----------|----------|
| 3             | 20                    | 0,128                | 18,59 | 46,71    | 20,49 | 7,83   | 3,768                | 29,5     | 76,21105 |
| 4             | 20                    | 0,128                | 16,72 | 42,009   | 19,65 | 7,55   | 5,024                | 37,94    | 79,94606 |
| 5             | 40                    | 0,128                | 17,03 | 85,544   | 19,13 | 7,38   | 6,28                 | 46,32    | 131,8594 |
| 6             | 40                    | 0,128                | 19,61 | 98,54    | 19,06 | 7,35   | 7,536                | 55,4     | 153,9436 |
| 7             | 40                    | 0,128                | 22,69 | 114      | 19,49 | 7,5    | 8,792                | 65,92    | 179,9129 |
| 8             | 40                    | 0,128                | 22,15 | 111,26   | 19,89 | 7,63   | 10,05                | 76,67    | 187,9242 |
| 10            | 40                    | 0,128                | 20,17 | 101,34   | 19,91 | 7,64   | 12,56                | 95,93    | 197,2698 |
| 13            | 40                    | 0,128                | 22,95 | 115,29   | 20,29 | 7,76   | 16,33                | 126,8    | 242,042  |

Sumber: Analisa penulis

**Tabel 4.13: Daya dukung tiang pancang 45 cm**

| Kedalaman (m) | K (t/m <sup>2</sup> ) | Ap (m <sup>2</sup> ) | Np    | Qp (ton) | Ns    | Ns/3 + | As (m <sup>2</sup> ) | Qs (ton) | Ql (ton) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------|----------|-------|--------|----------------------|----------|----------|
| 3             | 20                    | 0,159                | 18,59 | 59,117   | 20,49 | 7,83   | 4,239                | 33,19    | 92,30604 |
| 4             | 20                    | 0,159                | 16,72 | 53,167   | 19,65 | 7,55   | 5,652                | 42,68    | 95,84677 |
| 5             | 40                    | 0,159                | 17,03 | 108,27   | 19,13 | 7,38   | 7,065                | 52,1     | 160,3714 |
| 6             | 40                    | 0,159                | 19,61 | 124,71   | 19,06 | 7,35   | 8,478                | 62,33    | 187,0437 |
| 7             | 40                    | 0,159                | 22,69 | 144,28   | 19,49 | 7,5    | 9,891                | 74,16    | 218,4328 |
| 8             | 40                    | 0,159                | 22,15 | 140,81   | 19,89 | 7,63   | 11,3                 | 86,25    | 227,0606 |
| 10            | 40                    | 0,159                | 20,17 | 128,26   | 19,91 | 7,64   | 14,13                | 107,9    | 236,1793 |
| 13            | 40                    | 0,159                | 22,95 | 145,91   | 20,29 | 7,76   | 18,37                | 142,6    | 288,51   |

Sumber: Analisa penulis

Tabel 4.14: Daya dukung tiang pancang 50 cm

| Kedalaman (m) | K (t/m <sup>2</sup> ) | Ap (m <sup>2</sup> ) | Np    | Qp (ton) | Ns    | Ns/3 + | As (m <sup>2</sup> ) | Qs (ton) | Ql (ton) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------|----------|-------|--------|----------------------|----------|----------|
| 3             | 20                    | 0,196                | 18,59 | 72,985   | 20,49 | 7,83   | 4,71                 | 36,88    | 109,8607 |
| 4             | 20                    | 0,196                | 16,72 | 65,838   | 19,65 | 7,55   | 6,28                 | 47,42    | 113,0603 |
| 5             | 40                    | 0,196                | 17,03 | 133,66   | 19,13 | 7,38   | 7,85                 | 57,89    | 191,5567 |
| 6             | 40                    | 0,196                | 19,61 | 153,97   | 19,06 | 7,35   | 9,42                 | 69,25    | 223,2232 |
| 7             | 40                    | 0,196                | 22,69 | 178,12   | 19,49 | 7,5    | 10,99                | 82,4     | 260,5151 |
| 8             | 40                    | 0,196                | 22,15 | 173,84   | 19,89 | 7,63   | 12,56                | 95,83    | 269,6738 |
| 10            | 40                    | 0,196                | 20,17 | 158,34   | 19,91 | 7,64   | 15,7                 | 119,9    | 278,2558 |
| 13            | 40                    | 0,196                | 22,95 | 180,14   | 20,29 | 7,76   | 20,41                | 158,4    | 338,5807 |

Sumber: Analisa penulis

#### 4.9.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

Perhitungan gaya-gaya dalam untuk struktur ini bisa kembali dianalisa dengan menyertakan tiang pancang pada pemodelannya menggunakan program SAP 2000. Urutan-urutan pengerjaannya di SAP 2000 sama seperti sebelum disertakan tiang pancang, yang berubah hanya pemodelannya saja. Setelah diketahui gaya-gaya dalam yang ada maka selanjutnya adalah merencanakan penulangan dari struktur tunnel.

Titik titik pancang dianggap sebagai perletakan jepit yang mempunyai panjang jepitan kritis, panjang tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan metode Philiponat. Kedalaman minimal penjepitan tanah terhadap tiang pondasi ( $D_{min}$ ) didapat dari harga terbesar dari harga – harga berikut :

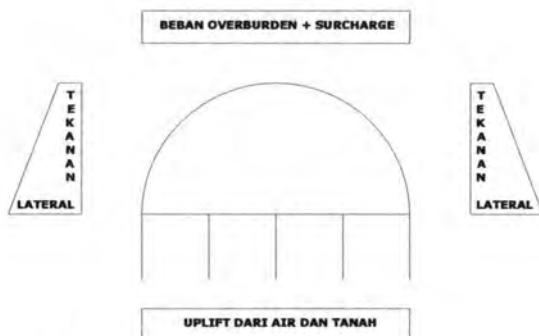
Monolayer = 3 m atau 6 x diameter = 6 x 0,4 = 2,4 m

Multiplayer = 1,5 m atau 3 x diameter = 3 x 0,4 = 1,2 m

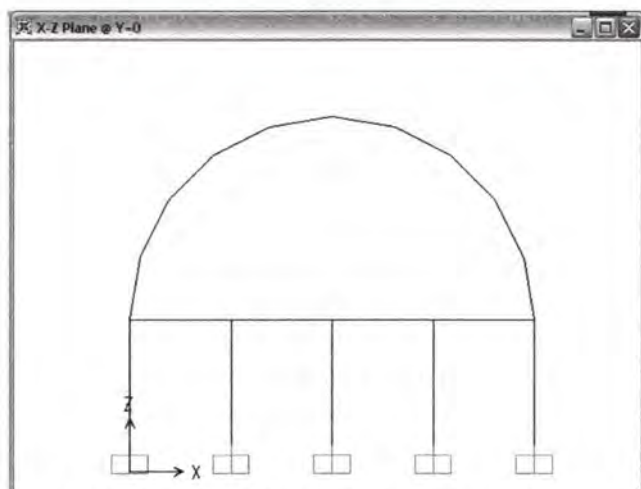
Maka digunakan panjang jepitan kritis tiang = 1,8 meter.

Dalam perhitungan struktur dicoba direncanakan menggunakan 5 tiang pancang dengan diameter 400 mm dengan kedalaman 10 m dibawah dasar terowongan (-21 m).

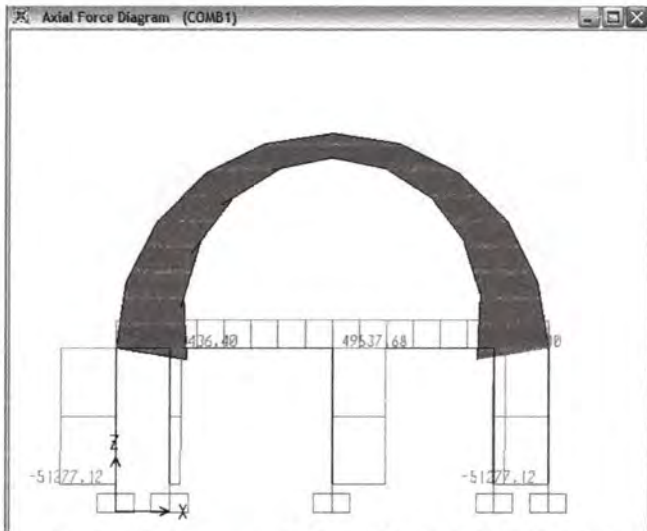




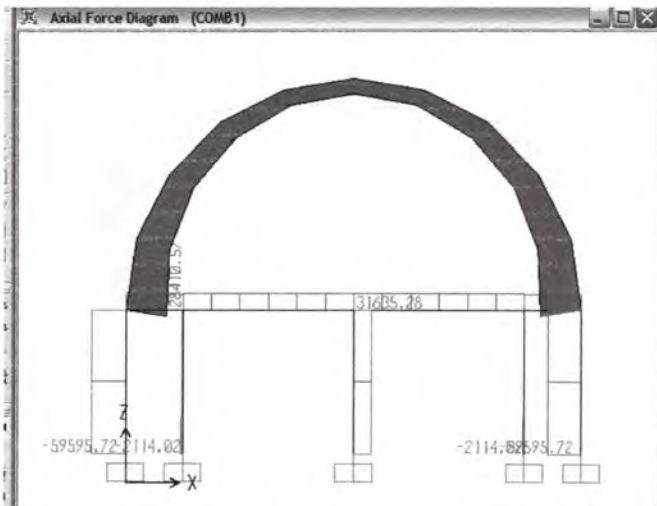
**Gambar 4.25: Ilustrasi pembebanan**  
*Sumber: Analisa penulis*



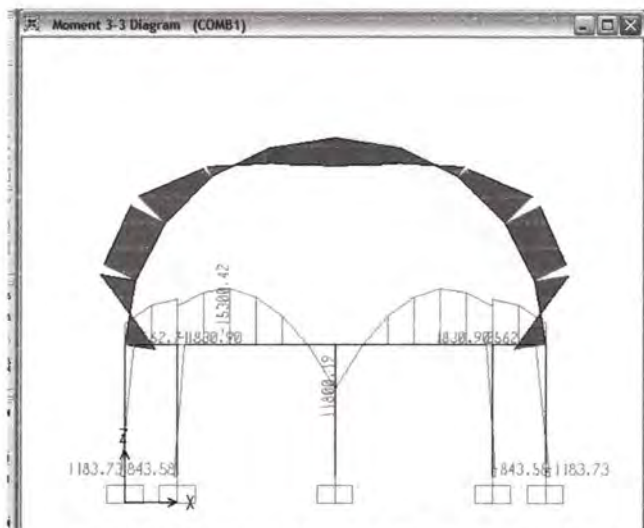
**Gambar 4.26: Pemodelan tunnel dengan tiang pancang**  
*Sumber: Analisa penulis*



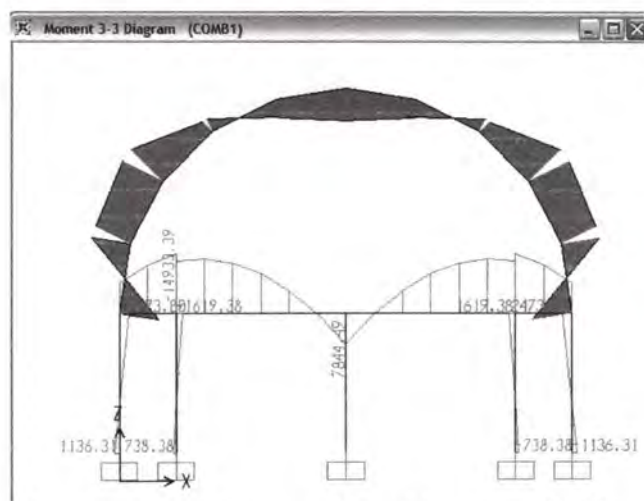
**Gambar 4.27: Diagram bidang N, aksial MAT -01.00 m**  
 Sumber: Analisa penulis



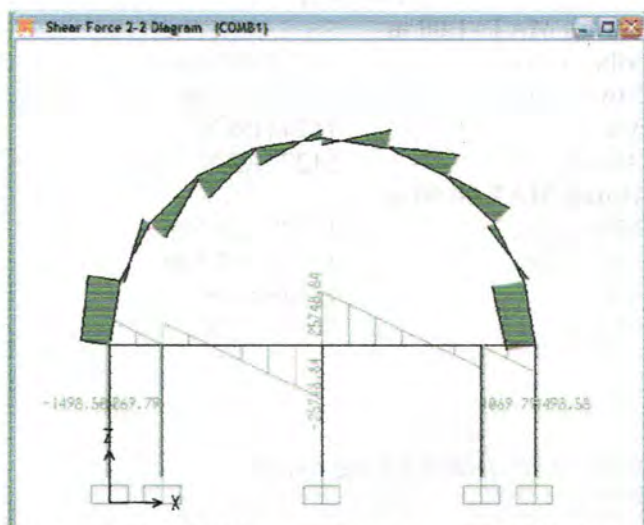
**Gambar 4.28: Diagram bidang N, aksial 00.00 m**  
 Sumber: Analisa penulis



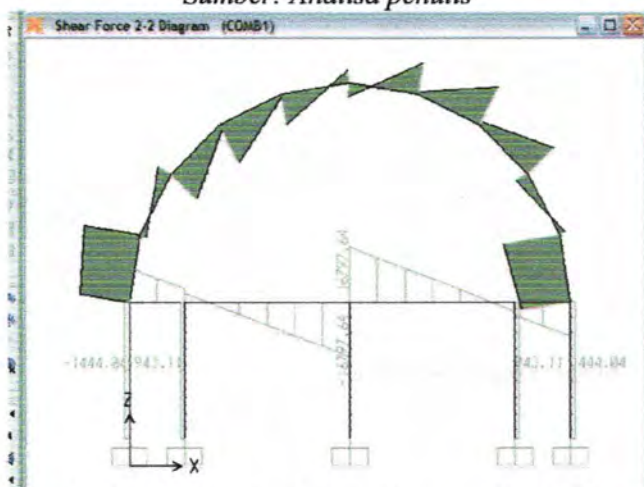
**Gambar 4.29: Diagram bidang M, momen MAT -01.00**  
*Sumber: Analisa penulis*



**Gambar 4.30: Diagram bidang M, momen 00.00 m**  
*Sumber: Analisa penulis*



**Gambar 4.31: Diagram D, geser MAT -01.00 m**  
 Sumber: Analisa penulis



**Gambar 4.32: Diagram bidang D, geser MAT 00.00 m**  
 Sumber: Analisa penulis

### Hasil SAP:

#### 1. Untuk MAT -1.00 m

|           |                |
|-----------|----------------|
| Mlx= -Mtx | : 112543.80 Nm |
| Mly= -Mty | : 83274.50 Nm  |
| Vu        | : 152441.6 N   |
| Aksial    | : 512771.2 N   |

#### 2. Untuk MAT 00.00 m

|           |                |
|-----------|----------------|
| Mlx= -Mtx | : 153004.20 Nm |
| Mly= -Mty | : 118001.90 Nm |
| Vu        | : 257488.4 N   |
| Aksial    | : 595957.2 N   |

**Tabel 4.15: Defleksi yang terjadi**

| TABLE: Joint Displacements |                 |               |            |         |           |               |               |               |
|----------------------------|-----------------|---------------|------------|---------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Joint Text                 | OutputCase Text | CaseType Text | U1<br>m    | U2<br>m | U3<br>m   | R1<br>Radians | R2<br>Radians | R3<br>Radians |
| 1                          | COMB1           | Combination   | -0.000027  | 0       | -0.000014 | 0             | -0.000346     | 0             |
| 2                          | COMB1           | Combination   | 0          | 0       | 0         | 0             | 0             | 0             |
| 3                          | COMB1           | Combination   | -0.000036  | 0       | -0.000465 | 0             | -0.000526     | 0             |
| 4                          | COMB1           | Combination   | 0.000036   | 0       | -0.000465 | 0             | 0.000526      | 0             |
| 5                          | COMB1           | Combination   | 0.000027   | 0       | -0.000014 | 0             | 0.000346      | 0             |
| 6                          | COMB1           | Combination   | 0          | 0       | 0         | 0             | 0             | 0             |
| 7                          | COMB1           | Combination   | 0          | 0       | 0         | 0             | 0             | 0             |
| 8                          | COMB1           | Combination   | 0          | 0       | 0         | 0             | 0             | 0             |
| 9                          | COMB1           | Combination   | -2.218E-17 | 0       | 0.000246  | 0             | 5.124E-19     | 0             |
| 10                         | COMB1           | Combination   | 0          | 0       | 0         | 0             | 0             | 0             |
| -11                        | COMB1           | Combination   | -0.000922  | 0       | -0.000369 | 0             | -0.000558     | 0             |
| -12                        | COMB1           | Combination   | -0.00109   | 0       | -0.000324 | 0             | 0.000311      | 0             |
| -13                        | COMB1           | Combination   | -0.000527  | 0       | -0.000927 | 0             | 0.000874      | 0             |
| -14                        | COMB1           | Combination   | -0.000057  | 0       | -0.001897 | 0             | 0.000705      | 0             |
| -15                        | COMB1           | Combination   | -3.489E-17 | 0       | -0.002372 | 0             | -9.364E-19    | 0             |
| -16                        | COMB1           | Combination   | 0.000057   | 0       | -0.001897 | 0             | -0.000705     | 0             |
| -17                        | COMB1           | Combination   | 0.000527   | 0       | -0.000927 | 0             | -0.000874     | 0             |
| -18                        | COMB1           | Combination   | 0.00109    | 0       | -0.000324 | 0             | -0.000311     | 0             |
| -19                        | COMB1           | Combination   | 0.000922   | 0       | -0.000369 | 0             | 0.000558      | 0             |

Sumber: Analisa penulis

Tabel 4.16: Gaya-gaya dalam hasil SAP 2000

| TABLE: Element Forces - Frames |          |        |             |             |           |         |     |       |       |            |
|--------------------------------|----------|--------|-------------|-------------|-----------|---------|-----|-------|-------|------------|
| Frame                          | Station  | Output | Case        | CaseType    | P         | V2      | V3  | T     | M2    | M3         |
| Text                           | m        | Text   | Text        | Text        | Kgf       | Kgf     | Kgf | Kgf-m | Kgf-m | Kgf-m      |
|                                |          | 0      | COMB1       | Combination | -58840.87 | 1444.04 | 0   | 0     | 0     | 2473.8     |
|                                | 1.25     | COMB1  | Combination | -59218.3    | 1444.04   | 0       | 0   | 0     | 0     | 668.75     |
|                                | 2.5      | COMB1  | Combination | -59595.72   | 1444.04   | 0       | 0   | 0     | 0     | -1136.31   |
|                                | 0        | COMB1  | Combination | -72605.23   | 14848.27  | 0       | 0   | 0     | 0     | 10107.77   |
|                                | 1.25148  | COMB1  | Combination | -58898.37   | 17019.23  | 0       | 0   | 0     | 0     | -9832.93   |
|                                | 1.25148  | COMB1  | Combination | -61274.91   | -2014.35  | 0       | 0   | 0     | 0     | -9832.93   |
|                                | 2.50295  | COMB1  | Combination | -48909.78   | 4286      | 0       | 0   | 0     | 0     | -11254.38  |
|                                | 2.50295  | COMB1  | Combination | -47840.41   | -11037.73 | 0       | 0   | 0     | 0     | -11254.38  |
|                                | 3.75443  | COMB1  | Combination | -38027.39   | -1224.71  | 0       | 0   | 0     | 0     | -3581.31   |
|                                | 3.75443  | COMB1  | Combination | -35787.74   | -12915.87 | 0       | 0   | 0     | 0     | -3581.31   |
|                                | 5.0059   | COMB1  | Combination | -29487.39   | -550.74   | 0       | 0   | 0     | 0     | 4845.26    |
|                                | 5.0059   | COMB1  | Combination | -27873.99   | -9635.89  | 0       | 0   | 0     | 0     | 4845.26    |
|                                | 6.25738  | COMB1  | Combination | -25703.03   | 4070.96   | 0       | 0   | 0     | 0     | 8327.45    |
|                                | 6.25738  | COMB1  | Combination | -25703.03   | -4070.96  | 0       | 0   | 0     | 0     | 8327.45    |
|                                | 7.50885  | COMB1  | Combination | -27873.99   | 9635.89   | 0       | 0   | 0     | 0     | 4845.26    |
|                                | 7.50885  | COMB1  | Combination | -29487.39   | 550.74    | 0       | 0   | 0     | 0     | 4845.26    |
|                                | 8.76033  | COMB1  | Combination | -35787.74   | 12915.87  | 0       | 0   | 0     | 0     | -3581.31   |
|                                | 8.76033  | COMB1  | Combination | -38027.39   | 1224.71   | 0       | 0   | 0     | 0     | -3581.31   |
|                                | 10.01181 | COMB1  | Combination | -47840.41   | 11037.73  | 0       | 0   | 0     | 0     | -11254.38  |
|                                | 10.01181 | COMB1  | Combination | -48909.78   | -4286     | 0       | 0   | 0     | 0     | -11254.38  |
|                                | 11.26328 | COMB1  | Combination | -61274.91   | 2014.35   | 0       | 0   | 0     | 0     | -9832.93   |
|                                | 11.26328 | COMB1  | Combination | -58898.37   | -17019.23 | 0       | 0   | 0     | 0     | -9832.93   |
|                                | 12.51476 | COMB1  | Combination | -72605.23   | -14848.27 | 0       | 0   | 0     | 0     | 10107.77   |
|                                | 0        | COMB1  | Combination | 27467.47    | 10547.68  | 0       | 0   | 0     | 0     | -7633.97   |
|                                | 0.5      | COMB1  | Combination | 27467.47    | 7299.42   | 0       | 0   | 0     | 0     | -12095.75  |
|                                | 1        | COMB1  | Combination | 27467.47    | 4051.15   | 0       | 0   | 0     | 0     | -14933.39  |
|                                | 1        | COMB1  | Combination | 28410.57    | 2691.98   | 0       | 0   | 0     | 0     | -13314.01  |
|                                | 1.5      | COMB1  | Combination | 28410.57    | -556.29   | 0       | 0   | 0     | 0     | -13847.93  |
|                                | 2        | COMB1  | Combination | 28410.57    | -3804.56  | 0       | 0   | 0     | 0     | -12757.71  |
|                                | 2.5      | COMB1  | Combination | 28410.57    | -7052.83  | 0       | 0   | 0     | 0     | -10043.36  |
|                                | 3        | COMB1  | Combination | 28410.57    | -10301.1  | 0       | 0   | 0     | 0     | -5704.88   |
|                                | 3.5      | COMB1  | Combination | 28410.57    | -13549.37 | 0       | 0   | 0     | 0     | 257.74     |
|                                | 4        | COMB1  | Combination | 28410.57    | -16797.64 | 0       | 0   | 0     | 0     | 7844.49    |
|                                | 4        | COMB1  | Combination | 28410.57    | 16797.64  | 0       | 0   | 0     | 0     | 7844.49    |
|                                | 4.5      | COMB1  | Combination | 28410.57    | 13549.37  | 0       | 0   | 0     | 0     | 257.74     |
|                                | 5        | COMB1  | Combination | 28410.57    | 10301.1   | 0       | 0   | 0     | 0     | -5704.88   |
|                                | 5.5      | COMB1  | Combination | 28410.57    | 7052.83   | 0       | 0   | 0     | 0     | -10043.36  |
|                                | 6        | COMB1  | Combination | 28410.57    | 3804.56   | 0       | 0   | 0     | 0     | -12757.71  |
|                                | 6.5      | COMB1  | Combination | 28410.57    | 556.29    | 0       | 0   | 0     | 0     | -13847.93  |
|                                | 7        | COMB1  | Combination | 28410.57    | -2691.98  | 0       | 0   | 0     | 0     | -13314.01  |
|                                | 7        | COMB1  | Combination | 27467.47    | -4051.15  | 0       | 0   | 0     | 0     | -14933.39  |
|                                | 7.5      | COMB1  | Combination | 27467.47    | -7299.42  | 0       | 0   | 0     | 0     | -12095.75  |
|                                | 8        | COMB1  | Combination | 27467.47    | -10547.68 | 0       | 0   | 0     | 0     | -7633.97   |
|                                | 0        | COMB1  | Combination | -58840.87   | -1444.04  | 0       | 0   | 0     | 0     | -2473.8    |
|                                | 1.25     | COMB1  | Combination | -59218.3    | -1444.04  | 0       | 0   | 0     | 0     | -668.75    |
|                                | 2.5      | COMB1  | Combination | -59595.72   | -1444.04  | 0       | 0   | 0     | 0     | 1136.31    |
|                                | 0        | COMB1  | Combination | -1359.17    | -943.11   | 0       | 0   | 0     | 0     | -1619.38   |
|                                | 1.25     | COMB1  | Combination | -1736.6     | -943.11   | 0       | 0   | 0     | 0     | -440.5     |
|                                | 2.5      | COMB1  | Combination | -2114.02    | -943.11   | 0       | 0   | 0     | 0     | 738.38     |
|                                | 0        | COMB1  | Combination | -1359.17    | 943.11    | 0       | 0   | 0     | 0     | 1619.38    |
|                                | 1.25     | COMB1  | Combination | -1736.6     | 943.11    | 0       | 0   | 0     | 0     | 440.5      |
|                                | 2.5      | COMB1  | Combination | -2114.02    | 943.11    | 0       | 0   | 0     | 0     | -738.38    |
|                                | 0        | COMB1  | Combination | 31625.28    | 5.304E-11 | 0       | 0   | 0     | 0     | 6.695E-11  |
|                                | 1.25     | COMB1  | Combination | 31257.85    | 5.304E-11 | 0       | 0   | 0     | 0     | 6.518E-13  |
|                                | 2.5      | COMB1  | Combination | 30880.42    | 5.304E-11 | 0       | 0   | 0     | 0     | -6.565E-11 |

Sumber: Analisa penulis

#### 4.9.3.4 Perencanaan Penulangan Lining

a. Untuk keadaan tanah dengan MAT -1.00 m  
 Contoh perhitungan berdasarkan *PBI 71 Tabel 13.3.2 hal. 203*:

|               |                                     |
|---------------|-------------------------------------|
| $f_c'$        | = 50 Mpa                            |
| $f_y$         | = 450 Mpa                           |
| $\gamma_1$    | = 0,85 ( <i>SKSNI '91 3.3.2.7</i> ) |
| Selimit beton | = 40 mm                             |

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{450}{0,85 \cdot 50} = 10,588$$

(*SKSNI '91 3.3.5.1*)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{450} = 0,003$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,05505$$

(*SKSNI '91 3.1.4.3*)

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}} = 0,0413$$

(*SKSNI '91 3.3.3.3*)

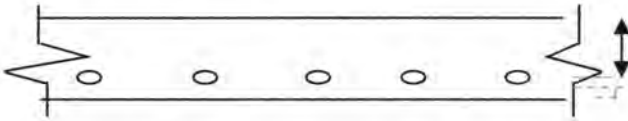
Tulangan untuk dinding dengan tebal ( $t$ ) = 30 cm.

Momen yang terjadi:

$$M_{lx} = -M_{tx} = 112543,80 \text{ Nm}$$

$$M_{ly} = -M_{ty} = 83274,50 \text{ Nm}$$

- Tulangan arah x



$$M_u = 112543.80 \text{ Nm} \quad \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$$

$$\phi = 16 \text{ mm} \quad b = 1000 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$d = t - \text{selimut beton} - 0,5 \cdot \phi = 252 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{112543800.00}{16 \cdot 1000 \cdot 252^2} = 0.1107645$$

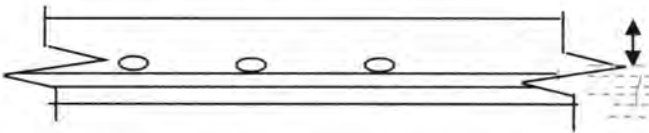
$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0.000246$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000246 < \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,00311$$

$$A_s_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 784 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi 16$  -250 mm ( $A_s = 804.247 \text{ mm}^2$ )

- Tulangan arah y



$$M_u = 83274.50 \text{ Nm} \quad \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$$

$$\phi = 14 \text{ mm} \quad b = 1000 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$D_x = t - \text{selimut beton} - 0,5 \cdot \text{dia.tul} - \text{dia.tul} = 239$$



$$R_n = \frac{83274500}{14 \cdot 1000 \cdot 239^2} = 0.104133$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0.000232$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000322 < \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,00311$$

$$A_s_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 743.55556 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi$  14 -200 mm ( $A_s = 769.69 \text{ mm}^2$ )

Menurut SK-SNI 3.6.4.2 S terpasang  $< 2 \times t$  pelat =  $2 \times 300 = 600 \text{ mm}$

-Penulangan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus arah tulangan memanjang dengan spasi tidak boleh lebih besar dari  $5 \times$  tebal dinding atau  $500 \text{ mm}$  (SK-SNI 3.16.12-2.1.a).

Rasio tulangan susut dan suhu ( $\rho$ ) = 0,002

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \cdot d \cdot d \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\phi$  8 - 250 ( $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$ )

#### - Perhitungan tulangan geser

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{152441.6}{0,6} = 254069.33$$

#### -Kekuatan geser yang diterima beton

$$V_c = \frac{f_c}{4} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{50}{4} \times 1000 \times 150$$

$$V_c = 1875000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = \frac{1}{1875000} \times 1875000$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_n \text{ perlu ujung} \\ 1875000 &> 254069.3 \end{aligned}$$

### Perhitungan sambungan

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{152441.6}{1} = 152441.6 \text{ N}$$

### - Kekuatan geser yang diterima baut

Semua geser diterima oleh baut rencana:

### perhitungan dimensi dowel

$$\begin{aligned} \text{Tegangan geser pada lining} \\ V_s &= 15.24416 \text{ ton} \end{aligned}$$

### kekuatan geser baut baja

gunakan baut baja D28

$$\begin{aligned} d &= 2.8 \text{ cm} \\ f_y &= 3900 \text{ kg/m}^2 \\ f_u &= 5100 \text{ kg/m}^2 \\ \pi &= 22/7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \\ &= \frac{1 \cdot 22/7 \cdot 2.8^2}{4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \\
 &= 6.16 \quad \text{cm}^2 \\
 R_n &= A_g \cdot f_u \\
 &= 31416 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

Digunakan 1 buah baut ukuran D-28 mm per m

### Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 390 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai  $z$  yang diberikan oleh:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.6(4)25}$$

Tidak melebihi 25 MN/m untuk penampang di dalam ruangan

Dimana:

$f_s$  = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, dapat diambil  $0.6f_y$

$$= 0.6 \times 450 \text{ MPa} = 270 \text{ MPa}$$

$d_c$  = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan

$$d_c = 40 + 1/2 \cdot 16 + 14 = 62 \text{ mm}$$

$A$  = luas efektif beton tarik di sekitar lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan tersebut dibagi jumlah batang tulangan

$$A = \frac{2(40 + 1/2 \cdot 16) \times 1000}{5} = 19200 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

$$= 270 \sqrt[3]{0.062 \times 0.01920} = 28.6 \text{ MN/m} > 25 \text{ MN/m}$$

... KO

arena  $z >$  dari yang disyaratkan maka jumlah tulangan harus ditambah

engan cara trial and error didapatkan jumlah tulangan minimum

16 - 150

$$s \text{ perlu} = 1847,25 \text{ mm}^2$$

$$s \text{ max} =$$

$$s_{\text{max}} \cdot b \cdot x = 0,0252 \times 1000 \times 323 = 8139,6 \text{ mm}^2$$

$s \text{ perlu} < s \text{ max}$  ....OK (Under Reinforce)

$$= \frac{2 \left( 40 + \frac{1}{2} 16 \right) \times 1000}{8} = 12000 \text{ mm}^2$$

$$= f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

$$= 270 \sqrt[3]{0.062 \times 0.012} = 24,465 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m}$$

... OK

bagai alternatif terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh:

$$= 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{SNI 03-2847-2002 pasal 12.6(4)25}$$

$$= 11 \times 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 24,465 \times 10^3 = 0,229 \text{ mm} \dots \text{Ok!}$$

ai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang dipengaruhi cuaca luar.

**Tulangan terpasang = D 16 - 100**

#### b. Untuk keadaan tanah dengan MAT 00.00 m

Contoh perhitungan berdasarkan PBI 71 Tabel 13.3.2 - hal. 203:

$$f_c' = 50 \text{ Mpa}$$

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| $f_y$         | = 450 Mpa                  |
| $\gamma_1$    | = 0,85 (SKSNI '91 3.3.2.7) |
| Selimut beton | = 40 mm                    |

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{450}{0,85 \cdot 50} = 10,588$$

(SKSNI '91 3.3.5.1)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{450} = 0,003$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,05505$$

(SKSNI '91 3.1.4.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}} = 0,0413$$

(SKSNI '91 3.3.3.3)

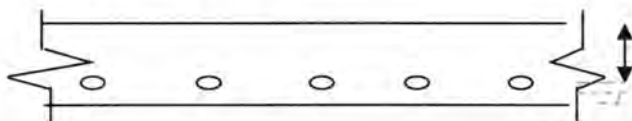
Tulangan untuk dinding dengan tebal (t) = 50 cm.

Momen yang terjadi:

$$M_{ix} = -M_{tx} = 153004,20 \text{ Nm}$$

$$M_{iy} = -M_{ty} = 118001,90 \text{ Nm}$$

- **Tulangan arah x**



$$M_u = 153004,20 \text{ Nm}$$

$$\text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$$

$$\phi = 16 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$d = t - \text{selimut beton} - 0,5 \cdot \phi = 252 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{153004200.00}{16 \cdot 1000 \cdot 252^2} = 0.1505852$$

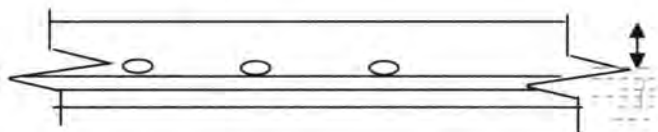
$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0.000335$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000335 < \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,00311$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 784 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\phi$  16 -250 mm ( $A_s = 804.247 \text{ mm}^2$ )

#### - Tulangan arah y



$$M_u = 118001.90 \text{ Nm} \quad \text{tebal pelat} = 300 \text{ mm}$$

$$\phi = 14 \text{ mm} \quad b = 1000 \text{ mm}$$

(diambil per meter)

$$d_x = t - \text{selimut beton} - 0,5 \cdot \text{dia.tul} - \text{dia.tul} = 239 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{118001900}{14 \cdot 1000 \cdot 239^2} = 0.1475588$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0.000328$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000328 < \rho_{\text{min}} = 0,00311 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,00311$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 743.55556 \text{ mm}^2$$

gunakan tulangan  $\phi$  14 -200 mm ( $A_s = 769.69 \text{ mm}^2$ )

Menurut SK-SNI 3.6.4.2 S terpasang  $< 2 \times t \text{ pelat} = 2 \times 300 = 600 \text{ mm}$

**-Penulangan susut dan suhu**

Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus arah tulangan memanjang dengan spasi tidak boleh lebih besar dari 5 x tebal dinding atau 500 mm (SK-SNI 3.16.12-2.1.a).

Rasio tulangan susut dan suhu ( $\rho$ ) = 0,002

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot d \cdot d \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\phi$  8 – 250 (As = 201,1 mm<sup>2</sup>)

**- Perhitungan tulangan geser**

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{257488.4}{0,6} = 429147.3$$

**-Kekuatan geser yang diterima beton**

$$V_c = \frac{f'_c}{4} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{50}{4} \times 1000 \times 238$$

$$V_c = 2975000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1 \times 2975000$$

$$= 2975000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_n \text{ perlu ujung} \\ 2975000 &> 429147.3 \end{aligned}$$

**- Perhitungan sambungan**

$$V_n \text{ perlu ujung} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{170192.3}{1} = 170192.3 \text{ N}$$

### - Kekuatan geser yang diterima baut

Semua geser diterima oleh baut rencana:  
**perhitungan dimensi dowel**

$$\text{Tegangan geser pada lining} \\ V_s = 17.01923 \text{ ton}$$

**kekuatan geser baut baja**  
 gunakan baut baja D20

$$\begin{aligned} d &= 2.8 \text{ cm} \\ f_y &= 3900 \text{ kg/m}^2 \\ f_u &= 5100 \text{ kg/m}^2 \\ \pi &= 22/7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \\ &= \frac{1 \cdot 22/7 \cdot 2.8^2}{4} \\ &= 6.16 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= A_g \cdot f_u \\ &= 31416 \text{ kg} \end{aligned}$$

Digunakan 1 buah baut ukuran D-28 mm per m

### ontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik ebihi 390 MPa, maka penampang dengan momen positif dan



negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai  $z$  yang diberikan oleh:

$$z = fs \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{SNI 03-2847-}$$

2002 pasal 12.6(4)25

Tidak melebihi 25 MN/m untuk penampang di dalam ruangan

Dimana:

$f_s$  = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, dapat diambil  $0.6f_y$

$$= 0.6 \times 450 \text{ MPa} = 270 \text{ MPa}$$

$d_c$  = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan

$$d_c = 40 + 1/2 \cdot 16 + 14 = 62 \text{ mm}$$

$A$  = luas efektif beton tarik di sekitar lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan tersebut dibagi jumlah batang tulangan

$$A = \frac{2(40 + \frac{1}{2} \cdot 16) \times 1000}{5} = 19200 \text{ mm}^2$$

$$z = fs \sqrt[3]{d_c A}$$

$$= 270 \sqrt[3]{0.062 \times 0.01920} = 28.6 \text{ MN/m} > 25 \text{ MN/m}$$

... KO

Karena  $z >$  dari yang disyaratkan maka jumlah tulangan harus ditambah

Dengan cara trial and error didapatkan jumlah tulangan minimum D 16 – 150

$$A_s \text{ perlu} = 1847,25 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ max} =$$

$$\rho_{\text{max}} x b x d = 0,0252 \times 1000 \times 323 = 8139,6 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ max}$  ....OK (Under Reinforce)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2\left(40 + \frac{1}{2}16\right) \times 1000}{8} = 12000 \text{ mm}^2 \\
 &= fs \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 270 \sqrt[3]{0.062 \times 0.012} = 24,465 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \\
 &\dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Sebagai alternatif terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh:

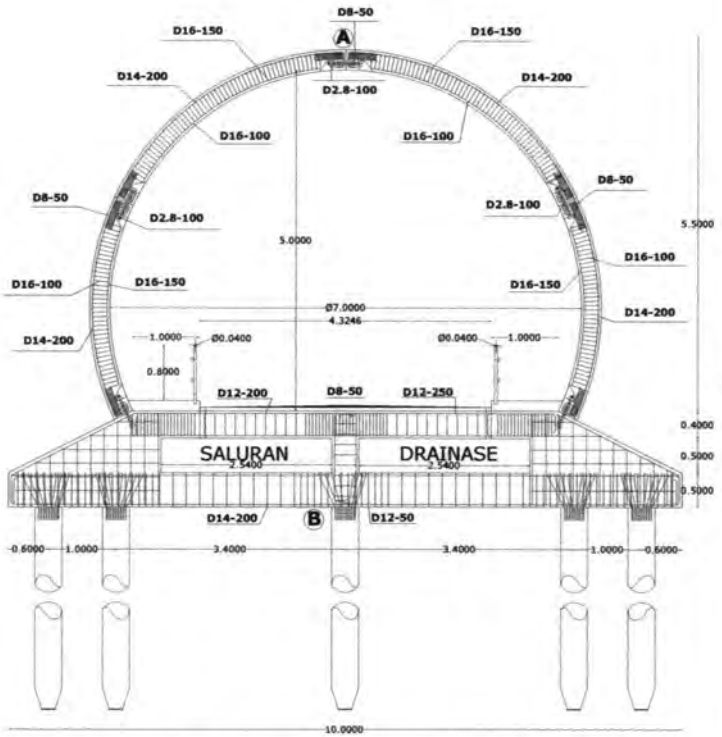
$$w = 11 \times 10^{-6} \cdot \beta \cdot fs \sqrt[3]{d_c A} \quad \text{SNI 03-2847-}$$

2002 pasal 12.6(4)25

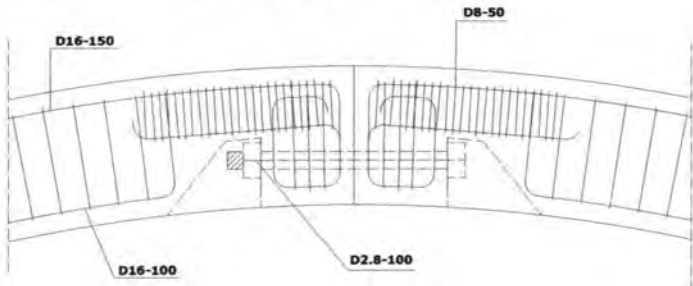
$$= 11 \times 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 24,465 \times 10^3 = 0,229 \text{ mm} \dots \text{ Ok!}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

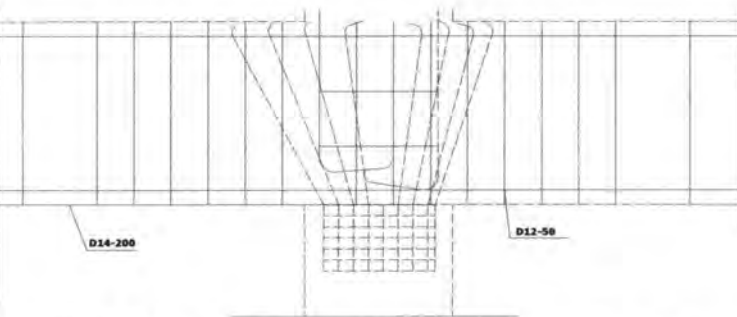
**ulangan terpasang = D 16 - 100**



**Gambar 4.33: Penampang terowongan dan tulangan**  
 Sumber: analisa penulis



**Gambar 4.34: (A) detil sambungan tulangan dan baut**  
 Sumber: analisa penulis



**Gambar 4.35: (B) detail sambungan tulangan kepala poer**  
*Sumber: analisa penulis*

#### 4.9.3.5 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Gaya aksial yang diterima satu tiang = 59.596 ton  
 Daya dukung tiang pancang  $\varnothing$  400 mm dengan kedalaman 10 m = 197.27 ton  
 Direncanakan menggunakan SF = 3 , maka:  $59.596 < 197,27/3 = 65.757$  ton .....OK

#### Perhitungan Efisiensi Tiang Pancang

Direncanakan menggunakan tiang pancang diameter 40 cm dengan kedalaman 10 m dari dasar terowongan, daya dukung tiang tersebut adalah 197,27 ton.

Daya dukung Pile Group

$$Ql_{group} = Ql_{tiang} \times n \times Ce$$

dimana : n = jumlah tiang dalam group

Ce = koefisien efisiensi

rumus yang dipakai untuk menghitung  $C_e$  yaitu rumus Converse – Labarre:



$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\phi}{S}\right)}{90^\circ} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

dengan:

- $\phi$  = Diameter sebuah tiang pondasi
- S = Jarak as ke as antar tiang dalam group
- m = Jumlah baris tiang dalam group
- n = Jumlah kolom tiang dalam group

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(400/1000)}{90^\circ} \cdot \left(2 - \frac{1}{1} - \frac{1}{2}\right) = 0,897$$

➤ Apabila jarak tiang  $> 3-3,5\phi$ , dianggap single pile

$$Q_{ijingroup} = 197,27 \times 2 \times 0,879$$

$$= 346,8 \text{ ton}$$

$$Ql_{group} = 105,75 \times 2$$

$$= 211,5 \text{ ton}$$

Q ijin grup = 250,58 ton  $>$  Q grup = 211,5 ton .....OK

## 4.10 Perencanaan Box Culvert

Perencanaan box culvert ditujukan sebagai dinding penahan tanah untuk *approach road*.

### Data Pembebanan

Berdasarkan Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya (PMUJJR 1970),

dalam perencanaan box culvert, beban berguna yang diterapkan adalah beban T (terpusat)

besar = 10 ton. Adapun penerapannya sesuai dengan klas yang direncanakan.

Untuk Jalan Tunjangan, penerapan beban berguna memakai BM 70 (70% beban diterapkan)

Jadi beban berguna yang bekerja pada struktur adalah =  $0,7 \times 10 = 7$  ton.

Dengan memperkirakan adanya faktor kejut = 1,2 maka  $T = 7 \times 1,2 = 8,4$  ton

### Perhitungan Plat Penutup Box Culvert

#### Data-data perencanaan :

Tebal plat,  $h = 40$  cm

Tebal selimut = 2 cm

Mutu beton,  $K = 350 \longrightarrow f_c' = 0,85 \times 35 = 30$  Mpa

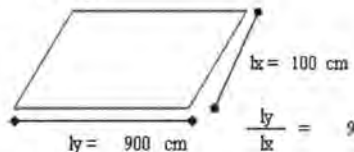
Mutu baja,  $U = 39 \longrightarrow f_y = 390$  Mpa

Diameter tulangan = 16 mm

$d_{eff} = h - \text{selimut} - 0,5 \varnothing \text{ tulangan}$

$= 40 - 2 - 0,8$

$= 37,2$  cm = 372 mm



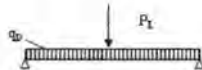
#### Perhitungan Momen pada Pelat Penutup dengan Kondisi Terletak Bebas :

Karena  $l_y$  dan  $l_x$  hampir sama ( $l_y/l_x = 1,2$ ), maka momen akan ditinjau terhadap  $l_y$

Beban mati : berat sendiri pelat =  $0,40 \times 1,00 \times 2400,0$

$q_D = 960$  kg/m

Beban hidup roda :  $P_L = T = 8400,0$  kg (BM 70)



Besarnya momen lapangan yang terjadi

$M_u = 1,2 \text{ MD (alokat beban mati)} + 1,6 \text{ ML (alokat beban hidup roda)}$

$M_u = 1,2 \times 0,001 \times q_D \times l_y^2 \times k + 1,6 \times 0,25 \times P_L \times l_y$

( $k$  = koef. Momen pelat berdasarkan  $l_y/l_x$  dan tipe tumpuan)

$M_u = 1,2 \times 0,001 \times 960 \times 9,00^2 \times 45 + 1,6 \times 0,25 \times 8400,0 \times 9,00$

$M_u = 34.439,0400$  kgm = 344.390.400 Nmm

#### Perhitungan kebutuhan penulangan :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2} = \frac{344390400,00}{0,80 \times 1000 \times 372^2} = 3,11082 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,4226396$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,42} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,42 \times 3,11}{390}} \right) = 0,00854$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,40}{f_y} = \frac{1,40}{390} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (\beta = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ Mpa})$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \times \frac{600}{600 + 390} = 0,0334$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0334 = 0,0251$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ , maka  $\rho_{\text{pilih}} = \rho$

$$\longrightarrow \text{Luas tulangan yang dibutuhkan} = \rho \times b \times d_{\text{eff}}$$

$$= 0,00854 \times 1000 \times 372 = 3.176,4 \text{ mm}^2$$

Jadi, digunakan tulangan rangkap :  $\emptyset 16 \text{ mm} - 100 \text{ mm}$  ( $A_s = 4021,24 \text{ mm}^2$ )  
untuk arah lx dan ly

#### \* Perhitungan U-Ditch Akibat Gaya Lateral

##### Data-data perencanaan :

Tebal plat,  $h = 60 \text{ cm}$

Tebal selimut =  $4 \text{ cm}$

Diameter tulangan =  $20 \text{ mm}$

$d_{\text{eff}} = h - \text{selimut} - 0,5 \emptyset \text{ tulangan}$

$$= 60 - 4 - 1$$

$$= 55,0 \text{ cm} = 550 \text{ mm}$$

Mutu beton,  $f_c' = 30 \text{ Mpa}$

Mutu baja,  $f_y = 290 \text{ Mpa}$

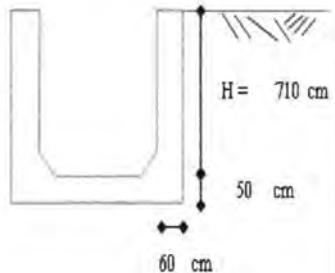
Tinggi Saluran =  $H = 710 \text{ cm}$

$\gamma \text{ tanah} = 1875 \text{ kg/m}^3$

Sudut geser tanah  $\theta = 15,1^\circ$

$$K_a = \tan^2(45 - \theta/2) = 0,586$$

Muka air tanah di atas saluran

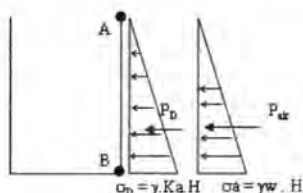


**Pembebanan**

+ Beban mati akibat tekanan aktif tanah

$$\begin{aligned}
 P_D &= 1/2 \cdot \gamma \cdot K_a \cdot H \\
 &= 0,50 \times 1875 \times 0,59 \times 7^2 \\
 &= 27693,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_D \text{ di B} &= P_D \times 1/3 \times H \\
 &= 27693,42 \times 0,33 \times 7,10 \\
 &= 65541,10 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

**akibat beban air**

$$\begin{aligned}
 P_{ak} &= 1/2 \cdot \gamma_{ak} \cdot H \\
 &= 0,50 \times 1000 \times 7,1 \\
 &= 3550,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$M_L \text{ di B} = P_{L, ak} \times 1/3 \times H = 3550,00 \times 0,33 \times 7,10 = 8401,67 \text{ kgm}$$

+ Momen Ultimate yang terjadi di titik B :

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,0 \times M_D + 1,0 \times M_L = 1,0 \times 65541,10 + 1,0 \times 8401,67 \\
 &= 73.942,76225343 \text{ kgm} = 739.427.622,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

**Kebutuhan Penulangan**

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2} = \frac{739.427.622,534}{0,80 \times 1000 \times 550^2} = 3,05549 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{290}{0,85 \times 30} = 11,4681167$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,47 \times 3,06}{290}} \right) = 0,01126
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,40}{f_y} = \frac{1,40}{290} = 0,0048$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (\beta = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ Mpa}) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{290} \times \frac{600}{600 + 290} = 0,0500
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0500 = 0,0375$$

Karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ , maka  $\rho_{pak} = \rho$ 

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \text{Luas tulangan yang dibutuhkan} &= \rho \times b \times d_{eff} \\
 &= 0,01126 \times 1000 \times 550 = 6.195,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan rangkap :  $\varnothing 20 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  ( $A_s = 6283,19 \text{ mm}^2$ )  
 untuk arah  $l_x$  dan  $l_y$



**Check Stabilitas**

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas} &= \gamma_{\text{beton}}^{1,5} \times 0,043 \times (f_c')^{0,5} & (\gamma_{\text{beton}} &= 2400 \text{ kg/m}^3) \\ &= 2400^{1,50} \times 0,043 \times 30^{0,50} \\ &= 275.758,43 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment Inertia Dinding U-Ditch} &= I = 1/12 \times b \times h^3 & ; b = 100 \text{ cm}, h = 800 \text{ cm} \\ I &= \frac{1}{12} \times 100 \times 60^3 = 1800000 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban hidup lateral (kendaraan)

$$\begin{aligned} \Delta_L &= \frac{q_L \times K_a \times H^4}{8 \times E \times I} = \frac{0,01 \times 0,59 \times 710^4}{8 \times 275.758,43 \times 1800000} \\ &= 0,00045 \text{ cm} \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban mati dari tekanan tanah

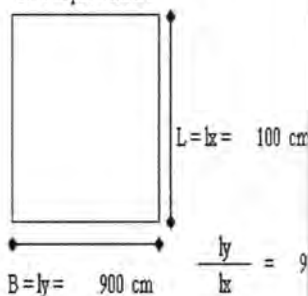
$$\begin{aligned} \Delta_D &= \frac{\gamma \times K_a \times H^4}{15 \times E \times I} = \frac{0,00188 \times 0,59 \times 710^4}{8 \times 275.758,43 \times 1800000} \\ &= 0,000070 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan total} = \Delta_{\text{total}} &= \Delta_L + \Delta_D = 0,00045 + 0,000070 \\ &= 0,00052 \text{ cm} \end{aligned}$$

**\* Perhitungan U-Ditch Akibat Gaya Vertikal****Data-data perencanaan :**

$$\begin{aligned} \text{Tebal plat, } h &= 50 \text{ cm} \\ \text{Tebal selimut} &= 4 \text{ cm} \\ \text{Diameter tulangan} &= 21 \text{ mm} \\ d_{\text{eff}} &= h - \text{selimut} - 0,5 \varnothing \text{ tulangan} \\ &= 50 - 4 - 1,1 \\ &= 45,0 \text{ cm} = 450 \text{ mm} \\ \text{Mutu beton, } f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ \text{Mutu baja, } f_y &= 290 \text{ Mpa} \\ \text{Tinggi Sahuran} = H &= 710 \text{ cm} \\ \gamma_{\text{tanah urug}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \gamma_{\text{beton}} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Ukuran pelat dasar :



**Beban****Beban mati akibat berat Box Culvert**

$$\begin{aligned} \text{Berat U-Ditch} &= \text{Luas Penampang U-Ditch} \times \text{Panjang tiap element} \times \gamma \text{ beton} \\ &= 8,8725 \times 1 \times 2400 = 21294 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pelat Penutup} &= \text{Luas Penampang Pelat} \times \text{Panjang element} \times \gamma \text{ beton} \\ &= 1 \times 1 \times 2400 = \frac{2400}{23694} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Berat mati total} = 23694 \text{ kg}$$

$$q_D = \text{berat mati total} / l_x = 23694 / 1$$

$$q_D = 23694 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_D &= 1,2 \times 0,001 \times q_D \times l_y^2 \times k \\ &= 1,2 \times 0,001 \times 2400,00 \times 9,00^2 \times 45 = 10497,6 \text{ kgm} \end{aligned}$$

**Beban hidup**

$$\text{Berat kendaraan (BM 70) dengan faktor kejut 1,2 (PL)} = 8.400,0 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah base jalan rata-rata} &= \text{luas saluran base} \times \gamma \text{ tanah pengisi} \\ &= 7,8 \times 2,5 \times 1700 = 33150 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$q_L = \text{berat hidup base} / l_x = 33150 / 1$$

$$q_L = 33.150,0 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_L &= 1,6 \times 0,001 \times q_L \times l_y^2 + 1,6 \times 0,25 \times P_L \times l_y \\ &= 1,6 \times 0,001 \times 33150,00 \times 9,00^2 + 1,6 \times 0,25 \times 8.400,0 \times 9,00 \\ &= 34.536,24 \text{ kgm} \end{aligned}$$

**Rhitungan Momen Ultimate yang terjadi pada pelat**

Karena  $l_y$  dan  $l_x$  hampir sama ( $l_y/l_x = 1,1$ ), maka momen akan ditinjau terhadap  $l_y$  sarnya momen lapangan yang terjadi

$$= M_D + M_L$$

$$= 10497,6 + 34536,24 = 45033,84 \text{ kgm} = 450.338.400 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kebutuhan penulangan :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2} = \frac{450338400,00}{0,80 \times 1000 \times 450^2} = 2,78605 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{290}{0,85 \times 30} = 11,4681167$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,47 \times 2,8}{290}} \right) = 0,01020414 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,40}{f_y} = \frac{1,40}{290} = 0,0048$$

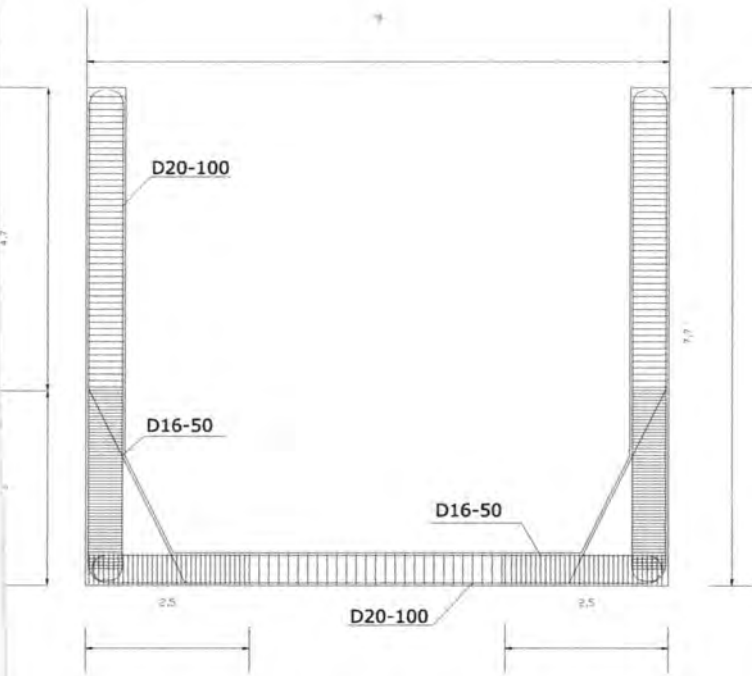
$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (\beta = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ Mpa}) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{290} \times \frac{600}{600 + 290} = 0,0500 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0500 = 0,0375$$

Karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ , maka  $\rho_{perlu} = \rho$

$$\begin{aligned} \longrightarrow \text{Luas tulangan yang dibutuhkan} &= \rho \times b \times d_{eff} \\ &= 0,01020 \times 1000 \times 450 = 4.586,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan rangkap :  $\emptyset$  21 mm - 150 mm ( $A_s = 4618,14 \text{ mm}^2$ )  
untuk arah lx dan ly



**Gambar 4.36: Penampang penulangan box culvert terbuka**  
*Sumber: Analisa penulis*

**BAB V**  
**REKAPITULASI HASIL**  
**PERENCANAAN**

## BAB V REKAPITULASI HASIL PERENCANAAN

Rekapitulasi hasil perencanaan mencakup perencanaan metoda TBM (Tunnel Boring Machine) dan metoda 'Cut and Cover', yang berupa gambar-gambar detil dan tabel. Trase underpass diberikan dalam gambar 5.1. Untuk metoda TBM, rekapitulasi hasil perencanaan disajikan dalam gambar 5.2 sampai dengan 5.8 sedangkan untuk metoda Cut and Cover, hasil perencanaan ditunjukkan dalam gambar 5.9 sampai dengan 5.17. Rekapitulasi hasil perencanaan metoda dirangkum dalam tabel 5.1:

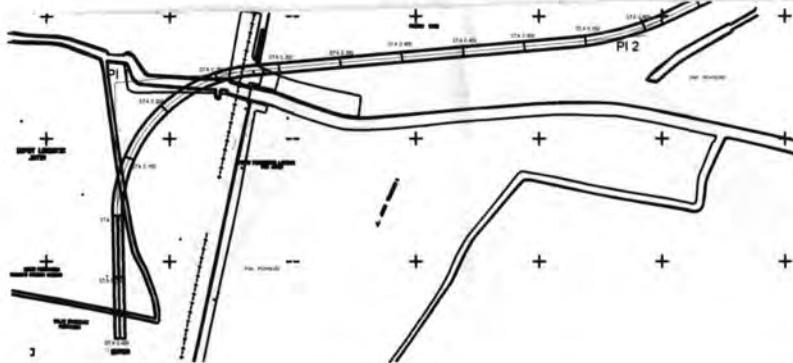
Tabel 5.1: Rekapitulasi Hasil Perencanaan

| No | Elemen Perencanaan  | Metoda TBM                        | Metoda Cut & Cover             |
|----|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1  | Dimensi Underpass<br>- diameter luar (m)<br>- diameter dalam (m)<br>- panjang (m)<br>- tebal lining (m) | 8,00<br><br>7,00<br>660<br>0,5    | 7,60<br><br>7,00<br>660<br>0,3 |
| 2  | Tipe Tunnel   | Bulat (lingkaran penuh) segmental | Setengah lingkaran segmental   |

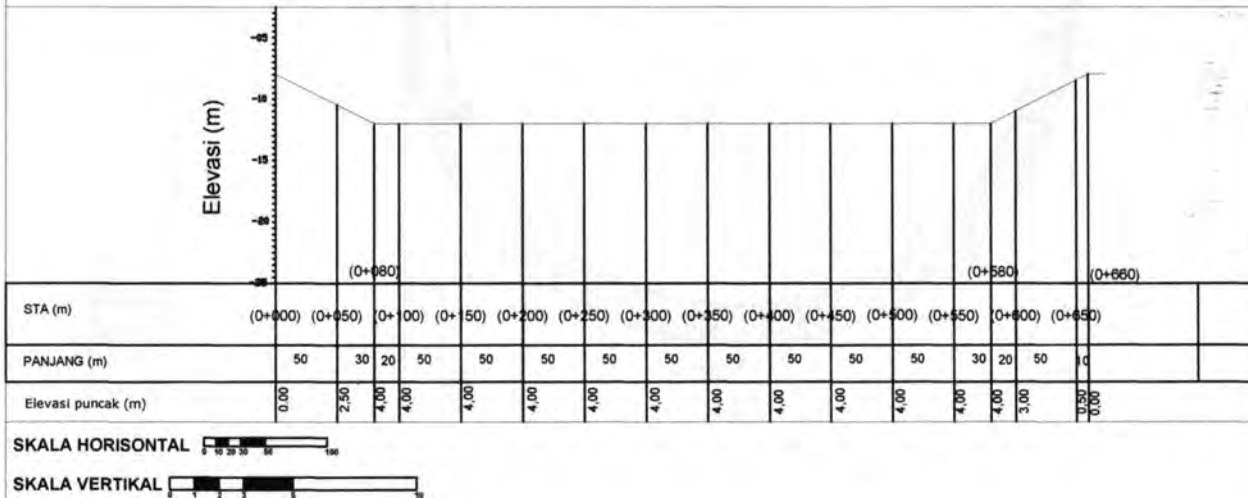
|   |                |   |  |
|---|----------------|---|--|
| 3 | Sistem pondasi | Strauss diameter 0,4 m, panjang 10 m dari dasar, 4 buah percincin lingkaran | Tiang pancang diameter 0,4, panjang panacang 10 m dari dasar, jumlah 5 per cincin lining |
|---|----------------|---|--|

Sumber: Analisa penulis

PI 1  
 R : 119 m  
 Vd : 60 km/jam  
 Ls : 72.69 m  
 $\theta$  : 17.5  
 $\Delta$  : 35  
 k : 36.228  
 p : 1.89  
 Es : 7.757  
 STA TS : 00+107  
 STA SC : 00+190  
 STA CS : 00+190  
 STA ST : 00+270

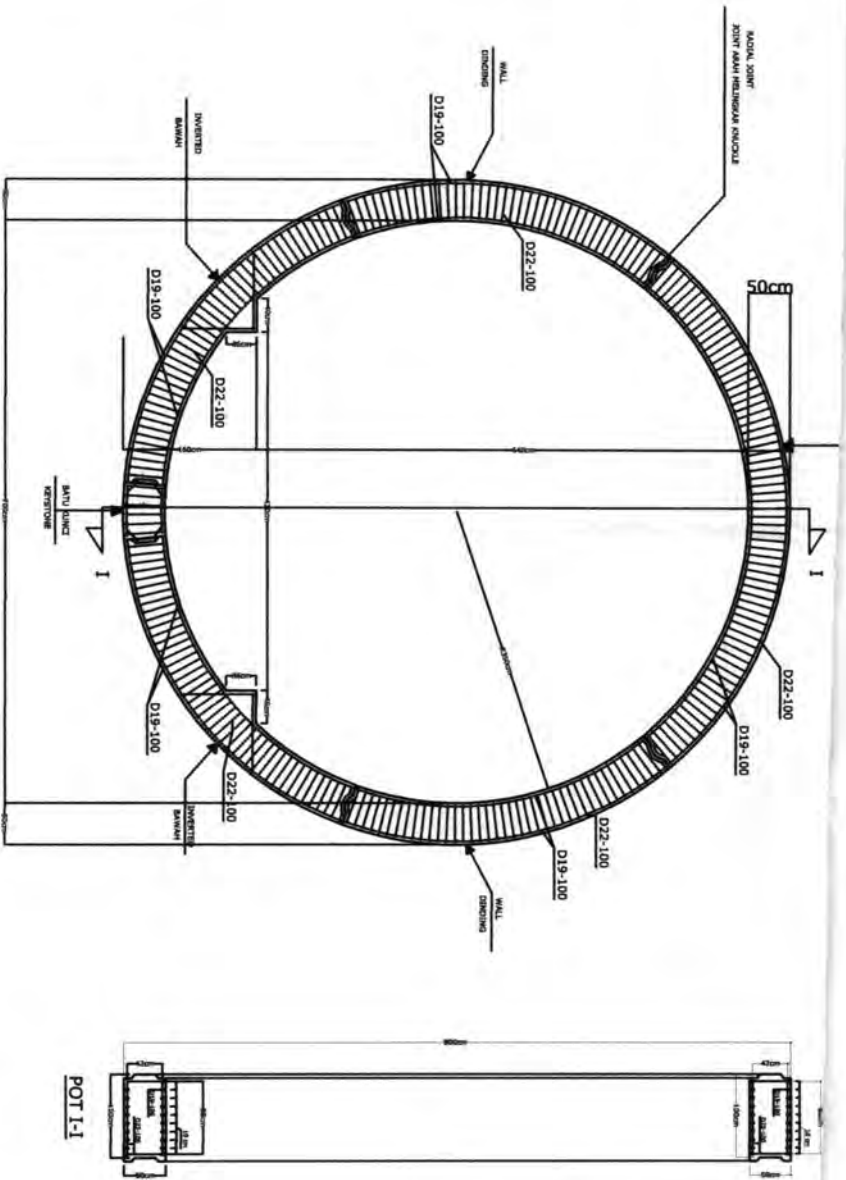


PI 2  
 R : 239 m  
 Vd : 60 km/jam  
 Ls : 50 m  
 $\theta$  : 10  
 $\Delta$  : 20  
 k : 8.44  
 p : 1.89  
 Es : 1.77  
 STA TS : 00+530  
 STA SC : 00+580  
 STA CS : 00+580  
 STA ST : 00+630

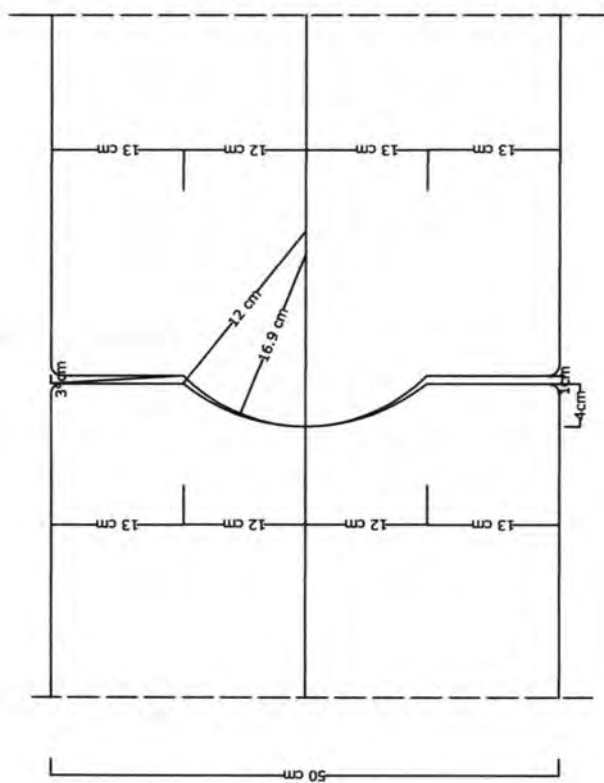


GAMBAR 5.1: PROFIL MEMANJANG



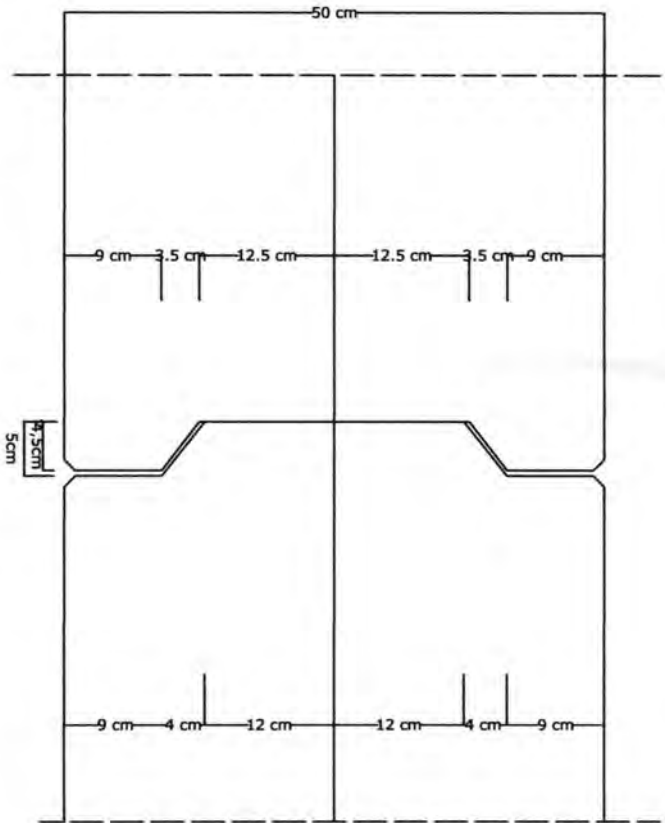


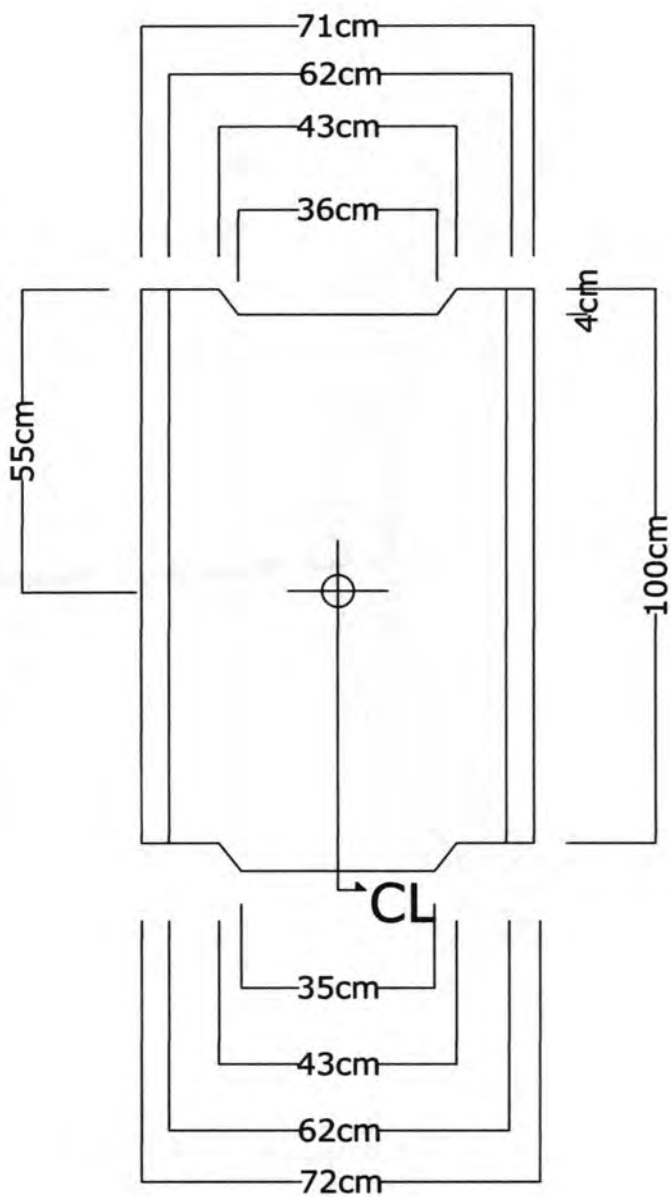
..... P 3 NETTI PENILAIAN METODE TRM



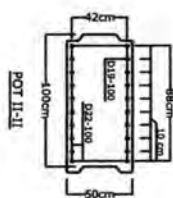
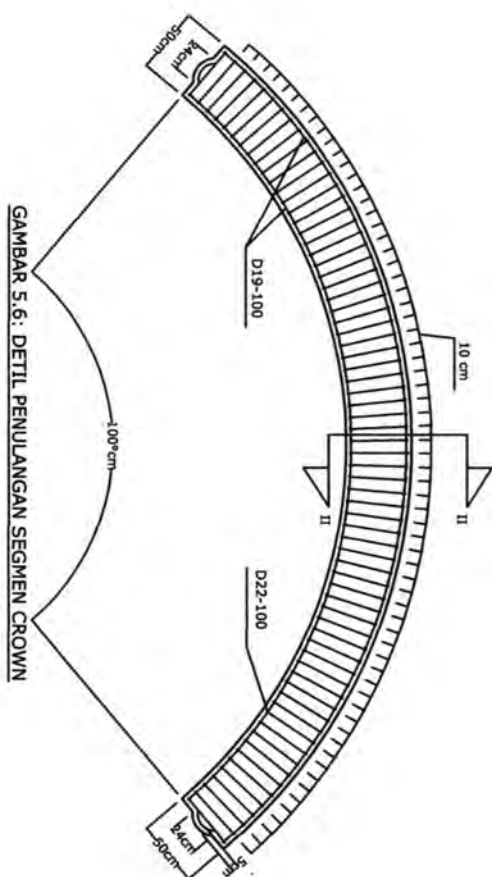
GAMBAR 5.3: DETIL JOIN KNUCKLE

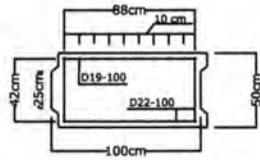
GAMBAR 5.4: DETIL JOIN TOUNGE AND GROOVE



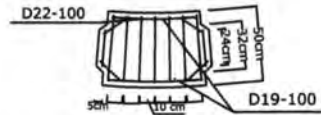


GAMBAR 5.5: DETIL KEY STONE

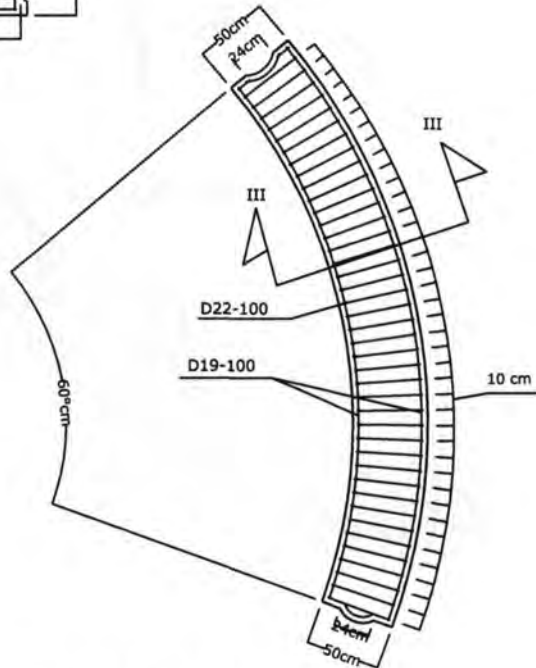




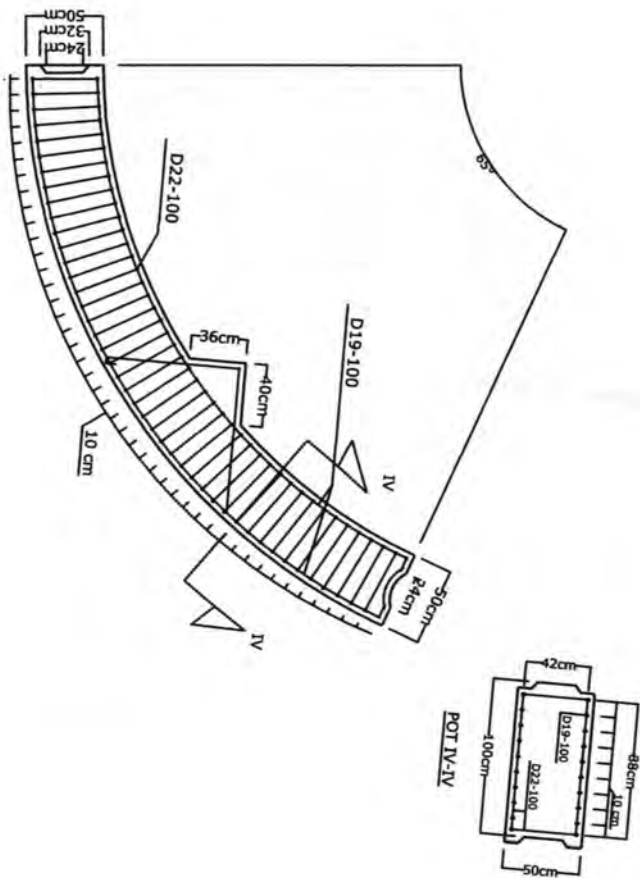
**POT III-III**

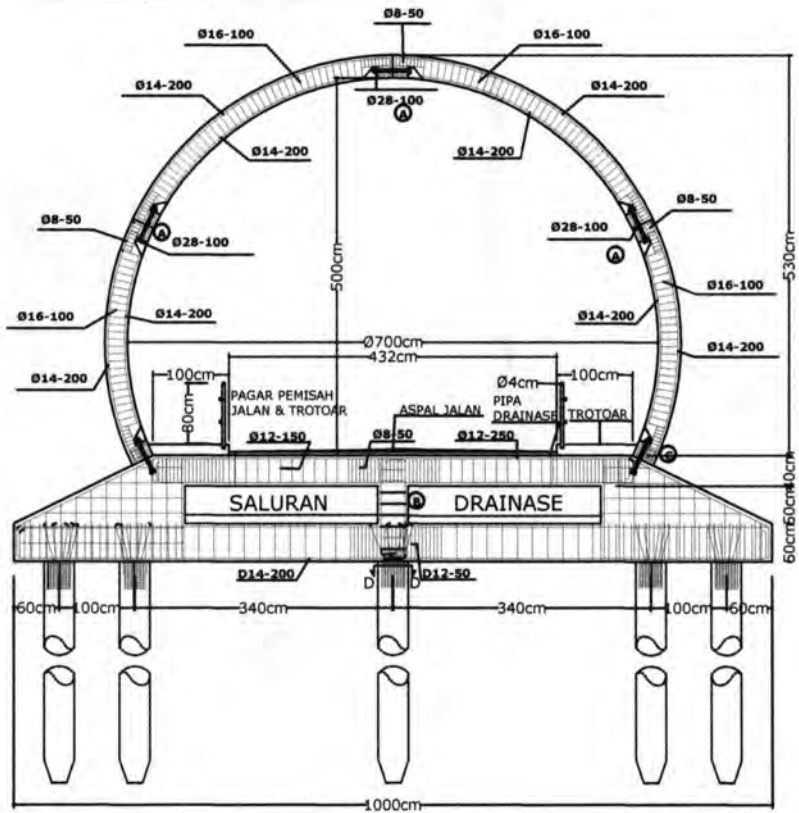


**GAMBAR 5.7a: DETIL PENULANGAN BATU KUNCI**



**GAMBAR 5.7b: DETIL PENULANGAN SEGMENT DINDING**

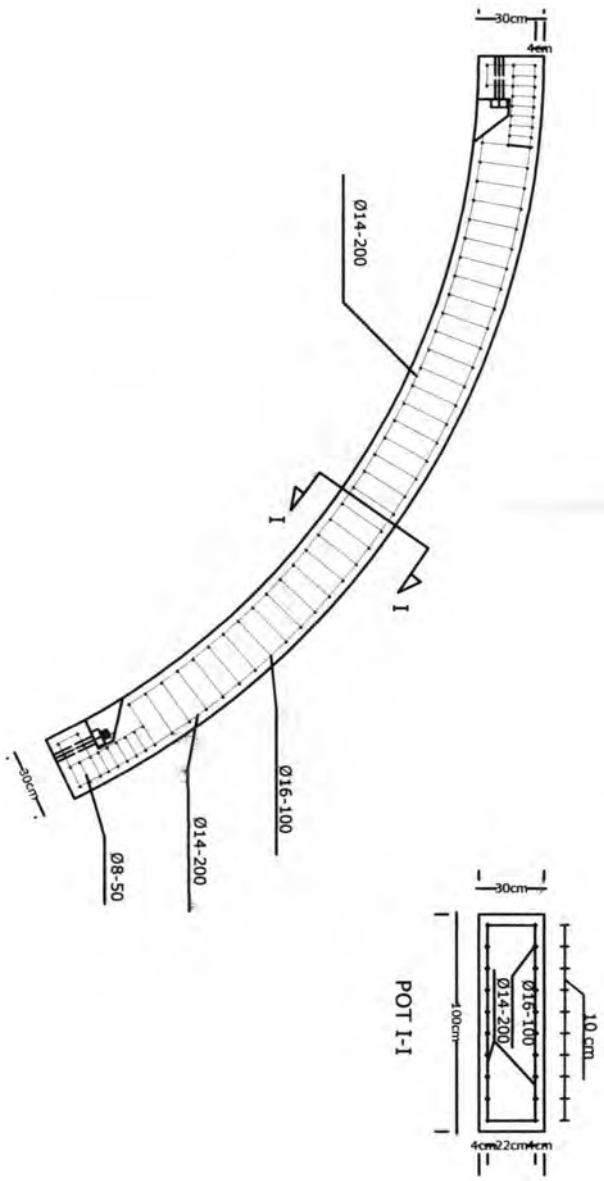


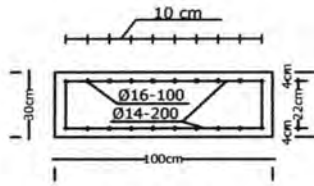


GAMBAR 5.9: DETIL PENULANGAN DENGAN METODA *CUT AND COVER*

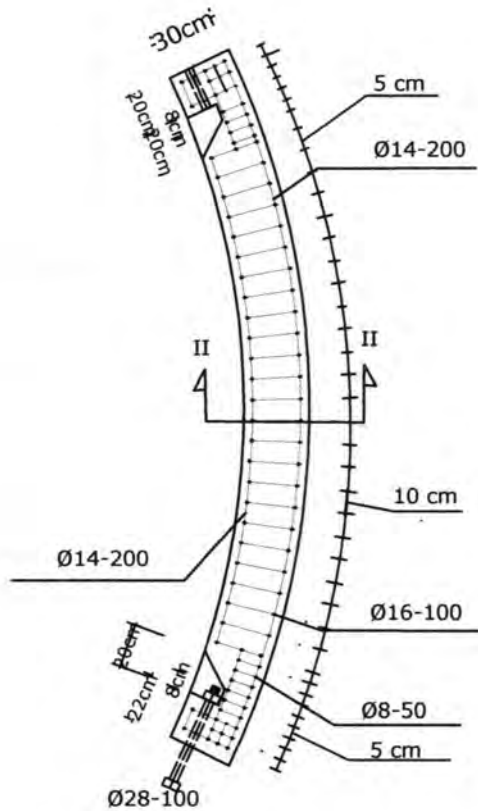


GAMBAR 5.10: DETIL PENULANGAN SEGMENT SAMPIING ATAS

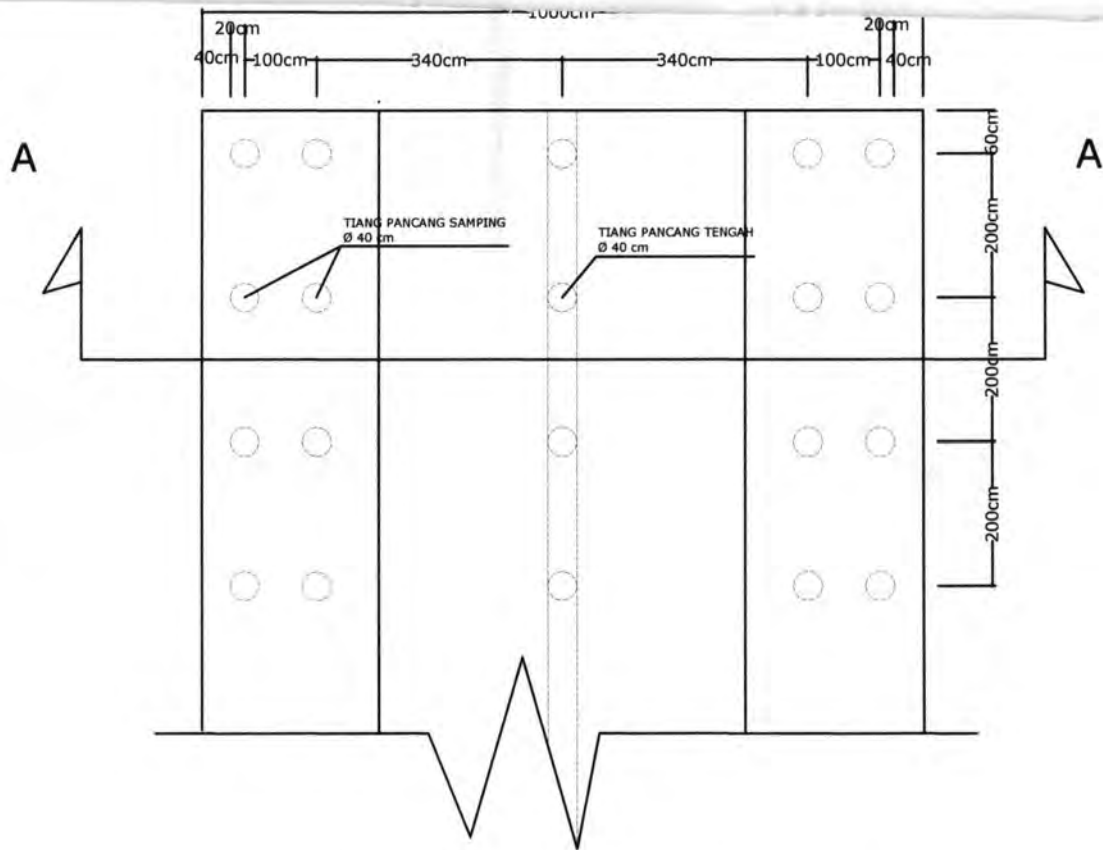




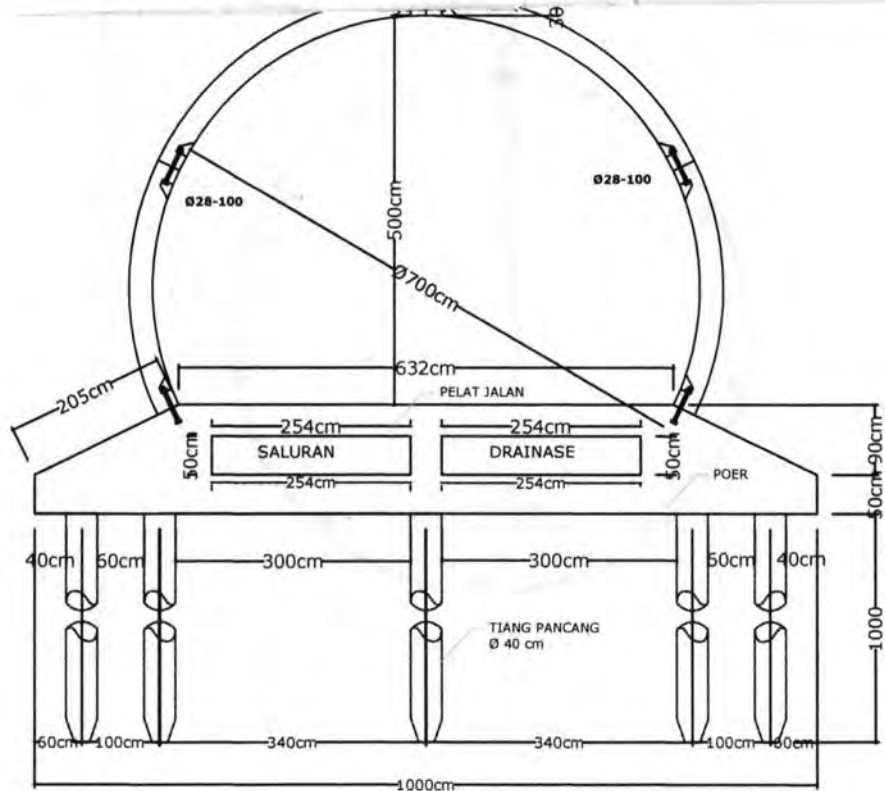
POT II-II



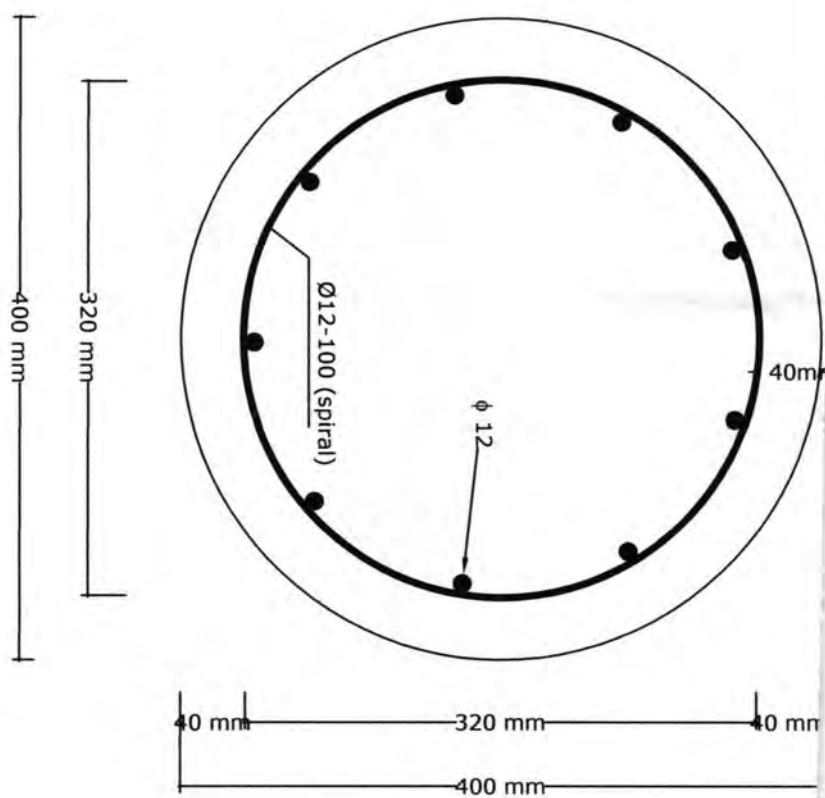
GAMBAR 5.11: DETIL PENULANGAN SEGMENT SAMPING BAWAH

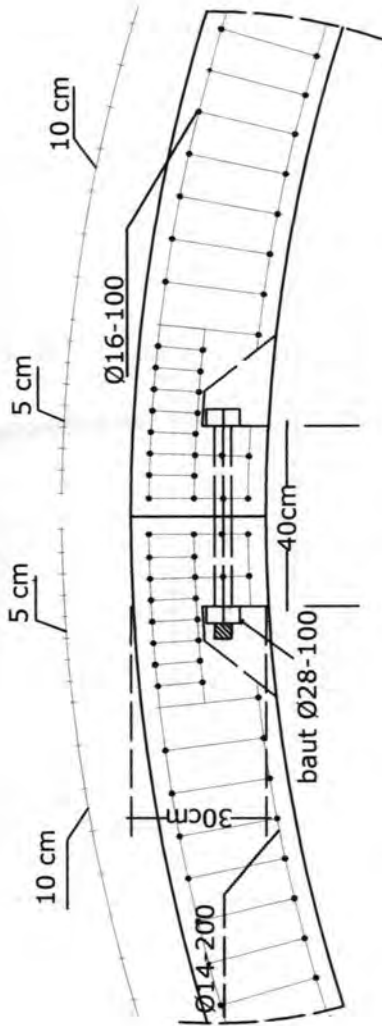


GAMBAR 5.12: DENAH TIANG PANCANG

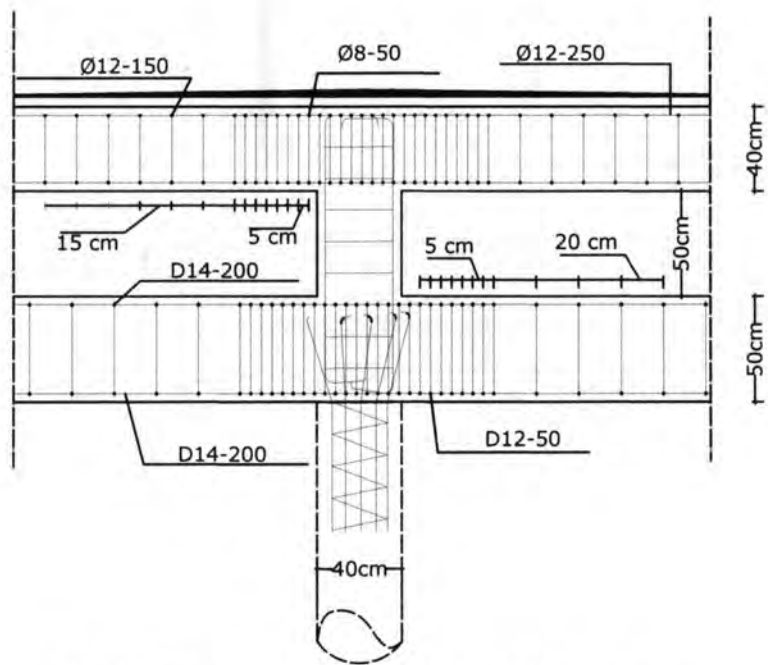


**GAMBAR 5.13: POT A-A**

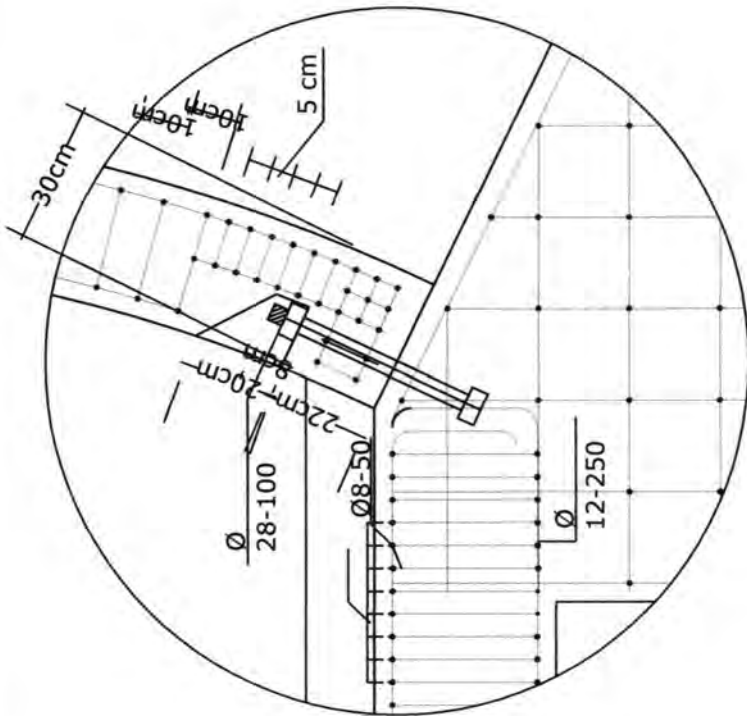




GAMBAR 5.15: DETIL A, SAMBUNGAN BAIT PERSEG MEN



GAMBAR 5.16: DETIL B, DETIL DI PELAT JALAN & POER



GAMBAR 5.17: DETIL C, DETIL SAMBUNGAN SEGMENT DENGAN PELAT JALAN



**BAB VI**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari analisa yang dilakukan sebelumnya pada bab IV bisa ditarik kesimpulan bahwa proses pelaksanaan underpass di daerah Achmad Yani-Jemur Sari tidak bisa dilaksanakan dengan metode Cut and Cover dikarenakan banyaknya rintangan yang ada di atas underpass seperti rumah penduduk, jalur rel kereta api dan jalan raya. Yang dimungkinkan ialah metode TBM tetapi dimodifikasi dengan Strauss, dan disarankan untuk benar-benar memperhatikan proses dewatering saat pelaksanaan, salah satunya dengan mengoptimalkan fungsi pompa.

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Szechy, Karoly. 1973. *The Art of Tunneling*. Akademi Kiado. Budapest.
- Singh, Pritam. 1984. *Manual on The Planning And Design Of Hydraulic Tunnel*. Central Board Of Irrigation And Power. New Delhi.
- Kovari, K and Tisa. 1998. *Computational Model And Charts For Cut And Cover Tunnel*. Swiss Federal Institute Of Technology. Stockholm.
- Sauer, G., Gall, V., Bauer, E., Dietmaier, P. 1994. *Design Of Tunnel Lining Using Capacity Limit Curves*. 8th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics. Morgantown.
- Terzaghi, Karl and B. Peck, Ralph. 1993. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Erlangga. Jakarta.
- Nakazawa, Kazuto and Sosrodarsono, Suyono. 1994. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. PT Pradya Paramita. Jakarta.
- K. Morlok, Edward. 1984. *Perencanaan Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Erlangga. Jakarta.

## BIODATA PENULIS



Syaifullah dilahirkan di Sudimampir, 21 November 1984, merupakan anak ke lima dari lima bersaudara. Pendidikan formal pertama di SDN 02 Sudimampir, selanjutnya SLTPN 1 Indralaya, SMUN 1 Indralaya dan melalui jalur SPMB penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS Surabaya pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP. 3103 100 085. Struktur, khususnya struktur bawah tanah merupakan bidang yang menjadi *Point of Interest* penulis. Bidang ini

sangat berhubungan erat dengan bidang Geoteknik, oleh karena itu penulis mengambil penjurusan Geoteknik.

Penulis sempat terlibat aktif dalam kegiatan Dakwah Jurusan Teknik Sipil ITS, Al-Hadiid, sebagai kader selama beberapa periode. Penulis juga pernah menjadi anggota UKBA ITS (Unit Kegiatan Bahasa Asing ITS), sekarang berganti nama menjadi FLS ITS (ITS Foreign Language Society). Hobi penulis adalah bermain sepakbola dan menonton film. Penulis senang mempelajari bahasa-bahasa asing dan senang mengikuti kelas diskusi dalam bahasa Inggris. Belajar mandiri dengan bekerja pada Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil ITS selama beberapa waktu.

“Berusaha dan berdoa merupakan jalan menuju keberhasilan”, merupakan salah satu nilai yang dipegang oleh penulis.