

# **MAKALAH KRTJ 10**

## **KAJIAN PENENTUAN JENIS STRUKTUR JEMBATAN YANG OPTIMAL PADA STRUKTUR JEMBATAN KHUSUS PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG – SOLO**

**Disusun Oleh:**

**Arie Irianto, ST., MT**

**No. HPJI: B-14742**

**Reza Febriano, S.IP., ST., MT**

**No. HPJI: B-14750**

**SEPTEMBER 2008**

# LATAR BELAKANG

- Pengembangan infrastruktur menjadi salah satu faktor penentu dari pertumbuhan perekonomian nasional;
- Terbitnya Keppres 15 tahun 2002 Tentang penerusan proyek-proyek infrastruktur termasuk jalan tol, pelaksanaan pembangunan jalan tol dimulai kembali seiring dengan semakin membaiknya perekonomian di Indonesia.
- Pelaksanakan kelanjutan paket pembangunan jalan tol Trans Jawa, diantaranya adalah jalan tol Semarang – Solo sepanjang 76 km yang membutuhkan dana secara keseluruhan sebesar 7 Trilyun rupiah.
- Pertimbangkan Keterbatasan kondisi keuangan dan tingkat kelayakan finansial dari pembangunan jalan tol tersebut maka dibutuhkan *Detailed Engineering Design* yang efisien;
- Jenis pekerjaan struktur jembatan khusus merupakan komponen biaya yang terbesar dalam investasi jalan tol.
- Dapat dicapainya prinsip pengusahaan jalan tol yang bersifat *self financing project*;

# LATAR BELAKANG

- Eksplorasi kajian alternatif berbagai jenis struktur jembatan yang mungkin digunakan pada pembangunan jalan tol Semarang - Solo.
- Karakter Jembatan-jembatan khusus pada jalan tol tersebut umumnya berada pada bentang antara 150 – 800 m dan ketinggian kolom/ pilar yang mencapai 60 m;
- Pertimbangan masa konstruksi rata-rata 13 bulan kalender, dibutuhkan jenis struktur yang paling optimal, efisien,mudah, dan cepat dalam pelaksanaannya;
- Kajian dilakukan dengan cara kajian literatur, pengalaman-pengalaman pada proyek yang telah dilaksanakan sebelumnya, dan analisis teknik secara komprehensif meliputi aspek kelayakan teknik, tingkat kemudahan dan kecepatan pelaksanaannya, dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan, dan aspek ekonomisnya;
- Pengolahan data menggunakan Matriks Pembandingan antara jenis struktur yang satu dengan lainnya dengan melakukan pembobotan;

# JENIS-JENIS STRUKTUR PERLINTASAN

1. **Jembatan Overpass** yaitu bangunan struktur penghubung jalan existing/lokal yang terpotong oleh jalan tol dimana letak jalan penghubung tersebut berada di atas jalan tol;
2. **Jembatan Underpass** yaitu bangunan struktur penghubung jalan existing/lokal dan sungai yang terpotong oleh jalan tol dimana letak jalan penghubung atau sungai tersebut berada di bawah jalan tol;
3. **Jembatan Layang (Elevated Road)** yaitu bangunan jembatan yang berada pada jalan utama (jalan tol).

# STANDAR DAN CODE DESAIN

- Bridge Management System (BMS) 1992 bagian BDC (Bridge Design Code) dengan revisi pada :
  - Bagian 2 dengan Standar Pembebanan untuk Jembatan (SK.SNI T-02-2005), sesuai dengan Kepmen PU No. 498/KPTS/M/2005;
  - Bagian 6 dengan Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SK.SNI T-12-2004) sesuai dengan Kepmen PU No.260/KPTS/M/2004;
  - Bagian 7 dengan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (SK.SNI T-03-2005) sesuai dengan Kepmen PU No.496/KPTS/M/2005.
- Bridge Management System (BMS) 1992 bagian BDM (Bridge Design Manual);
- Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya SNI 0.3.2833-1992;
- Standard Specification For Highway Bridges : AASHTO 2002 dan 2004;
- Specification For Highway Bridges, Japan Road Association

# ASPEK-ASPEK PEMILIHAN TIPE JEMBATAN

- Kekuatan dan stabilitas struktur;
- Keekonomisan;
- Kenyamanan bagi pengguna jembatan;
- Durabilitas (keawetan dan kelayakan jangka panjang);
- Hemat pemeliharaan;
- Estetika;
- Dampak lingkungan pada tingkat yang wajar/minimal

# PENENTUAN PANJANG/ BENTANG OPTIMAL

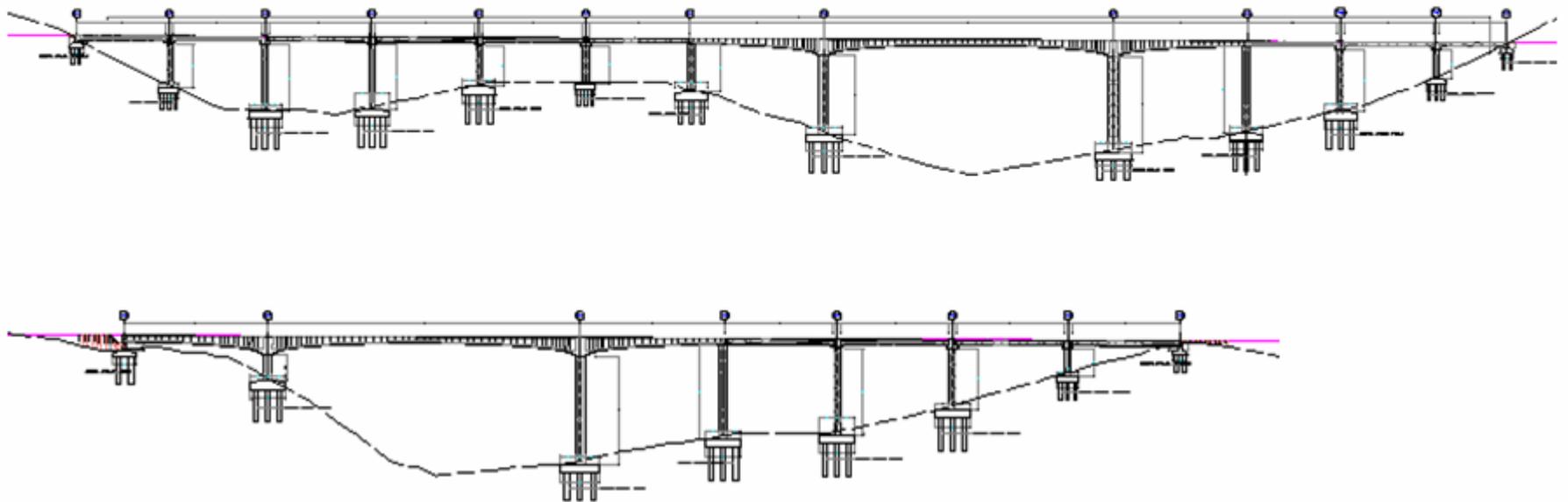
- Kebutuhan fungsi ruang dibawah jembatan;
- Untuk jembatan sungai persyaratan hidrolika sungai yang akan berpengaruh kepada besar gerusan (scouring effect);
- Kemudahan dan kecepatan pelaksanaan;
- Estetika dan biaya;

Untuk jembatan sungai, tinggi kolom rencana ditentukan berdasarkan elevasi finished grade jembatan terhadap elevasi ketinggian muka air dan persyaratan vertical clearance (ruang bebas vertical).

Untuk jembatan lembah tinggi kolom rencana ditentukan berdasarkan kondisi topografis lembah dan elevasi finished grade jembatan.

# PENENTUAN PANJANG/ BENTANG OPTIMAL

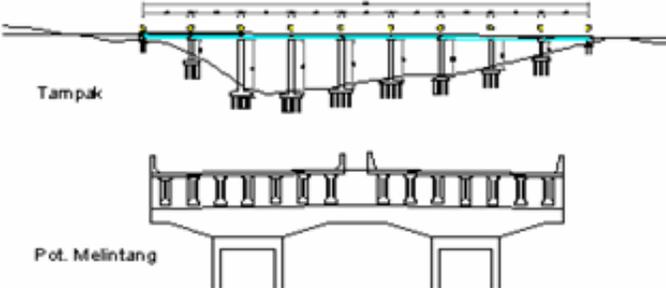
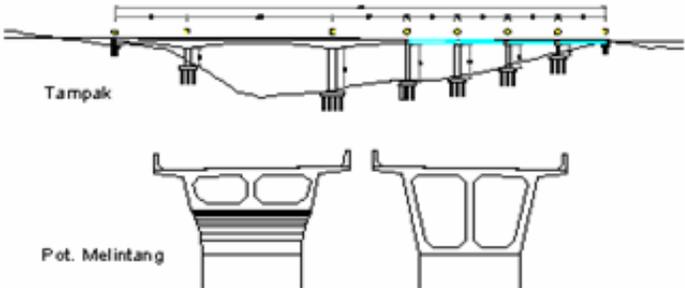
- *Konfigurasi Panjang Bentang*



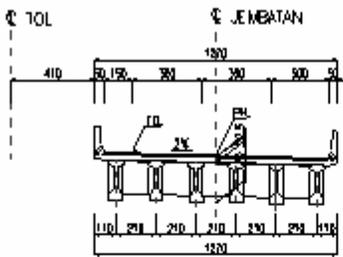
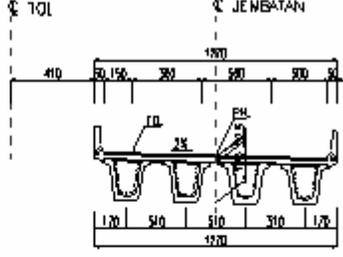
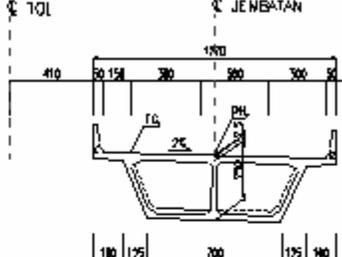
# PENENTUAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN

- Panjang bentang/span yang diperlukan;
- Kemudahan dan kecepatan pelaksanaan konstruksi/produksi;
- Faktor efisiensi biaya;
- Faktor keindahan/estetika.

# PENENTUAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN

JENIS STRUKTUR	ALTERNATIF 1 MULTI SPAN PC I GIRDER	ALTERNATIF 2 GABUNGAN CANTILEVER BOX GIRDER DENGAN MULTI SPAN PC I GIRDER
TAMPAK		
PELAKSANAAN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Produk di precast PC I Girder lebih mudah dan cepat</li> <li>2. Bopai dibuat segmental sehingga ditukus ke dike lebih mudah</li> <li>2. Beton lebih mudah karena girder lebih ringan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Box dibuat dengan cara cast in situ karena ditukus precast sulit, waktu lebih lama</li> <li>2. Pelaksanaan menggunakan korek, biaya lebih mahal</li> </ol>
ESTETIKA	Bentuk jembatan kurang bagus dengan banyaknya jumlah pier	Bentuk jembatan lebih bagus dengan berkurangnya jumlah pier dan bentuk curve dari stikem cantilever box girder
KEUNTUNGAN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pelaksanaan lebih mudah</li> <li>2. Produk di precast girder lebih mudah</li> <li>3. Bopai dibuatmentall 121 km continuous span</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bentang utama lebih besar</li> <li>2. Jumlah pier sedikit</li> <li>3. Bie lebih baik</li> </ol>
KERUGIAN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jumlah pier lebih banyak, pelaksanaan sub structure lebih lama</li> <li>2. Jumlah girder lebih banyak</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pelaksanaan super structure lebih sulit</li> <li>2. Sistem cast in situ lebih sulit dan lama</li> </ol>
BIAYA	Rp 7.965.604	Rp 13.931.125
INDEX BIAYA	1.00	1.75
REKOMENDASI	1	2

# PENENTUAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN

No.	URAIAN	BALOK I-GIRDER	BALOK U-GIRDER	BALOK BOX GIRDER
1	POTONGAN MELINTANG	 <p>BENTANG = 30 M</p>	 <p>BENTANG = 30 M</p>	 <p>BENTANG = 30 M</p>
2	METODE PELAKSANAAN	MUDAH	AGAK SULIT - Cetakan Gelagar Agak Sulit - Erection Lebih Berat	SULIT - Cetakan Gelagar Lebih Sulit - Diperlukan Alat Khusus Untuk Erection Balanced Cantilever
3	WAKTU PELAKSANAAN	CEPAT	AGAK LAMA	LAMA
4	ESTETIKA	BAGUS	LEBIH BAGUS	LEBIH BAGUS
5	BIAYA KONSTRUKSI PER 1 M PANJANG JEMBATAN	Rp.59,436 × 10 <sup>6</sup> (1,00)	Rp.68,351 × 10 <sup>6</sup> (1,15)	Rp.86,182 × 10 <sup>6</sup> (1,45)
6	REKOMENDASI	I	II	III

# PENENTUAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN

- Sistem jembatan multi span dengan penggunaan precast Prestressed PC-I Girder untuk struktur atas;
- Mengingat kondisi kolom pier yang tinggi maka sistem 'integrated span bridge' adalah lebih baik dibanding 'simple multi span' sehubungan dengan stabilitas jembatan maupun kekakuan longitudinal jembatan, khususnya pada saat terjadinya gempa;
- Secara umum maka keuntungan dari penggunaan sistem continuous / integrated bridge dapat diuraikan sebagai berikut :
  - Meningkatkan stabilitas dan kekakuan struktur, khususnya pada kolom pier yang tinggi, serta mereduksi momen pada tengah bentang akibat beban lalu lintas dan beban gempa;
  - Tetap dapat digunakannya precast segmental PC-I girder sebagai struktur atas lebih meningkatkan efisiensi dalam segi fabrikasi, konstruksi maupun distribusi;
  - Mengurangi kebutuhan / jumlah expansion joints sehingga lebih meningkatkan efisiensi dalam segi construction cost, maintenance cost dan juga meningkatkan kenyamanan berkendara;
  - Mengurangi kebutuhan / jumlah bearing construction pada pier

# PENENTUAN PIER/ COLUMN JEMBATAN

- Pemilihan jenis struktur bawah jembatan (pier dan abutment) tergantung dari segi ekonomi, kemudahan konstruksi dan fungsinya;
- Untuk kondisi kolom pier tinggi maka bentuk yang paling efisien adalah rectangular hollow column atas pertimbangan massa kolom yang tidak terlalu besar namun mempunyai kekakuan yang tinggi serta pelaksanaan konstruksi yang tidak terlalu sulit. Hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan integrated/continuous span bridge adalah :
  - perbandingan kekakuan kolom pada pier dan kolom-kolom antar pier harus diperhatikan harus memenuhi batasan yang telah ditetapkan (balanced stiffness) ;
  - Perbandingan periode getaran antara frame yang bersebelahan juga harus memenuhi batasan yang ditetapkan.

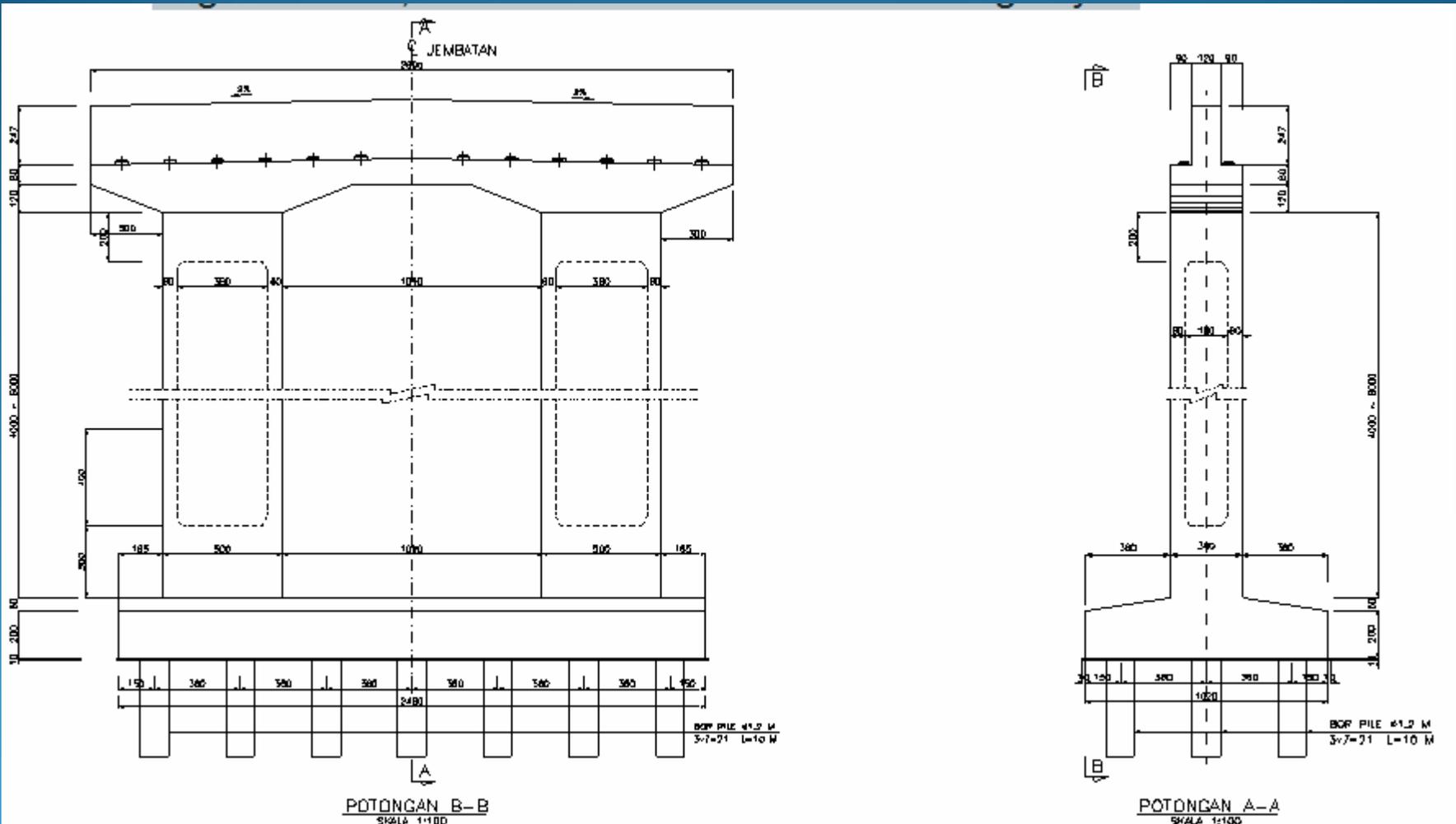
# PENENTUAN PIER/ COLUMN JEMBATAN

Hal hal lain yang menentukan konstruksi pilar ini adalah:

- Waktu pelaksanaan yang cepat, kuat dan efisien;
- Segi keindahan memang bukan menjadi prioritas utama;
- Pemilihan konstruksi pilar dengan bentuk tipikal persegi sangat membantu sekali dalam percepatan pelaksanaan pekerjaan dan sangat mudah pelaksanaanya di lapangan. Dari sisi biaya juga lebih efisien karena tipikal sehingga bisa di manfaatkan semaksimal mungkin bekisting yang di pakai di lapangan, hanya secara periodik di perlukan repair saja unutm menjaga kualitas expose beton pilar.

# PENENTUAN PIER/ COLUMN JEMBATAN

Pemilihan jenis struktur bawah jembatan (pier dan abutment) tergantung dari segi ekonomi, kemudahan konstruksi dan fungsinya;



bersebelahan juga harus memenuhi batasan yang

# PENENTUAN STRUKTUR PONDASI

Umumnya pondasi langsung (spread footing) paling ekonomis bila dimungkinkan;

- Bila kedalaman tanah keras tidak terlalu besar maka pondasi caisson/sumuran dapat digunakan dan masih relatif cukup ekonomis;
- Bila lapisan tanah keras lebih dalam lagi maka pondasi tiang pancang lebih murah bila dibandingkan dengan bored pile;
- Pondasi tiang pancang mempunyai berbagai jenis dan dimensi (diameter) sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut;
- Untuk perencanaan teknik akhir perlu dilakukan penyelidikan tanah terutama penyelidikan bor dalam untuk lebih memastikan kedalaman tanah keras.

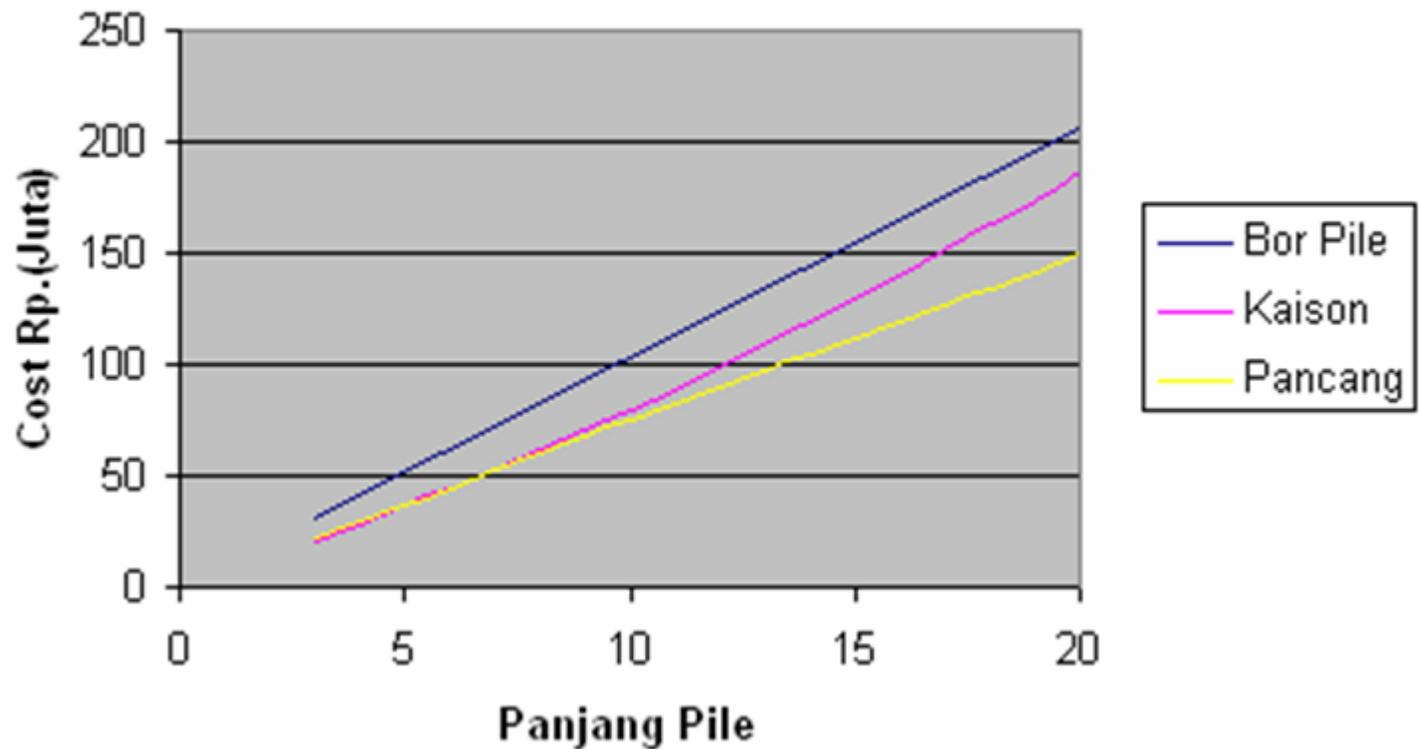
# PENENTUAN STRUKTUR PONDASI

Pemilihan bentuk pondasi sangatlah tergantung kondisi tanah yang ada, yang secara umum adalah seperti berikut :

- Bila tanah keras dangkal ( $D < 4\text{m}$ ) digunakan pondasi telapak (Spread Footing);
- Bila tanah keras cukup dalam ( $D = 4\text{-}6\text{m}$ ) digunakan pondasi sumuran (Caisson);
- Bila tanah keras sangat dalam ( $D > 6\text{m}$ ) digunakan pondasi tiang

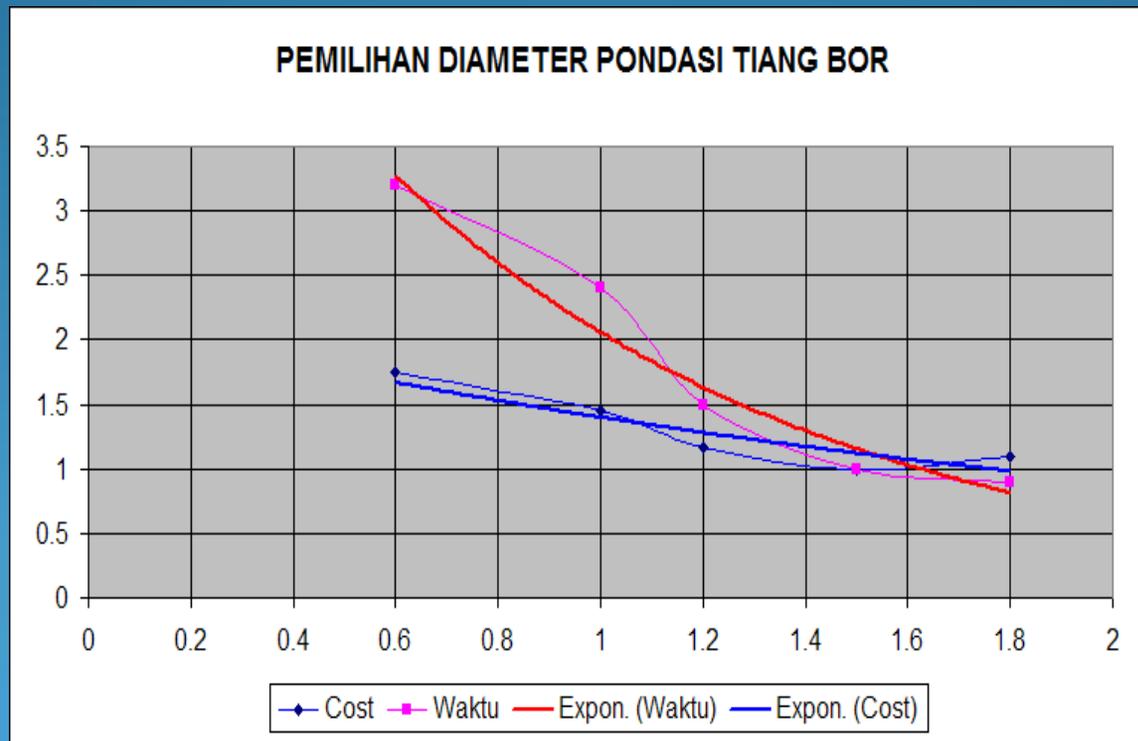
# PENENTUAN STRUKTUR PONDASI

Grafik Cost - Panjang Pile



# PEMILIHAN DIAMETER PONDASI BORED PILE

Dari peralatan yang tersedia di Indonesia bore machine dia 1500 mm adalah pilihan yang paling optimal baik dari sisi biaya dan waktu. Kita gambarkan dalam grafik di bawah ini dari beberapa alternatif diameter bore pile dari sisi grafik waktu dan grafik biaya terjadi crossing pada titik diameter 1500 mm



# PEMILIHAN STRUKTUR DINDING PENAHAN TANAH

## *Prinsip Perencanaan*

- a. Beban rencana
- b. Kemantapan / stabilitas
- c. Data dan ketentuan untuk perencanaan
- d. Pendekatan dimensi dan asumsi
- e. Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif
- f. Gaya Lateral terhadap dinding
- g. Kontrol Stabilitas terhadap Guling, Geser dan Daya Dukung

Tipe	Tinggi (m)			
	5	10	15	
Pasangan batu				
Gravitasi				
Balok kantilever				
Dinding penopang				

# PENGATURAN BEBAN

Beban –beban yang bekerja terbagi:

➤ Aksi Tetap;

1. Aksi Tetap:		
No	Beban, Gaya, Tekanan	Jangka Waktu
1	Berat Sendiri	Tetap
2	Beban Mati Tambahan	Tetap
3	Pengaruh Penyusutan dan Rangkak	Tetap
4	Pengaruh Prategang	Tetap
5	Tekanan Tanah	Tetap
6	Pengaruh Pelaksanaan Tetap	Tetap

# PENGATURAN BEBAN

Beban –beban yang bekerja terbagi:

➤ Aksi Lalu Lintas;

2. Aksi Lalu lintas		
No	Beban, gaya, tekanan	Jangka Waktu
1	Beban Lajur "D"	Transient
2	Pembebanan Truk "T"	Transient
3	Beban Dinamik	Transient
4	Gaya Rem	Transient
5	Gaya Sentrifugal	Transient
6	Beban Trotoar	Transient
7	Beban Tumbukan	Transient

# PENGATURAN BEBAN

Beban –beban yang bekerja terbagi:

➤ Aksi Lingkungan;

3. Aksi Lingkungan		
No	Beban, gaya, Tekanan	Jangka Waktu
1	Penurunan	Tetap
2	Pengaruh Temperatur	Transient
3	Aliran Air & Benda Hanyutan	Transient
4	Hidro/Daya Apung	Transient
5	Beban Angin	Transient
6	Pengaruh Gempa	Transient

# PENGATURAN BEBAN

Beban –beban yang bekerja terbagi:

➤ Aksi Lain Lain;

## 4. Aksi Lain-lain

No	Beban, Gaya, Tekanan	Jangka Waktu
1	Gesekan Pada Perletakan	Transient
2	Getaran	Transient
3	Beban Pelaksanaan	Transient

# PENGALAMAN TERHADAP PROYEK-PROYEK SEBELUMNYA DI JASA MARGA

Berdasarkan Pengalaman Proyek Pembangunan Jasa Marga yang telah dilaksanakan:

## ➤ Proyek Cipularang Tahap I Jembatan Cimeta:

➤ Berdasarkan Kontrak, ruas Cimeta pada awalnya menggunakan timbunan tinggi yang kemudian diubah menjadi struktur Jembatan, dengan usulan Kontraktor adalah sebagai berikut:

<u>Usulan Perubahan Timbunan menjadi Jembatan dari Kontraktor</u>			<u>Konsep dari Jasa Marga yang ditindaklanjuti oleh Konsultan Perencana</u>			<u>Keterangan</u>
<u>Tipe Struktur</u>	<u>Selisih Biaya (Rp. M)</u>	<u>Waktu (bulan)</u>	<u>Tipe Struktur</u>	<u>Selisih Biaya (Rp. M)</u>	<u>Waktu (bulan)</u>	
Box Girder	> 8	10	Simple Beam PCI Girder	< 8	8	Proses Pembahasan butuh waktu 3 bulan Diputuskan menggunakan PCI Girder

## ➤ Proyek Cipularang Tahap II:

Tender Jembatan Khusus dengan Metode Lump Sum Design and Build:

Pada saat tender:

- Dari beberapa proposal tender yang disampaikan oleh peserta Lelang, ada kontraktor yang mengusulkan struktur Jembatan menggunakan: Box girder, ada juga yang menggunakan steel girder, selain itu ada yang menggunakan PCI girder, dan jenis struktur-struktur lainnya;
- Dari semua usulan tersebut pada akhirnya Pemenang Tender adalah kontraktor yang mengusulkan Konsep struktur Jembatan Khusus yang menggunakan PCI girder, dengan demikian disimpulkan bahwa tipe PCI Girder adalah yang termurah dan tercepat (efisien) didalam pengadaan maupun pelaksanaannya.

# KESIMPULAN

Kesimpulan akhir dari Kajian ini adalah bahwa sampai dengan saat ini jenis struktur jembatan pada struktur jembatan khusus Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo yang paling optimal adalah jenis struktur jembatan yang menggunakan struktur atas PCI (*Prestressed Concrete I*) girder dengan sistem semi menerus (*semi continuous beam*) pada pier head, kolom-kolom berongga untuk kolom tinggi (lebih tinggi dari 30 meter) dan kolom solid untuk kolom-kolom rendah dengan tetap memperhatikan balanced stiffness antar kolom, dan struktur pondasi menggunakan bored pile.

## **Pertimbangan:**

- Kondisi Terrain yang relatif sangat sulit sehingga dibutuhkan metode pelaksanaan yang khusus mengingat jalan akses menuju lokasi pekerjaan yang relatif sulit;
- Waktu pelaksanaan yang relatif cepat ( $\pm$  1 tahun) sehingga pekerjaan akan dilaksanakan secara simultan dan dibutuhkan sumber daya yang sangat besar meliputi sumber daya material, peralatan, manusia dan sebagainya;
- Dilakukan simplifikasi bentuk struktur untuk dapat mempercepat dan mempermudah metode pelaksanaan;
- Dengan melakukan simplifikasi bentuk diharapkan akan semakin banyak para penyedia jasa maupun supplier material yang dapat turut berkompetisi sehingga akan terjadi persaingan usaha yang sehat dan pada akhirnya akan didapatkan nilai konstruksi yang efisien;
- Kemudahan pemeliharaan bangunan struktur sampai dengan dicapainya umur rencana bangunan.

# DAFTAR PUSTAKA

1. Bridge Design Code Volume 1 & 2, Bridge Management System 1992 (BMS-1992) Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum;
2. Bridge Design Manual Volume 1 & 2, Bridge Management System 1992 (BMS-1992) Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum;
3. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya, Standar Nasional Indonesia SNI 03-2833-1992;
4. Standar Pembebanan untuk Jembatan, RSNI1-2004, Badan Standardisasi Nasional (BSN);
5. Pedoman Perencanaan Beban Gempa untuk Jembatan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Final (RPT4) (Pd.T-04-2004-B);
6. Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan, RSNI4, Badan Standardisasi Nasional (BSN) Final (RSNI4); Notes on ACI 318-99 atau yang terakhir;
7. **PETA WILAYAH GEMPA Periode Ulang 500<sup>th</sup>** (Puslitbang Teknologi Sumber Daya Air).