

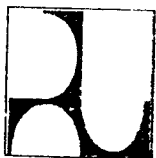
# **PEDOMAN**

Pd T-11-2003

**Konstruksi dan Bangunan**

---

**Perencanaan Timbunan Jalan Pendekat Jembatan**



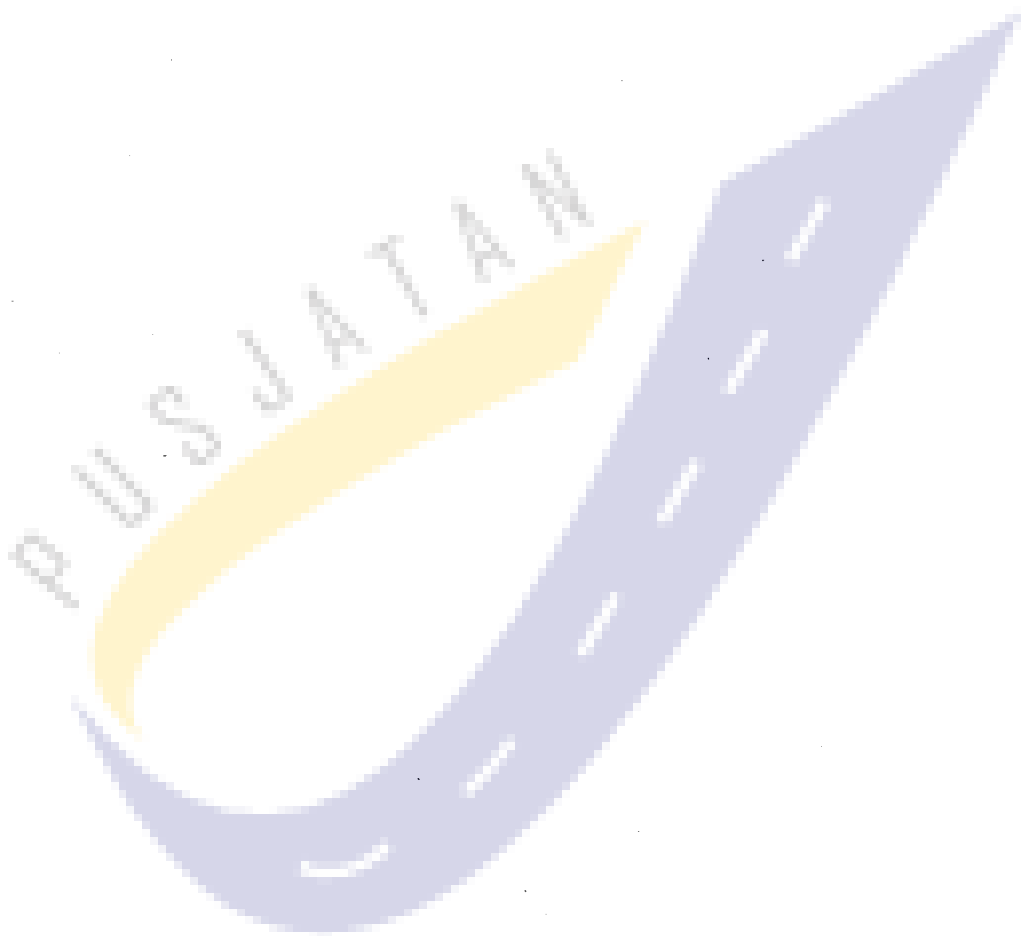
**DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH**

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	iii
Pendahuluan .....	iv
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Galian dan timbunan .....	2
4.1 Galian konstruksi .....	2
4.2 Timbunan konstruksi .....	2
4.3 Timbunan jalan pendekat .....	2
5 Ketentuan khusus untuk bahan timbunan pilihan .....	3
5.1 Bahan timbunan pilihan .....	3
5.2 Syarat-syarat Konstruksi .....	3
5.3 Masalah penurunan pada kepala jembatan .....	4
5.3.1 Konsolidasi .....	4
5.3.2 Kombinasi material .....	4
5.4 Cara untuk mengeliminir penurunan pada kepala jembatan .....	4
5.5 Penempatan material resapan 60 cm diatas pipa timbunaan pilihan .....	4
6 Perencanaan tinggi timbunan jalan pendekat .....	5
6.1 Persiapan perencanaan .....	5
6.2 Rumus umum untuk menentukan daya dukung tanah .....	5
6.3 Menentukan faktor daya dukung tanah .....	5
6.4 Daya dukung tanah pondasi yang diijinkan .....	5
6.5 Pengecekan daya dukung tanah dasar .....	6
6.6 Tinggi timbunan yang diijinkan .....	6
DAFTAR PUSTAKA .....	7
LAMPIRAN A .....	8
LAMPIRAN B CONTOH PERHITUNGAN .....	11

DAFTAR TABEL.

Tabel 1 Spesifikasi lapisan tanah dasar .....	3
Tabel 2 Gradasi A kombinasi campuran kerikil dan pasir .....	4
Tabel 3 Gradasi B kombinasi campuran kerikil dan pasir .....	4

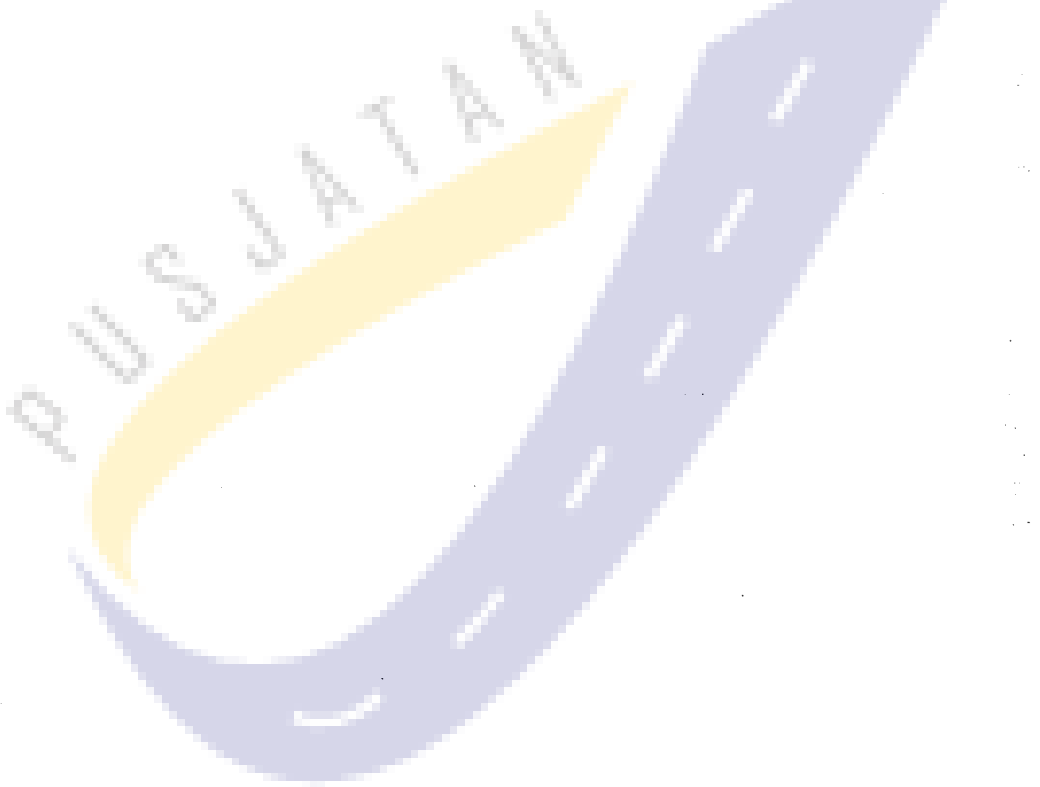


## Prakata

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Sub Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan dengan konseptor Ir. Agus Surasno.

Pedoman perencanaan jalan pendekat jembatan yang berbatasan langsung dengan kepala jembatan dimaksudkan sebagai acuan umum dalam pelaksanaan pembangunan dan peningkatan jembatan yang ada di Indonesia untuk berbagai kelas jalan dan Jembatan.

Pedoman ini, ditulis sesuai dengan ketentuan-ketentuan, spesifikasi klasifikasi yang ada dalam "*Standar Nasional Indonesia*" (SNI) akan diberlakukan dalam pedoman perencanaan jalan pendekat jembatan termasuk spesifikasi bahan, produk dan metode uji.



## Pendahuluan

Timbunan Jalan pendekat jembatan adalah segmen yang menghubungkan konstruksi perkerasan dengan kepala jembatan, permasalahan utama pada timbunan jalan pendekat ini tidak lain yaitu sering terjadinya penurunan atau deformasi pada ujung pertemuan antara struktur perkerasan jalan terhadap ujung kepala jembatan.

Permasalahan penting mengapa terjadi penurunan tersebut :

1. Pemadatan yang kurang sempurna saat pelaksanaan akibat tebal pemadatan tidak mengikuti ketentuan pelaksanaan atau kadar air optimum tidak terpenuhi.
2. Karena air mengalir keluar, dimana terjadi kapilerisasi pada lapisan atau kelurusan air melalui saluran drainase sehingga ada perubahan tegangan efektif.
3. Pemadatan lapisan timbunan jalan pendekat yang berlebih, dimana terjadi perubahan kadar air, mengakibatkan pengembangan lapisan tanah yang dapat mendesak permukaan perkerasan keatas.

Dalam mekanika tanah telah diketahui tanah timbunan jalan pendekat atau tanah pondasi sebagai material isotropis mempunyai dua sifat fisik :

Pertama yaitu indeks fisik seperti, kadar air ( $w$ ), Massa Jenis ( $\gamma$ ), Batas cair ( $LL$ ), indeks plasis ( $PI$ ), Batas Susut ( $SL$ ) dll

Kedua yaitu sifat Kohesif ( $c$  atau  $\phi$ ), Indeks Kompresibilitas ( $C_c$ ) dan permeabilitas ( $k$ ).

Masalah keseimbangan atau stabilitas ditentukan oleh kondisi beban pada tanah dan struktur diatasnya. Sedang masalah deformasi memerlukan perhitungan yang cermat untuk mengetahui besar distribusi tegangan yang ditimbulkan oleh beban struktur terhadap tanah dan berapa besar daya dukung tanah dasar yang dapat menahan struktur diatasnya atau bagaimana pengaruh tinggi timbunan terhadap penurunan, longsor dan deformasi terhadap kepala jembatan.

Selanjutnya masalah drainase sangat erat keterkaitannya dengan stabilitas maupun deformasi. Kejadian yang sering terjadi antara ujung perkerasan baik aspal beton maupun pelat lantai beton yang berdekatan dengan kepala jembatan adalah penurunan dan konsolidasi struktur akibat material pengganti atau oleh tanah dasarnya.

Pedoman perencanaan ini diharapkan merupakan salah satu sumber dalam perencanaan timbunan jalan pendekat dan merupakan umpan balik untuk kesempurnaan isi pedoman ini.

# Pedoman perencanaan timbunan jalan pendekat jembatan

## 1 Ruang lingkup

Timbunan jalan pendekat yang dimaksudkan adalah timbunan tanah, timbunan tanah khusus, timbunan tanah pilihan atau konstruksi lain, seperti; boks beton, gorong-gorong dan pelat beton dengan penyangga/pondasi tiang yang berbatasan langsung dengan ujung kepala jembatan.

Pedoman perencanaan jalan pendekat ini meliputi ketentuan, spesifikasi, klasifikasi dan konstruksi untuk badan timbunan jalan pendekat yang mampu mengakomodasi beban rencana.

## 2 Acuan normatif

SNI 03-1965-1990	:	Pengujian Kadar Air
SNI 03-1964-1990	:	Berat Jenis Tanah
SNI 03-3422-1994	:	Batas Susut Tanah
SNI 03-3968-1995	:	Kelulusan Air
SNI 03-1966-1990	:	Batas Plastis Tanah
SNI 03-1967-1990	:	Batas Cair Tanah
SNI 03-2832-1992	:	Kepadatan Maksimum dengan Air Optimal
SNI 03-1976-1990	:	Kepadatan Tanah yang mengandung Butiran Kasar
SNI 03-1738-1989	:	Pengujian CBR Lapangan
SNI 03-1744-1989	:	Pengujian CBR Laboratorium
SNI 03-2443-1991	:	"DAMAJA " Daerah Manfaat Jalan
SNI 03-3537-1994	:	Pengujian Berat Isi Kering Tanah

## 3 Istilah dan definisi

### 3.1

#### abutment

bangunan bawah jembatan yang terletak pada kedua ujung jembatan, berfungsi sebagai pemikul seluruh beban pada ujung bentang dan gaya-gaya lainnya yang didistribusikan pada tanah pondasi.

### 3.2

#### pile drag

penambahan penyangga tiang di belakang kepala jembatan untuk mencegah pergeseran yang kuat tanah timbunan yang tinggi pada kedudukan penyangga kepala jembatan.

### 3.3

#### daya dukung tanah

kemampuan tanah pondasi dapat menahan beban tanpa mengalami perubahan, penurunan atau longsor akibat timbunan dan struktur di atasnya.

**3.4****tanah timbunan biasa**

tanah timbunan yang digunakan sebagai lapisan tanah pondasi baik dari pemotongan batuan/ tanah setempat atau dari lokasi lain.

**3.5****tanah timbunan khusus**

tanah timbunan yang dihasilkan dari batuan/ tanah timbunan biasa ditambahkan bahan aditif atau dicampur dengan semen portlan, abu terbang atau kapur, sehingga stabilitas tanah tersebut meningkat.

**3.6****tanah timbunan pilihan**

tanah timbunan yang dihasilkan dari batuan/ tanah yang mempunyai klasifikasi, spesifikasi dan gradasi tertentu.

**4 Galian dan timbunan****4.1 Galian konstruksi**

Galian yang digunakan sebagai lantai pondasi jembatan, gorong-gorong, tembok penahan tanah, tembok sayap, saluran-saluran dan konstruksi lain yang dinyatakan dalam spesifikasi. Pekerjaan ini termasuk pengisian lubang-lubang galian dan menggantinya dengan tanah pilihan.

**4.2 Timbunan Konstruksi**

Material pengisian ruang galian disekeliling pondasi, turap, ujung penahan tanah harus diisi dalam lapis demi lapis dengan tebal  $\pm 20$  cm yang dipadatkan sesuai tanah asli.

Bila tanah dasar pondasi terdiri dari material lunak atau lumpur atau dirasa tidak cukup stabil/ kokoh, maka tanah dasar harus ditingkatkan daya dukungnya sesuai beban yang dipikulnya.

**4.3 Timbunan jalan pendekat**

Adalah merupakan segmen sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi tertentu sesuai alinyemen horizontal dan vertikal dan besarnya kelandaian melintang berdasarkan gambar rencana. Timbunan jalan pendekat mulai dari ujung perkerasan jalan melalui transisi kelandaian ( point of tangent ) sampai kepala jembatan sesuai ketentuan "Daerah Milik Jalan" (DAMIJA) SNI 03-2443-1991 yang merupakan bagian dari SNI 03-2850-1992 tentang "Daerah Manfaat Jalan" (DAMAJA).

Timbunan jalan pendekat sebagai pondasi dasar yang mendukung lapis pondasi bawah, bila lapis pondasi bawah tidak ada, maka lapisan tanah dasar mendukung langsung timbunan, timbunan jalan pendekat mempunyai kekuatan dan keawetan tertentu.

Dalam penentuan tebal timbunan nilai CBR dapat dikorelasikan terhadap daya dukung tanah (DDT).

Timbunan jalan pendekat harus dipadatkan lapis demi lapis sesuai dengan ketentuan kepadatan lapisan (SNI 03-2832-1992 dan SNI 03-1738-1989).

Tinggi timbunan harus dipertimbangkan terhadap adanya bahaya longsor, sebaiknya pada lahan mencukupi dibuat kelandaian lereng alami dan apabila tidak mencukupi harus dibuat konstruksi penahan tanah.

Timbunan jalan pendekat harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga mendukung terhadap kekuatan dan kestabilan konstruksi kepala jembatan.

Khusus untuk timbunan jalan pendekat dengan timbunan tanah yang tinggi, konstruksi penahan tanah sangat diperlukan agar badan jalan tidak longsor.

Pertimbangan perencanaan timbunan jalan pendekat terhadap alinyemen horizontal harus direncanakan sesuai dengan keamanan lalu lintas dan perpanjangan jembatan terhadap sungainya.

Pertimbangan timbunan jalan pendekat terhadap *alinyemen vertikal* tergantung pada muka air tertinggi, muka air banjir dan kelandaian memanjang yang sebaiknya tidak melebihi 5 %.

## 5 Ketentuan khusus untuk bahan timbunan pilihan

### 5.1 Bahan timbunan pilihan

Timbunan pilihan/*backfill* pada kepala jembatan dan Balok Beton jembatan adalah tanah granular sesuai spesifikasi. Penggunaan tanah granular pilihan harus bersih dari kotoran, daun-daunan atau zat-zat asing lain dan harus memenuhi persyaratan di bawah ini :

Saringan berukuran 2 inci .....	100 %
Saringan berukuran 1 inci .....	70 - 100 %
Saringan No.4 .....	30 - 75 %
Saringan No. 10 .....	20 - 60 %
Saringan No. 40 .....	10 - 35 %
Saringan No. 200 .....	0 - 10 %

Hasil penyaringan No. 40 harus mengandung kadar air lebih dari dua puluh lima (25%), indeks kekenyalan tidak lebih dari enam (6%), dan abrasi sesuai ketentuan metoda uji SNI.03-2417-1991 tidak lebih dari empat puluh lima (45) persen.

### 5.2 Syarat - syarat konstruksi

Timbunan tanah/granular pilihan, harus ditempatkan pada ketebalan lapisan  $\pm 20$  cm dengan metode sesuai persyaratan kepadatan. Untuk memperoleh hasil yang diinginkan, maka harus dipadatkan dengan kepadatan sekurang-kurangnya 97 % (*Standard Proctor*) sesuai SNI 03-2832-1992.

**Tabel 1 Spesifikasi lapisan tanah dasar**

Jenis Material	Standar Pengujian Minimum	
	PI	CBR
Tanah Laterit	$\leq 4$	$\geq 20$
Pasir	$\leq 10$	$\geq 50$
Sirtu	$\leq 10$	$\geq 50$



### 5.3 Masalah penurunan pada kepala jembatan

#### 5.3.1 Konsolidasi

Konsolidasi lapisan tanah yang disebabkan akibat berat tanah timbunan, kepala jembatan dan beban pelataran jembatan. mengakibatkan deformasi struktur, dimana terjadi pelepasan air bebas dan rongga udara didalam struktur tanah. Pada tanah liat yang relatif kedap terhadap air penurunan tidak langsung terjadi, dimana struktur tanah sulit dipadatkan dan air tanah tidak dapat mengalir dibawah timbunan. Hal ini menyebabkan perbedaan penurunan antara penyangga pilar terhadap timbunan didekatnya.

#### 5.3.2 Kombinasi material

Kombinasi material timbunan selama pelaksanaan konstruksi atau pencapuran material akibat vibrasi, kelulusan air dan pengaruh cuaca, jika material tersebut dipadatkan dengan tepat, maka tidak terjadi penurunan dibawah beban muatan

### 5.4 Cara untuk mengeliminir penurunan pada kepala jembatan

Penggalian pada tanah kritis/labil umumnya di daerah rawa dan menggantikan dengan material pilihan, hingga material timbunan akan lebih cepat memadat.

Penggunaan material ringan untuk mengurangi berat timbunan, sehingga penurunan dan stabilitas dapat ditekan.

Diferensial penurunan dapat diatasi dengan membuat saluran berpasir untuk memperluas tingkat konsolidasi pondasi tanah dan sekaligus meningkatkan kekuatan tanah kritis/ labil.

Jika struktur tanah terialu halus, maka pelaksanaan dengan menggunakan *shear key* di bawah kepala jembatan untuk menstabilkan timbunan dan menghindari gerakan pada kepala jembatan akibat arus air.

### 5.5 Penempatan material resapan 60 cm diatas pipa pada timbunan pilihan.

Tabel 2 Gradasi A kombinasi campuran kerikil dan pasir

Saringan Nomor	1 ½"	½"	No.10	No.20	No.100	No.200
% Lolos	100	50 - 100	20 - 50	15 - 35	0 - 10	0 - 3

Tabel 3 Gradasi B kombinasi campuran kerikil dan pasir

Saringan Nomor	2"	1 ½	¾	3/8	No. 4
% Lolos	100	95 - 100	35 - 70	10 - 30	0 - 5

## 6 Perencanaan tinggi timbunan jalan pendekat

### 6.1 Persiapan perencanaan memerlukan data sebagai berikut :

- Peta situasi
- Stratigrafi tanah
- Ketinggian air tanah dan muka air banjir
- Analisa Daya dukung tanah dasar

### 6.2 Rumus umum untuk menentukan daya dukung tanah

$$Q_u = (c \cdot N_c) + (\gamma \cdot D \cdot (N_q - 1)) + \left( \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \right)$$



### 6.3 Menentukan faktor daya dukung tanah

$$\chi = \pi (0.75 - \phi/360^\circ) \tan \phi$$

$$N_q = \frac{(e^\chi)^2}{2 \cdot \cos^2(45 + \phi/2)}$$

▪ Jika  $\phi = 0 \longrightarrow N_c = 5.7$

▪ Jika  $\phi > 0 \longrightarrow N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi}$

$$N_\gamma = \frac{(N_q - 1) \tan \phi}{1 + 0.4 \cdot \sin(4 \cdot \phi)}$$

#### 6.4 Daya dukung tanah pondasi yang diijinkan :

$$\Delta p = Q_{ijin} = Q_u / SF$$

#### 6.5 Pengecekan daya dukung tanah dasar terhadap :

$$Eks = \left( \frac{L}{2} \right) - \left( \frac{M_{Tahan} - M_{Guling}}{G_{Total}} \right)$$

$$\bullet \text{ Jika } eks \leq \left( \frac{L}{6} \right) \rightarrow \text{Aman}$$

$$\bullet \text{ Jika } eks > \left( \frac{L}{6} \right) \rightarrow \text{Tidak Aman}$$

Dan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$q_{Maks.dlm} = \frac{G_{TOTAL}}{L} \left( 1 + \frac{6 * eks}{L} \right)$$

$$q_{Min.dlm} = \frac{G_{TOTAL}}{L} \left( 1 - \frac{6 * eks}{L} \right)$$

$\Delta p$  keadaan aman, jika :

- o  $0 \leq q_{Maks.dlm} \leq \Delta p$  atau  $Q_{ijin}$
- o  $0 \leq q_{Min.dlm} \leq \Delta p$  atau  $Q_{ijin}$

$\Delta p$  keadaan tidak aman, jika :

- o  $q_{Maks.dlm} > 0$  atau  $q_{Maks.dlm} > \Delta p = Q_{ijin}$
- o  $q_{Min.dlm} < 0$  atau  $q_{Min.dlm} > \Delta p = Q_{ijin}$

#### 6.6 Tinggi timbunan yang diijinkan dalam m

$$H_{kr} = \frac{\Delta p}{\gamma_t}$$

Dimana :

- $\Delta p$  = Daya dukung tanah dasar ton/ m<sup>2</sup>
- $\chi$  = Konstanta
- SF = Safety Faktor = 5
- $H_{kr}$  = Tinggi timbunan yg diizinkan dalam m'
- $\gamma_t$  = Berat Isi tanah timbunan jalan pendekat dalam ton /m<sup>3</sup>
- $N_q$  =  $N_c = N_\gamma$  = Faktor - faktor daya dukung tanah

**Daftar pustaka**

1. Bridge Approach Design and Construction Practices, Tahun 1969; National Academy of Engineering,
2. Ir. Sunggono Kh, Tahun 1984 " Mekanika Tanah", Penerbit "NOVA" Bandung
3. SNI 03 – 3448 - 1990, Stabilisasi Tanah dengan Kapur
4. SNI 03 - 3450 –1990, StabilisasiTanah dengan Semen
5. Ir. Lanny Hidayat,Msi, Tahun 1996, Perbaikan Jalan Pendekat, Bahan Kursus Rehabilitasi dan Pemeliharaan Jembatan,
6. Tim Penelitian Wahana Komputer, Tahun 2002, Aplikasi "Retainning Wall" Dengan Visual Basic 6.0, Penerbit Wahana Komputer Semarang

## LAMPIRAN A

DATA JEMBATANRENCANA

Alasan untuk jembatan baru di (Sungai/ Jalan) .....

Pada jaringan dari ( Kota Asal ) ..... Km .....

USUL ALINEMEN JEMBATAN

Gambar Survei Jalan No ..... Tanggal survei .....

Alinemen Horosontal :

Lurus, menumpu .....

Lengkung, adius .....

Miring .....

Alinemen Vertikal :

Rata/ Landai ..... % naik terhadap ..... ( Kota )

Pertemuan/ Lengkung ..... panjang antara .....

Cekung ..... m landai ..... % dan ..... %

Jarak bebas terhadap struktur dan bangunan :

Horisontal : Aktul ..... m terhadap .....

Perlu ..... m terhadap .....

Vertikal : Aktul ..... m terhadap .....

Perlu ..... m terhadap .....

Rencana Jalan Pendekat :

Rencana Jalan No.

Kecepatan Rencana ..... Km/ jam

Tipe Jalan ..... Kelas Jalan .....

Lebar perkerasan ..... m

Lebar formasi ..... m

# DATA SUNGAI

Nama Sungai :

Gambar survai lokasi jembatan No. \_\_\_\_\_ Tanggal \_\_\_\_\_

Sumber informasi lain :

☐ Foto Udara

☐ Peta Topografi

☐ Laporan Investigasi Lapangan

☐ Lain \_\_\_\_\_

Pasang Surut :

Pengaruh : Ya/Tidak

Muka Air Pasang di Lokasi \_\_\_\_\_ Tanggal \_\_\_\_\_

Muka Air Surut di Lokasi \_\_\_\_\_ Tanggal \_\_\_\_\_

## Banjir Rencana Termasuk Pengaruh Pasang

Banjir rencana keadaan batas ultimat, ( Pasang/ Surut )

Aliran \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  $m^2/ detik$

Kecepatan \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  $m/detik$

Muka air berkurang \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ m, Tanggal \_\_\_\_\_

Banjir rencana keadaan batas layan, ( Pasang/ Surut )

Aliran \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  $m^2/ detik$

Kecepatan \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  $m/detik$

Muka air berkurang \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ m, Tanggal \_\_\_\_\_

Banjir rencana sekali dalam 2 tahun, ( Pasang )

Aliran \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  $m^2/ detik$

Kecepatan \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  $m/detik$

Muka air berkurang \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ m, Tanggal \_\_\_\_\_

**Rencana Kedalaman Gerusan**

Kedalaman gerusan keadaan banjir batas ultimat :

Pada pangkal ..... m, dibawah dasar survai\

Pada pilar ..... m, dibawah dasar survai

**Lanjutan Rencana Kedalaman Gerusan**

Kedalam gerusan keadaan banjir batas layan :

Pada pangkal ..... m, dibawah dasar survai\

Pada pilar ..... m, dibawah dasar survai

**DATA TANAH**

Timbunan tanah jalan pendekat :

 $\phi_1$  .....  $25^\circ$  .....  $c_1$  ..... 0 .....  $t/m^2$  $\gamma_1$  ..... 1.78 .....  $t/m^3$ 

Tanah pondasi dasar Jalan Pendekat :

 $\phi_2$  .....  $28^\circ$  .....  $c_2$  ..... 1.53 .....  $t/m^2$  $\gamma_2$  ..... 1.8 .....  $t/m^3$ **DATA KONSTRUKSI TEMBOK PENAHAN TANAH**

Dimensi Struktur :

A ..... 1.2 ..... m ..... C ..... 0.8 ..... m

B ..... 0.8 ..... m ..... D ..... 0.5 ..... m

E ..... 0.7 ..... m

 $T_1$  ..... ? ..... m .....  $T_2$  ..... ? ..... m

PENANGGUNG JAWAB :

ANO

TANGGAL :

18 - 09 - 2002

**LAMPIRAN B CONTOH PERHITUNGAN**

1. Diketahui data tanah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 25^\circ \\ \gamma_1 &= 1.78 \text{ t/m}^3 \\ c_1 &= 0 \text{ t/m}^2 \\ \phi_2 &= 28^\circ \\ c_2 &= 1.53 \text{ t/m}^2 \\ \gamma_2 &= 1.89 \text{ t/m}^3\end{aligned}$$

Penyelesaian :

Menentukan  $Q_{ult}$  :

$$Q_{ult} = [c_2 * NC] + [\gamma_2 * H * (N_q - 1)] + [\frac{1}{2} * \gamma_2 * L * N_\gamma]$$

$$\chi = \pi (0.75 - \phi_2/360^\circ) \tan \phi_2 = 3.14 (0.75 - 28/360) \tan 28 = 1.12288971$$

$$N_q = \frac{(e^\chi)^2}{2 * \cos^2(45 + \phi_2/2)} = \frac{(e^{1.12288971})^2}{2 * \cos^2(45 + 28/2)} = \frac{9.4477765}{0.53053} = 17.808$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi_2} = \frac{(17.808 - 1)}{\tan 28} = \frac{16.808}{0.053171} = 31.612$$

$$N_\gamma = \frac{2 * (N_q + 1) * \tan \phi_2}{1 + (0.4 * \sin(4 * \phi_2))} = \frac{2 * (17.808 + 1) \tan 28}{1 + (0.4 * \sin(4 * 28))} = \frac{2.00078198}{1.370873542} = 14.5898$$

Maka :

$$\begin{aligned}Q_{ult} &= [1.53 * 31.612] + [1.84 * 0 * (17.808 - 1)] + [\frac{1}{2} * 1.84 * 0.5 * 14.5898] \\ &= 48.3664 + 0 + 6.771131 = 55.1375 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

2. Daya dukung tanah pondasi yang diijinkan :

$$\Delta p = Q_{ijin} = Q_u / SF = 55.1375 / 5 = 11.0275 \text{ t/m}^2$$

3. Tinggi timbunan yang diijinkan dalam m :

$$H_{kr} = \frac{\Delta p}{\gamma_1} = \frac{11.0275}{1.78} = 6.195 \text{ m}$$