

## **BAB VIII**

### **ANALISA BETON PADA PONDASI JEMBATAN**

#### **8.1. JEMBATAN BETON**

Jembatan beton adalah bangunan jembatan yang strukturnya menggunakan material beton bertulang khususnya pada bangunan atas (upper structure). Dalam hal ini mutu beton menjadi suatu hal yang sangat penting.

Mutu beton dipengaruhi oleh:

- ✓ Mutu material : pasir, batu pecah, semen, air.
- ✓ Mutu alat : pencampur, pengangkut, pemadat.
- ✓ Mutu perencanaan campuran (mix design).
- ✓ Mutu formwork.
- ✓ Mutu proses pengecoran.
- ✓ Mutu pemeliharaan.

Jembatan ditinjau dari material strukturnya dapat diurutkan sebagai berikut :

- Jembatan kayu / bamboo.
- Jembatan baja.
- Jembatan beton.
- Jembatan komposit (beton dan baja).

Yang dibahas lebih lanjut adalah metode konstruksi jembatan beton, meliputi berbagai jenis struktur jembatan dari jembatan biasa, jembatan lengkung dan jembatan kabel.

#### **A. Fungsi**

Secara umum, fungsi jembatan jenis apa pun sama, yaitu : Bangunan yang menghubungkan secara fisik untuk keperluan pelayanan transportasi dari tempat ujung satu ke ujung lainnya, yang terhalang oleh kondisi alam atau bangunan lain.

Secara fisik, fungsi jembatan menghubungkan dua tempat yang terhalang oleh kedua kondisi, yaitu :

- ✓ kondisi alam, seperti : sungai, lembah, selat (disebut bridge).
- ✓ kondisi bangunan atau jalan yang telah / akan ada (disebut fly over/viaduct).

Problem yang dihadapi dua macam jembatan tersebut berbeda, yaitu :

- ✓ Jembatan (bridge) : arus air atau kedalaman air yang dapat menyulitkan proses pelaksanaan jembatan.
- ✓ Jembatan layang (fly over) : fungsi bangunan/jalan yang ada di bawahnya tidak boleh terganggu selama proses pelaksanaan jembatan layang. Oleh karena itu diperlukan pengaturan lalu-lintas selama proses pelaksanaan jembatan.

Dalam pelaksanaan jembatan, hambatan utamanya adalah kondisi fisik alam setempat yang cukup diatasi dengan teknologi. Sedangkan dalam pelaksanaan jembatan layang, hambatan utamanya adalah kondisi fungsi sosial setempat yang tidak cukup diatasi dengan teknologi saja, tetapi harus dengan manajemen yang baik, agar tidak merugikan fungsi sosial yang ada, terutama lalu-lintas (traffic) yang ada. Karena itu sebelum proyek dimulai, harus dilakukan manajemen lalu-lintas (traffic management), untuk menjamin lalu-lintas tetap dapat berfungsi.

## **B. Proses Pengecoran**

Proses pengecoran "bangunan atas" jembatan beton, berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi, dan untuk mempercepat pelaksanaan serta mengurangi limbah, metode pelaksanaan berkembang menuju sistem precast. Hal ini merupakan tantangan tersendiri untuk alat angkatnya. Proses pengecoran dapat dibagi menjadi :

- ✓ Cast Insitu, bangunan atas jembatan dicor di tempat dengan bantuan perancah, baik yang terletak di atas tanah maupun yang terletak pada suatu struktur bantu.
- ✓ Precast, bagian bangunan atas dicor di pabrik / lokasi khusus

pengecoran, kemudian diangkat dan dipasang pada posisinya sesuai gambar desain.

- ✓ Campuran, sebagian bangunan atas jembatan dicor dengan sistem precast dan sebagian dicor di tempat sehingga beton tersebut menjadi satu kesatuan struktur. Dalam hal ini biasanya beton precast mendominasi sedangkan bagian yang dicor termasuk sifatnya minor.

Untuk jembatan yang besar / panjang bentangnya, strukturnya tidak mungkin lagi dibuat sekaligus baik untuk cast insitu maupun precast. Untuk mengatasi hal tersebut pelaksanaannya dipilih menggunakan segmental (segmen demi segmen), dengan sistem free cantilever atau sistem launching.

Keunggulan sistem precast dibanding dengan cast insitu (cast in place) adalah :

- waktu pelaksanaan jembatan dapat lebih cepat.
- mutu lebih terjamin.
- tidak menimbulkan limbah.
- lebih memacu perkembangan teknologi alat konstruksi, terutama alat angkut dan alat angkat.

Sedangkan kelemahannya, adalah :

- memerlukan alat angkat yang relatif besar.
- memerlukan ketelitian dimensi yang tinggi.

### **C. Jenis Jembatan Beton**

Untuk menjalankan fungsinya, jembatan menghadapi dua jenis hambatan, yaitu :

- Tantangan alam, tempat lokasi jembatan, yaitu masalah bentang.
- Karena beban yang harus dipikul semakin besar, sesuai dengan meningkatnya keperluan transportasi, yaitu masalah mutu material.

Untuk melayani tantangan tersebut, struktur jembatan juga berkembang dalam jenis-jenis desainnya, yaitu:

- Jembatan beton biasa (conventional), dapat melayani bentang yang terbatas, tidak terlalu panjang, secara layak.

- Jembatan prestressed, dapat melayani bentang yang lebih panjang secara lebih layak, karena sistem stressing yang menimbulkan momen sekunder yang berlawanan.
- Jembatan lengkung, dapat melayani bentang yang lebih panjang dibanding jembatan yang lurus, karena dapat memanfaatkan kekuatan beton yaitu: kuat tekan.
- Jembatan cable-stay atau jembatan gantung, dapat melayani bentang (antarpilar) yang sangat panjang, karena merupakan kelipatan dari jarak kabel yang ada.

Di samping perkembangan jenis desain tersebut, mutu material beton dan baja penulangan juga mengalami peningkatan, seperti contoh berikut sebagai dasar perhitungan struktur :

- Kekuatan desak beton dari  $75 \text{ kg/cm}^2$  meningkat mencapai lebih dari  $500 \text{ kg/cm}^2$ .
- Kekuatan tarik baja penulangan dari  $1200 \text{ kg/cm}^2$  meningkat mencapai  $4000 \text{ kg/cm}^2$ .

## 8.2. JEMBATAN CABLE STAY

Konsep penggunaan incline cable untuk menahan balok jembatan bukan hal baru. Konsep tersebut telah mengalami evolusi sehingga mencapai kemajuan seperti yang dapat dilihat pada struktur jembatan-jembatan cable stayed saat ini. Pembaruan yang modern tentang jembatan tersebut dimulai pada tahun 1955, yang semula menggunakan deck dari baja untuk jembatan dengan bentang yang panjang, akhirnya dapat dikembangkan penggunaan deck dari beton bertulang (prestressed).

Penggunaan cable juga berkembang dari satu menjadi banyak sesuai dengan bentang yang ingin dicapai.

Jembatan Danau Maracaibo Bridge di Venezuela dengan menggunakan deck prestressed concrete dan bentang tengah sepanjang 400 meter, dinyatakan sebagai jembatan cable stay pertama yang modern pada tahun 1962.

## A. Kelebihan

Kelebihan / keunggulan jembatan cable stay dapat dinyatakan sebagai berikut:

- Tinggi balok (girder) relatif sangat pendek dibanding dengan panjang bentang (bentang teknis yang sebenarnya adalah jarak antar-cable).
- Struktur beton deck tidak begitu aerodinamik.
- Gaya horizontal dari cable stay merupakan gaya tekan bagi beton deck.
- Jumlah cable baja yang digunakan relatif kecil.
- Defleksi akibat beban hidup kecil.
- Pelaksanaan mudah.

## B. Sistem Struktur

Jembatan cable stayed terdiri dari tower, pier, girder dan cable. Secara mendasar cable stayed bridge dibagi dalam empat sistem, yaitu:

- Floating System
- Supporting System
- Monolithic System
- Frame System

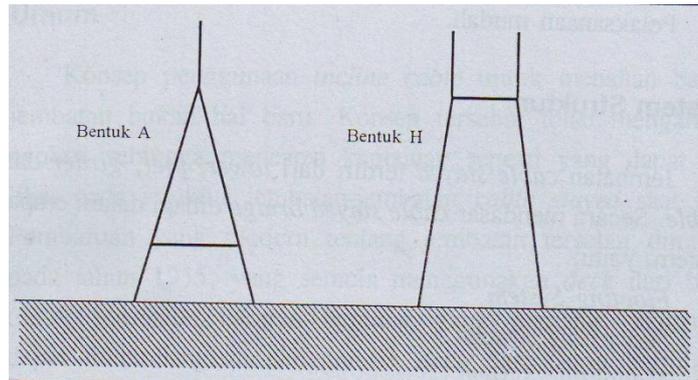
Floating system telah digunakan secara luas. Pada sistem ini tower dan pier dicor menjadi satu blok dan bagian girder pada tower digantung dengan cable vertikal.

Keuntungan dari tipe ini adalah terletak pada kesederhanaan struktur serta baik / cocok untuk menahan gempa.

## C. Tower

Sebagian jembatan cable stayed yang telah selesai, memiliki tower berbentuk portal dengan balok horizontal sebagai penghubung. Pada dasarnya bentuk tower terbagi dalam dua macam, yaitu:

- Bentuk huruf A (A shape)
- Bentuk huruf H (H shape)



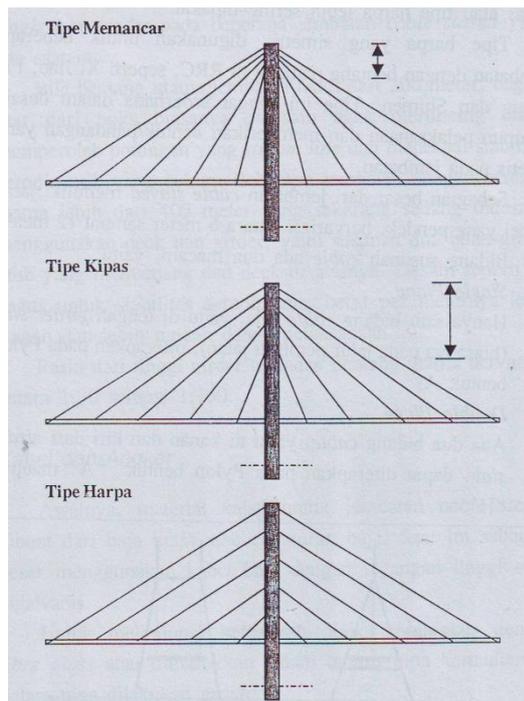
Pelaksanaan dengan tower berbentuk huruf H lebih mudah dan lebih sederhana dalam perhitungan desain girdernya.

Tower berbentuk diamond, merupakan pengembangan dalam rangka memperoleh bentuk yang estetik dan dapat menahan angin yang mungkin timbul di sekitar jembatan.

#### D. Susunan Cable

Ada tiga tipe susunan cable yang saat ini digunakan, yaitu:

1. Tipe Memancar
2. Tipe Kipas
3. Tipe Harpa



Beberapa jembatan yang menggunakan susunan cable tipe memancar, memiliki bentang utama tidak lebih dari 100 meter. Untuk bentang yang lebih dari 100 meter, tipe bentuk kipas atau tipe harpa lebih sering dipakai.

Tipe harpa yang simetris digunakan untuk beberapa jembatan dengan bentang panjang di RRC, seperti Xi Jiao, Flu Juang dan Shimen. Tipe ini sangat sederhana dalam desain maupun pelaksanaan dan memberikan bentuk / pandangan yang estetik pada jembatan.

Sebagian besar dari jembatan cable stayed memiliki jarak kabel yang pendek, bervariasi antara 6 meter sampai 12 meter.

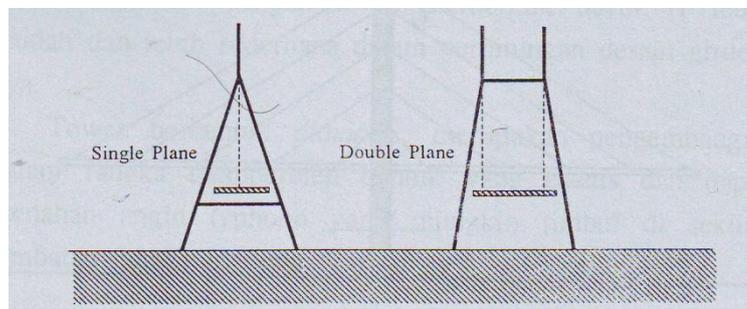
Bidang susunan cable ada dua macam, yaitu:

✓ Single Plane

Hanya satu bidang cable saja, yaitu di tengah girder slab (biasanya pada jalur pemisah jalan), diterapkan pada Pylon bentuk A.

✓ Double Plane

Ada dua bidang cable, yaitu di kanan dan kiri dari girder slab, dapat diterapkan pada Pylon bentuk "A" maupun "H".



## E. Girders

Double box girder banyak dipergunakan secara luas pada jembatan cable stayed, namun ada juga yang menggunakan single box girder pada beberapa jembatan cable stayed yang ada saat ini.

Bila bentang utama jembatan lebih dari 200 meter, bagian luar dari boks biasanya didesain agak meruncing untuk memperoleh potongan yang stream line dan mencapai stabilitas aerodinamik yang cukup. Beberapa jembatan dengan bentang utama lebih dari 400 meter yang sekarang sedang didesain, menggunakan deck dan girder, yaitu susunan dua buah girder utuh yang

memanjang dan deck di atasnya. Desain seperti itu bagus untuk stabilitas aerodinamis, berat per meternya lebih ringan dan lebih mudah dalam pelaksanaan.

Rasio dari tinggi girder terhadap bentang utama bervariasi antara 1:30 sampai 1:130.

#### **F. Kabel dan Angker**

Awalnya, material kabel untuk jembatan *cable stayed* dibuat dari baja biasa atau campuran baja. Saat ini sebagian besar menggunakan kabel baja dengan tegangan tinggi serta digalvanis.

Untuk melindungi kerusakan, kabel dibungkus dengan fibre glass atau dimasukkan dalam tabung / pipa kemudian ke dalam pipa dilakukan grouting.

Untuk angker pada awalnya dibuat dengan cara pengecoran dingin. Kemudian berkembang dengan mutu yang lebih kuat, kemudian pengembangan sistemnya menjadi multianchor system.

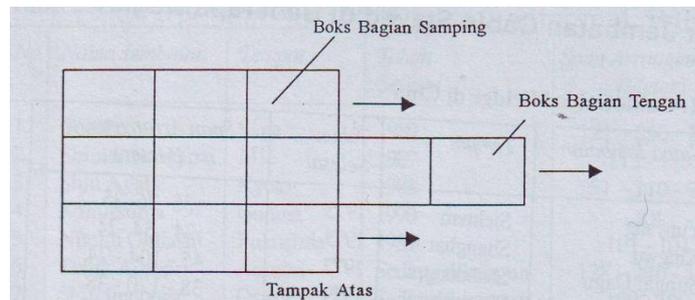
Angker bout dari prestressed, juga digunakan dalam rangka pengembangan sistem angker. Titik angker di ujung ada dua jenis, yaitu jenis fix dan adjusted, yang adjusted dapat diletakkan pada dua tempat, yaitu pada : Tower (di atas) dan Girder (di bawah).

#### **G. Metode Pelaksanaan Secara Umum**

Sampai kini, pelaksanaan jembatan cable stayed menggunakan metode kantilever. Metode ini telah menjadi cara pelaksanaan yang normal bagi pembangunan jembatan cable stayed, baik yang menggunakan precast girder maupun girder yang cast in place. Kadang-kadang digunakan juga kombinasi antara perancah untuk bentang darat dan kantilever untuk bentang laut.

Dalam metode ini kabel permanen dapat digunakan sebagai kabel kerja, untuk keperluan menahan traveling form pada saat girder dalam proses pengecoran. Untuk sistem girder cast in place, digunakan traveling form. Dalam desain, beberapa traveling form yang digunakan, mempunyai berat sekitar 30% dari berat segmen girder yang dicor.

Untuk girder yang terdiri dari tiga boks, bagian tengahnya dicor lebih dahulu, dan pada boks bagian tengah tersebut, biasanya dua segmen dicor lebih dulu, terhadap boks sampingnya.



### 8.3. METODE DASAR PEMASANGAN

Secara prinsip metode pemasangan bangunan atas jembatan beton, sama dengan jembatan rangka baja, yaitu melalui cara-cara sebagai berikut:

#### 1. Sistem Perancah (Falsework)

Pada sistem ini, balok jembatan dicor (cast insitu) atau dipasang (precast), di atas landasan yang didukung sepenuhnya oleh sistem perancah, kemudian setelah selesai perancah dibongkar.

#### 2. Sistem Kantilever (Balance Cantilever)

Pada sistem ini, balok jembatan dicor (cast insitu) atau dipasang (precast), segmen demi segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangi (balance) atau satu sisi dengan pengimbang balok beton yang sudah dilaksanakan lebih dahulu.

#### 3. Sistem Peluncuran (Launching)

Pada sistem ini balok jembatan dicor di salah satu sisi jembatan, kemudian diluncurkan dengan cara ditarik/didorong hingga mencapai sisi lain jembatan. Untuk bentang tunggal, sistem ini memerlukan bantuan jembatan launching, gantry atau dua buah crane yang bekerja secara bersamaan.

Untuk bentang lebih dari satu, sistem ini memerlukan bantuan launching nose yang disambung di depan balok (untuk mengurangi moment akibat

kantilever). Bila struktur jembatan cukup besar, dan lahan terbatas, biasanya digunakan system incremental launching.

Berbagai sistem tersebut merupakan alternatif untuk dipilih yang paling mungkin/aman/efisien, dengan cara pemilihan sistem yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bangunan dan kondisi desain bangunan itu sendiri. Atau terkadang desain dapat disesuaikan dengan metode yang akan dipilih.

#### **8.4. ANALISA BETON PADA PONDASI JEMBATAN**

Pondasi jembatan terdiri dari dua macam yaitu: pondasi abutment yang ada di kedua pangkal jembatan, dan pondasi pilar di tengah sungai/selat. Terkadang pondasi pilar jembatan ada yang masih terletak di darat, tergantung situasi setempat.

##### **1. Pondasi Abutment**

Tergantung kondisi tanah setempat, jenis pondasi dapat berupa pondasi langsung, bila tanah keras letaknya dangkal, atau pondasi sumuran bila letak lapisan tanah keras tidak terlalu dalam. Dan bila letak lapisan tanah keras sangat dalam, maka pondasi menggunakan pondasi dalam, yaitu pondasi tiang.

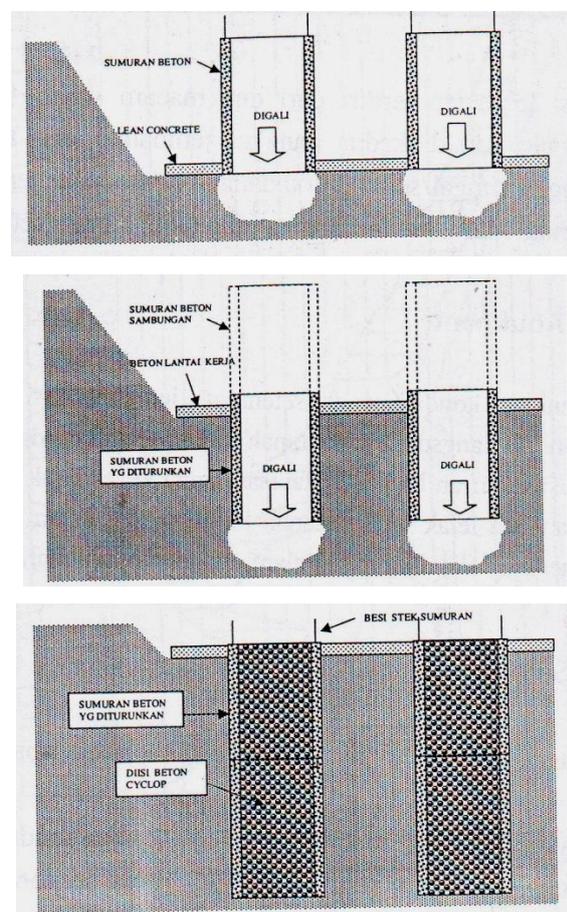
##### **• Pondasi Sumuran**

Pondasi sumuran, pelaksanaannya dilakukan sebagai berikut :

- Dibuat titik-titik pengukuran, untuk memandu letak bangunan abutment sesuai dengan gambar rencana, serta pedoman elevasinya.
- Dilakukan penggalian sampai dengan elevasi atas sumuran, dan kemudian lantai kerja dicor, kecuali lokasi sumuran.
- Dengan dipandu titik-titik ukur yang ada, beton sumuran bertulang dicor di tempatnya. Dan setelah cukup umurnya beton sumuran diturunkan dengan cara menggali bagian dalamnya. Beton sumuran akan turun karena beratnya sendiri.
- Bila elevasi dasar sumuran belum tercapai, maka beton sumuran

disambung dengan beton sumuran selanjutnya, dan kemudian diturunkan lagi, dengan proses yang sama. Begitu seterusnya sampai mencapai elevasi rencana.

- Beton sumuran yang telah mencapai elevasi rencana, kemudian diisi dengan beton cyclop sampai penuh.
- Di atas beton sumuran yang telah selesai (jumlahnya sesuai dengan rencana), abutment dilaksanakan.



Setelah pembuatan pondasi sumuran selesai, struktur abutment dilaksanakan. Urutannya, pertama plat kaki abutment diselesaikan dengan menyediakan starter bar (besi stek) untuk penulangan dinding abutment. Setelah dinding abutment rampung, sebaiknya timbunan di belakang abutment diselesaikan (timbunan oprit). Hal ini akan banyak memiliki keuntungan, yaitu selain memberikan waktu settlement yang cukup, juga

dapat menyediakan areal kerja yang luas dan rata, sehingga akan membantu memudahkan kegiatan penyelesaian bangunan atasnya.

Perhitungan untuk pondasi sumuran dapat dilakukan dengan :

1. Menentukan Reaksi Tanah Horizontal.

$$P1 = \gamma.z ( Kp-Ka)$$

P = beban/satuan luas

$$\rho = P1. \frac{P}{\rho1} = \frac{P}{\rho1} \gamma.z ( Kp-Ka)$$

$$\frac{P}{\rho1} = m. z \longrightarrow m = \gamma( Kp-Ka) / \rho1$$

m = koefisien tanah horizontal

2. Menentukan Stabilitas Pondasi

Dari persamaan kesetimbangan :

$$P = P1-P2 .\mu.R$$

$$Ph=M_3 + M_2 + M_1 - \mu.R.D + \mu ( P-P2 ).D/2$$

$$W = \mu ( P1 + P2 ) + R$$

3. Menghitung Pembebanan

Untuk pembebanan digunakan perhitungan :

- Berat jenis Poor
- Beban Superstructur
- Hasil akhir  $\Sigma V$

4. Menghitung Dimensi Pondasi sumuran

- $\acute{I}$  ( berat jenis ) =  $\Sigma V / A$  = Jumlah beban / Luas penampang
- $A_1$  = Jumlah luas pondasi semuran
- Mencari diameter sumuran
- Menentukan luas sumuran
- Mencari luas poor
- Mencari luas poor setelah ada sumuran

5. Menghitung tegangan tanah yang terjadi / timbul

- Menggunakan tabel daya dukung Terzaghi
- Mencari  $q_{ult} = 1,3.c.N_c + D_f + \gamma.N_q + 0,3.B. \gamma..N_\gamma$
- Mencari  $q_{all} = q_{ult} / Sf$  (safety factor)
- Menghitung beban di P
- Menghitung besarnya beban yang di pakai P  
 $Q = q_{all} .As$
- Menghitung berat sumuran
- Menghitung berat total
- $\acute{T}t = \text{berat total} / \text{luas}$
- $Tt \leq \acute{T}t$

6. Menghitung tulangan pondasi

- $A_{min} = 1\%.A$
- Mencari luas untk tiap sumuran( dibagi banyaknya sumuran)
- Maka dengan table interaksi kolom didapatkan  $\rho$  perlu untuk menentukan tulangan sumuran

Luas tulangan perlu :

$$As_{lx} = \rho_{perlu}.b.d$$

$$\text{Jarak tulangan perlu} = \left[ \frac{\pi / 4 . \phi_{tul}^2 . b}{As_{Lx}} \right]$$

Maka diambil jarak tulangan (s)

Kontrol kapasitas momen :

$$a = \frac{As . fy}{0,85 . f'c . b}$$

$$Mn = As . fy . (d - a/2)$$

$$\text{Syarat : } \emptyset Mn > Mu$$

• **Pondasi Tiang**

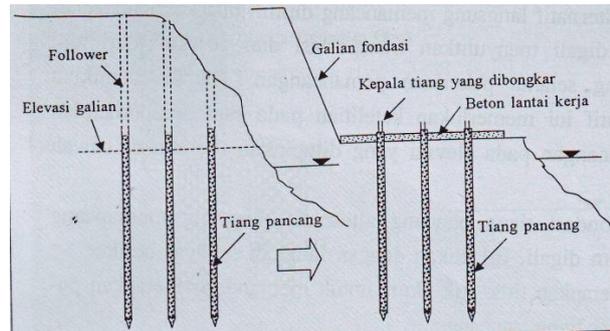
Pelaksanaan pondasi tiang ini dapat dilakukan dengan dua alternatif, yaitu tanah digali sampai elevasi pondasi terlebih dahulu, baru pemancangan

dimulai. Kemudian alternatif yang lain adalah dengan langsung memancang tiang, di mana kepala tiang dibenamkan sampai ke elevasi yang diinginkan (sesuai rencana), baru setelah itu pekerjaan galian dapat dimulai.

Alternatif langsung memancang dipilih bila kondisi setelah tanah digali menyulitkan transportasi dan gerakan dari alat pancang selama pekerjaan pemancangan. Namun demikian alternatif ini memerlukan ketelitian pada saat pemberhentian pemancangan pada elevasi yang diinginkan (berada di bawah tanah).

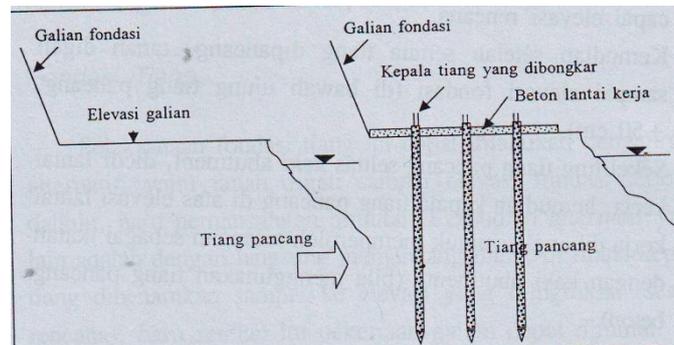
Pondasi tiang pancang alternatif langsung memancang sebelum digali, dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- Tetapkan titik-titik ukur, untuk memandu/menetapkan posisi tiang pancang.
- Permukaan tanah diratakan seperlunya.
- Pemancangan dimulai dari titik pancang bagian yang dekat dengan sungai (panjang tiang pancang ditetapkan berdasar sondir).
- Setelah ujung tiang pancang mencapai elevasi tanah yang ada, dilakukan pemasangan alat penyambung pemancangan (follower), dan dipancang kembali sampai mencapai elevasi rencana.
- Kemudian setelah semua tiang dipancang, tanah digali sampai elevasi pondasi (di bawah ujung tiang pancang,  $\pm 50$  cm).
- Sekeliling tiang pancang seluas kaki abutment, dicor lantai kerja, kemudian kepala tiang pancang di atas elevasi lantai kerja dibongkar untuk memperoleh tulangan sebagai ikatan dengan kaki abutment (bila menggunakan tiang pancang beton).



**Alternatif Memancang Langsung**

Pondasi tiang pancang alternatif, dilakukan dengan cara menyelesaikan terlebih dahulu galian tanah untuk pondasi sehingga proses pemancangan tidak perlu menggunakan follower.



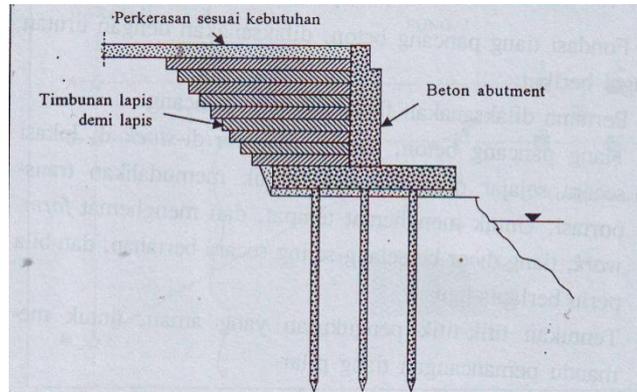
**Alternatif Digali Lebih Dulu**

### **Timbunan Oprit**

Bila abutment telah selesai dilaksanakan, baik dengan pondasi sumuran maupun pondasi tiang, sebaiknya timbunan oprit segera dilaksanakan. Dengan demikian daerah di belakang abutment (daerah oprit) dapat leluasa dipergunakan sebagai areal kerja dalam mempersiapkan bangunan atasnya.

Yang perlu diperhatikan di sini, pekerjaan timbunan harus dilakukan sesuai dengan persyaratan penimbunan tanah, yaitu dilakukan lapis demi lapis dan dipadatkan sampai kepadatan yang disyaratkan. Bila suatu lapisan belum mencapai kepadatan yang disyaratkan, maka lapisan berikutnya tidak boleh dimulai sampai lapisan tersebut mencapai kepadatan yang disyaratkan.

Bahkan bila diperlukan, daerah oprit tersebut dapat dilakukan perkerasan sesuai dengan kebutuhan kerja untuk bangunan atasnya. Cara penimbunan oprit dapat ditunjukkan sebagai berikut:



## 2. Pondasi Pilar

Pondasi pilar pada umumnya menggunakan tiang. Pilihan ini dengan pertimbangan bahwa bangunan akan tetap aman seandainya terjadi degradasi dasar sungai oleh sebab apa pun.

Untuk memudahkan pelaksanaan, saat ini banyak dipilih pembuatan pile cap di atas muka air terendah. Dengan demikian pembuatan pondasi pilar hampir tidak ada kesulitan sama sekali. Keamanan tiang-tiang pilar terhadap barang hanyutan dari sungai, diatasi dengan pembuatan tiang-tiang fender sekeliling tiang, terutama di bagian hulu.

Pondasi tiang, dapat dilaksanakan dengan tiang pancang maupun tiang bor (bored pile), tergantung kondisi tanah setempat. Pada umumnya bila kondisi tanah keras, digunakan pondasi tiang bor.

- **Pondasi Tiang Pancang**

Pondasi tiang pancang (pile foundation) adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan mentransfer (menyalurkan) beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Tiang pancang bentuknya panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Bahan utama dari tiang adalah kayu, baja (steel), dan beton. Tiang pancang yang terbuat dari bahan ini adalah dipukul, di bor atau di dongkrak ke dalam tanah dan dihubungkan dengan Pile cap (poer). Tergantung juga pada tipe tanah, material dan karakteristis penyebaran beban tiang pancang di klasifikasikan berbeda-beda.

Pondasi tiang sudah digunakan sebagai penerima beban dan sistem transfer beban bertahun-tahun. Pada awal peradaban, dari komunikasi, pertahanan, dan hal-hal yang strategis dari desa dan kota yang terletak dekat sungai dan danau. Oleh sebab itu perlu memperkuat tanah penunjang dengan beberapa tiang.

Pada tahun 1740, Christoffoer Polhem menemukan peralatan pile driving yang mana menyerupai mekanisme Pile driving saat ini. Tiang baja (Steel pile) sudah digunakan selama 1800 dan Tiang beton (concrete pile) sejak 1900. Revolusi industri membawa perubahan yang penting pada sistem pile driving melalui penemuan mesin uap dan mesin diesel.

Lebih lagi baru-baru ini, meningkatnya permintaan akan rumah dan konstruksi memaksa para pengembang memanfaatkan tanah-tanah yang mempunyai karakteristik yang kurang bagus. Hal ini membuat pengembangan dan peningkatan sistem Pile driving. Saat ini banyak teknik-teknik instalasi tiang pancang bermunculan.

Seperti tipe pondasi yang lainnya, tujuan dari pondasi tiang adalah :

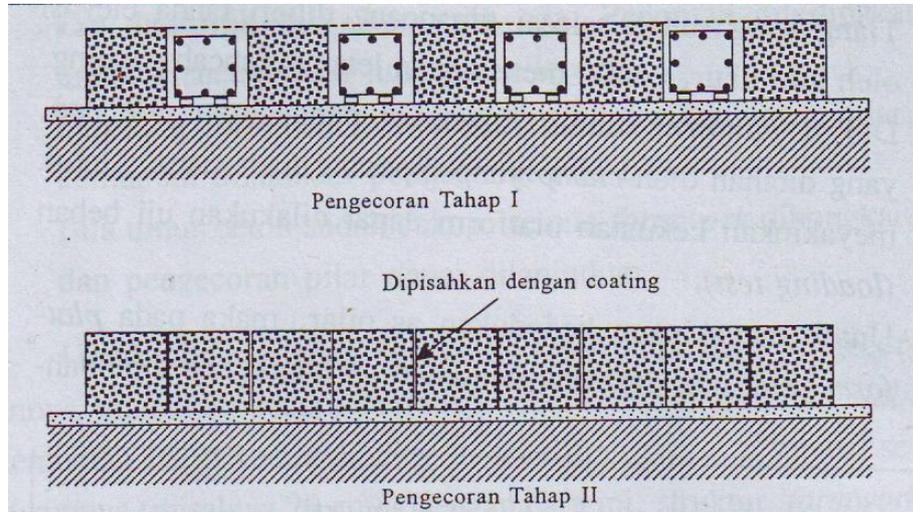
- untuk menyalurkan beban pondasi ke tanah keras
- untuk menahan beban vertical, lateral, dan beban uplift

Struktur yang menggunakan pondasi tiang pancang apabila tanah dasar tidak mempunyai kapasitas daya pikul yang memadai. Kalau hasil pemeriksaan tanah menunjukkan bahwa tanah dangkal tidak stabil & kurang keras atau apabila besarnya hasil estimasi penurunan tidak dapat diterima pondasi tiang pancang dapat menjadi bahan pertimbangan. Lebih jauh lagi, estimasi biaya dapat menjadi indikator bahwa pondasi tiang pancang biayanya lebih murah daripada jenis pondasi yang lain dibandingkan dengan biaya perbaikan tanah.

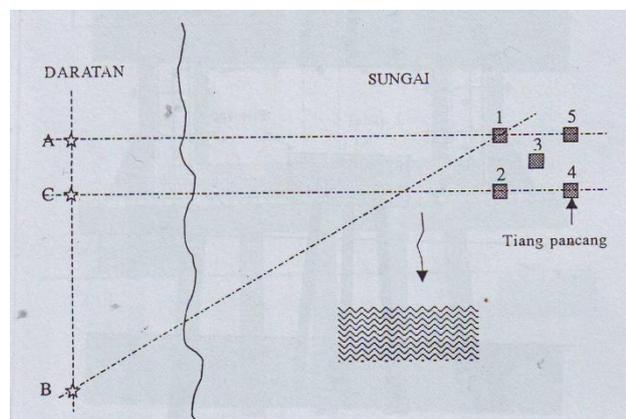
Pondasi tiang pancang beton, dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut:

- Pertama dilaksanakan fabrikasi tiang pancang. Tiang pancang beton, sebaiknya dicor/distock di lokasi secara sejajar dengan sungai untuk memudahkan transportasi. Untuk menghemat tempat, dan menghemat formwork, tiang dicor berselang-seling secara bertahap, dan bila perlu berlapis-lapis.

- Tentukan titik-titik pengukuran yang aman, untuk memandu pemancangan tiang pilar.

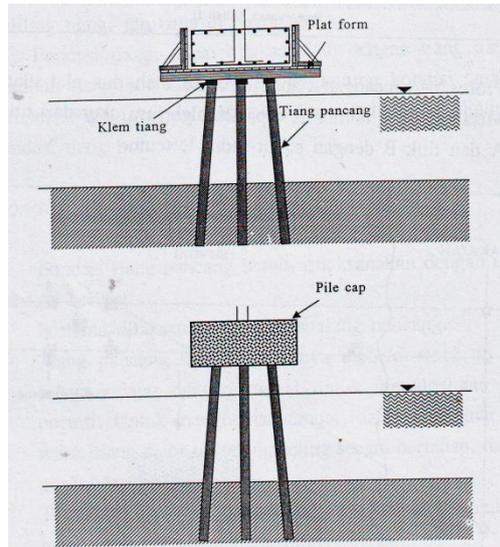


- Proses pemancangan tiang, dipandu oleh dua alat ukur. Misalnya tiang nomor 1, dipandu oleh juru ukur dari titik A dan titik B dengan sudut-sudut tertentu.



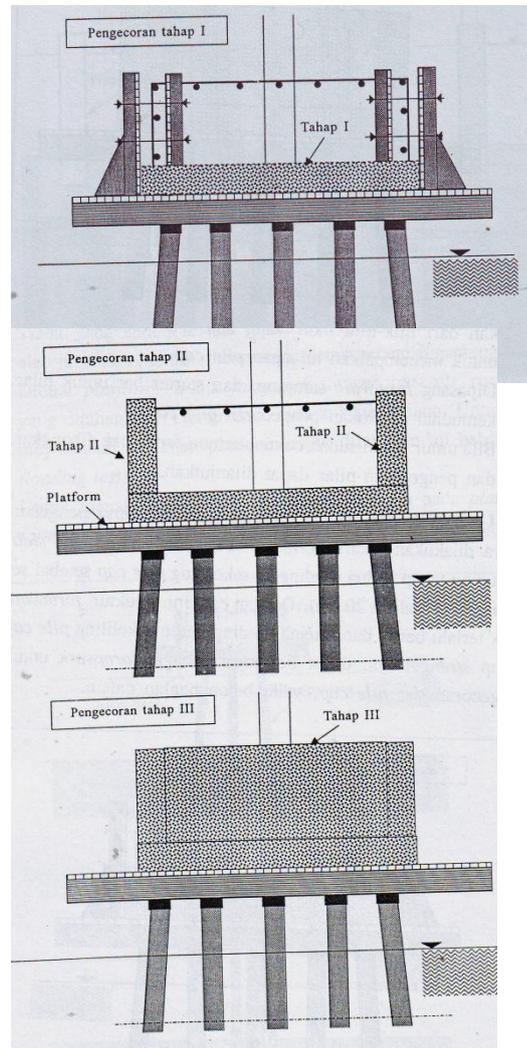
- Tiang yang sudah selesai dipancang diberi tanda elevasi oleh juru ukur, untuk menetapkan letak perancah gantung.
- Dibuat platform, untuk formwork pengecoran pile cap, yang ditahan oleh clamp yang dipasang pada tiang. Untuk meyakinkan kekuatan platform dapat dilakukan uji beban (loading test).
- Untuk meyakinkan kedudukan as pilar, maka pada platform yang ada

dipasang pedoman as pilar yang dipindahkan dari titik-titik ukur yang ada. Pedoman ini dipakai untuk menempatkan tulangan pile cap.



- Dipasang formwork samping, dan starter bar untuk pilar, kemudian dilakukan pengecoran pile cap.
- Bila umur beton sudah cukup, semua formwork dibongkar, dan pengecoran pilar dapat dilanjutkan.

Untuk pile cap yang berukuran besar, biasanya pengecorannya dilakukan secara bertahap. Yaitu, tahap pertama slab, kemudian tahap kedua dinding di sekeliling pile cap setebal secukupnya (misalnya 20 cm). Dengan cara ini, struktur formwork tidak terlalu berat, dan setelah dinding beton sekeliling pile cap cukup strength-nya, dapat berfungsi sebagai formwork untuk pengecoran sisa pile cap, yaitu beton bagian dalam



## Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

### 1. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Pondasi

Data Perencanaan :

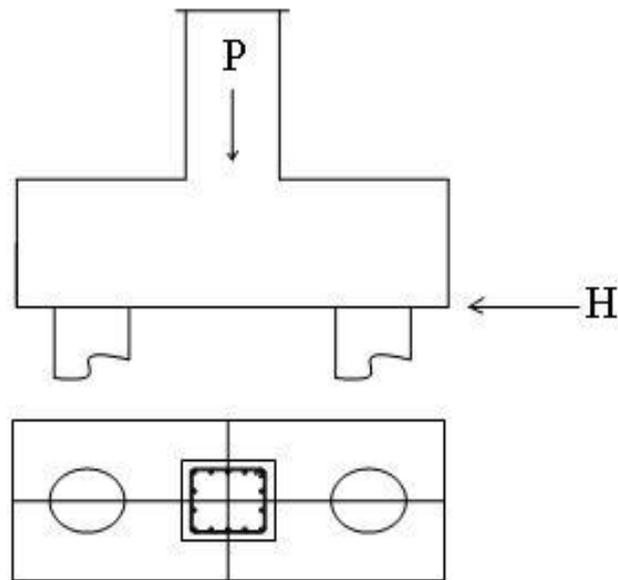
- Kedalaman Tiang Pancang
- Diameter Tiang Pancang
- Mutu Beton ( $f_c'$ )
- Mutu Baja ( $f_y$ )
- Data Sondir / Data tanah ( SPT/DPT )

Perhitungan Pondasi Tiang Pancang:

- Mencari perlawanan ujung konus pada data tanah yang tersedia ( $q_c$ )

- Menghitung Jumlah hambatan pelekat / cleef ( $C_u$ )
- Menghitung kapasitas daya dukung pondasi (point bearing pile)
- Mendimensi Tiang Pancang
  - Menentukan jumlah tiang pancang

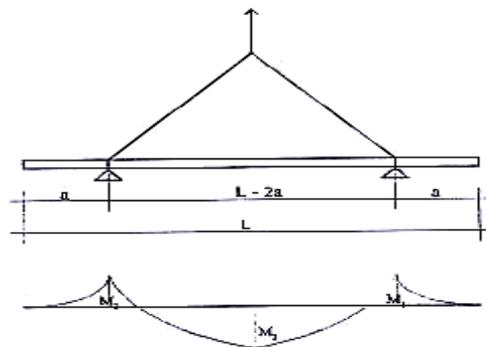
$$n = \frac{P_r}{P_a}$$



- Merencanakan tulangan tiang pancang  
Penulangan tiang pancang didasarkan pada kapasitas momen tiang pancang pada saat pengangkatan.

$$q = A_p \cdot \gamma_b$$

KONDISI PENGANGKATAN 1



**Kapasitas Momen pada Kondisi Pengangkatan 1**

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot q(L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q(L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

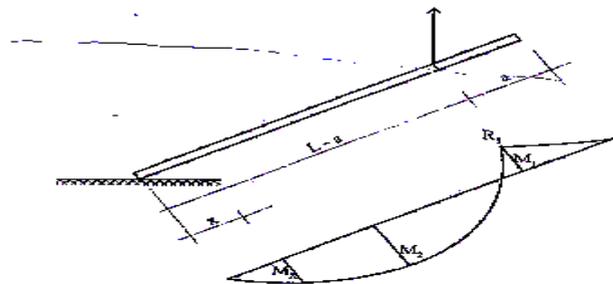
$$a^2 = \frac{1}{8} \cdot L^2 - \frac{1}{2} \cdot L \cdot a + \frac{1}{2} \cdot a^2$$

$$0 = 4a^2 + 4aL - L^2$$

Dengan menggunakan rumus ABC didapat  $a = 3,314 \text{ m}$

$$M_2 = M_{\text{maks}} = \frac{1}{8} \cdot q (L - 2a)^2$$

### KONDISI PENGANGKATAN 2



### Kapasitas Momen Pada Kondisi Pengangkatan 2

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (L - a)^2 - \left[ \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \cdot \right] / (L - a)$$

$$= \frac{q(L^2 - 2aL)}{2(L - a)}$$

$$M_x = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

Syarat ekstrim :

$$dM_x/dx = 0$$

$$R_1 \cdot q \cdot x = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{q(L^2 - 2aL)}{q(L - a)}$$

$$M_{\text{maks}} = M_2$$

$$= R_1 \frac{(L^2 - 2aL)}{q(L-a)} - 0,5q \left[ \frac{(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \right]^2 = 0,5q \cdot \left[ \frac{(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \right]^2$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = 0,5q \cdot \left[ \frac{(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \right]^2$$

$$a = \frac{(L^2 - 2aL)}{2(L-a)}$$

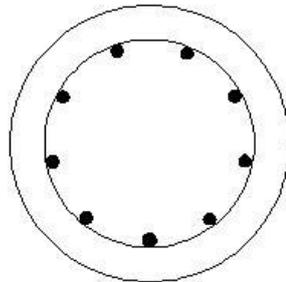
$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0$$

Maka momen maksimum pada kondisi pengangkatan 2 adalah :

$$M_{\text{maks}} = M_2 = 0,5q \cdot \left[ \frac{(L^2 - 2aL)}{2(L-a)} \right]^2$$

Dari kondisi pengangkatan diatas, diambil momen maksimum paling berbahaya, yaitu pada kondisi pengangkatan kedua.

- Kontrol stabilitas tiang pancang terhadap beban normal sentries, momen, gaya horizontal,



Dari perhitungan stabilitas di peroleh didapat tulangan pondasi tiang pancang.

- Perhitungan Poor
  - Menghitung tegangan tanah yang terjadi

$$q_{1-2} = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

- Kontrol kekuatan geser

$$q_c = \frac{1}{2} \cdot (q_1 + q_2)$$

$$q_v = q_c + \left( \frac{0,5.C_1 + d}{1/2.L} \right) \cdot (q_1 - q_2)$$

$$V_{u1} = \frac{1}{2} \cdot (q_1 + q_v) \cdot L \cdot (0,5 \cdot L - (0,5 \cdot C_1 + d))$$

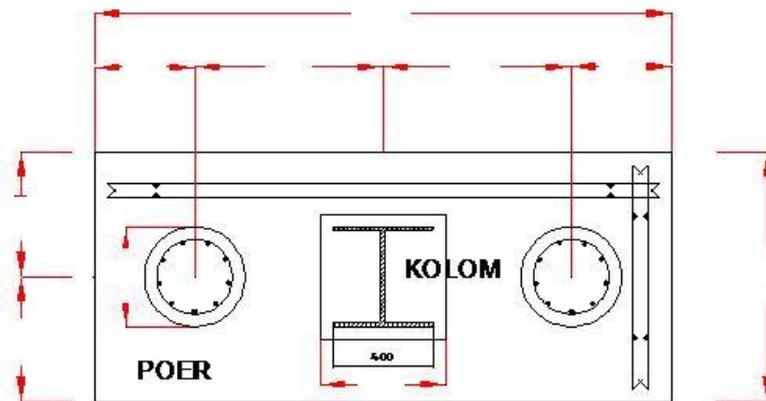
$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

- Menghitung Tegangan geser 2 arah
- Penulangan arah x dan y
- Kontrol kapasitas momen

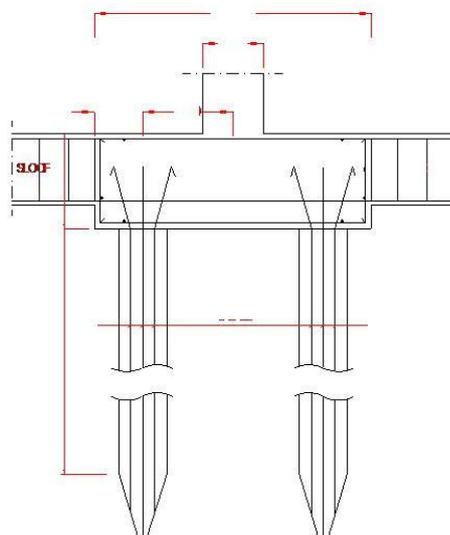
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$\emptyset M_n > M_u$$



### Penulangan Pile Cap

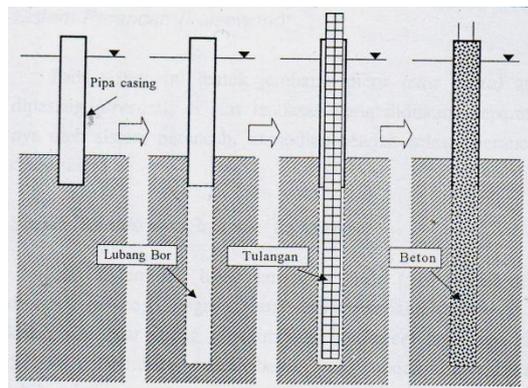


### Penulangan Pondasi Tiang Pancang

- **Pondasi Tiang Bor (Bored Pile)**

Bila keadaan tanah dasar sungai/selat keadaannya keras, maka tiang yang digunakan ialah tiang bor (bored pile). Pemasangan bored pile, dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pipa casing dipancang (dipandu titik-titik ukur yang ada untuk menetapkan posisinya), dengan kedalaman seperlunya agar pipa casing dapat berdiri kuat.
- Bila pipa casing sulit masuk tanah, maka harus dibantu dengan pengeboran untuk memasukkannya.
- Kemudian melalui pipa casing dilakukan pengeboran sedalam rencana. Bekas-bekas pengeboran dibersihkan (disedot ke luar).



- Penulangan dimasukkan dan kemudian dicor dengan metode pipa tremi.
- Begitu seterusnya untuk tiang-tiang yang lainnya.
- Selanjutnya pengecoran pile cap, sama seperti pada tiang pancang.

Di sini pipa casing ditinggal dan menjadi bagian dari struktur, karena berfungsi sebagai form work pada proses pengecoran.

## 2. Proses Pelaksanaan suatu Jembatan

Ada beberapa tahapan-tahapan dalam pelaksanaan perencanaan suatu jembatan. Tahapan pelaksanaan proyek ini harus disusun sedemikian rupa mulai dari pengerjaan awal hingga finishing (jika pengerjaan proyek hingga finishing). Semuanya ini disusun didalam *Time Schedule*. Tahapan-tahapan dan berapa lama pengerjaan proyek tersebut disusun dahulu sebelum pelaksanaan, sehingga proyek tersebut dapat berjalan sesuai rencana dan tepat waktu.

### **A. Pekerjaan Pembersihan**

Pengerjaan dimulai dari pembersihan lapangan dan pemerataan permukaan tanah seperti yang telah direncanakan. Bahkan kalau perlu dilakukan pengerukan dan pengurangan tanah, setelah itu tanah dipadatkan.

### **B. Pekerjaan Pondasi**

Setelah tanah bersih dan rata, dilanjutkan kemudian dengan pemancangan tiang pondasi, yang biasa disebut dengan *Tiang Pancang*. Sebelum pemancangan ini, perlu ditentukan dahulu titik-titik pondasi tersebut. Setelah titik-titik pondasi ditentukan, barulah proses pemancangan dapat dilakukan. Proses pemancangan ini harus sangat diperhatikan, karena saat proses pemancangan, dapat terjadi berbagai kesalahan. Operator mesin pancang diharapkan terus mengontrol posisi tiang pancang. Dalamnya pondasi tiang pancang yang tertanam di dalam tanah tergantung dari jenis dan kondisi tanah tersebut, karena pondasi tiang pancang harus berdiri di atas tanah yang keras. Jika proyek berada di daerah tanah rawa, pondasi tiang pancang tertanam lebih dalam. Sebagai contoh jika proyek berada di daerah Jakarta Utara, yang merupakan tanah rawa, pondasi tiang pancang akan tertanam sangat dalam. Lain halnya jika berada di sekitar Jakarta Selatan, yang mempunyai tanah lebih keras, pondasi tiang pancang tertanam tidak terlalu dalam.

Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan *Pile Cap* dan *Sloof*. *Pile Cap* ini berfungsi untuk membagi rata beban dari kolom kepada beberapa pondasi dibawahnya. Dan tiap *Pile Cap* ini juga dihubungkan satu sama lain oleh *Sloof*, sehingga semua tiang pancang mempunyai satu ikatan struktur.

### **C. Pekerjaan Struktur Atas**

Setelah pekerjaan struktur bawah, yaitu pemancangan selesai, dilanjutkan kembali dengan pengerjaan bagian struktur atas. Struktur atas terdiri dari *kolom*, *balok* dan *pelat*. Pengerjaan struktur atas dimulai dari pengerjaan kolom. Tapi terlebih dahulu, titik-titik kolom harus ditentukan posisinya dan dengan bantuan alat, sehingga titik-titik kolom tersebut sejajar satu sama lain.

Dalam proses pengerjaan kolom, hal yang pertama dilakukan adalah pengerjaan tulangan-tulangan kolom seperti yang telah didisain. Sebelum pengecoran kolom, terlebih dahulu dibuat *bekisting* yang dibentuk seperti kolom sehingga beton dapat dicor di dalamnya. Pengerjaan berikutnya adalah bagian balok dan pelat. Balok dan pelat memang dikerjakan bersamaan, Sama seperti pengerjaan kolom, pertama kali juga dilakukan pengerjaan bekisting. Agar waktu yang dibutuhkan seminimal mungkin, pengerjaan bekisting dan penganyaman tulangan dapat dilakukan secara bersamaan. Setelah pembuatan bekisting dan penulangan selesai, baru dilanjutkan dengan pengecoran beton. Hal yang terpenting adalah semua beton yang di-cor itu harus berada dalam satu ikatan, yang berarti proses pengecoran pelat dan balok harus serempak selesainya dan beton pun akan kering bersamaan, sehingga kekuatannya pun dalam satu ikatan. Begitu juga pengerjaan lantai berikutnya, prosesnya pun sama dengan sebelumnya. Dan selama proses pengecorannya pun juga harus dirojak, sehingga cor beton penuh mengisi bekisting.

#### **D. Pekerjaan Finishing**

Jika struktur telah berdiri kokoh, baru dapat dilanjutkan dengan pengerjaan finishing, yaitu pengerjaan dinding, elektrik dan sanitasi, pemasangan keramik, pengecatan dan sebagainya. Namun, pengerjaan finishing inilah yang membutuhkan waktu paling lama, karena pengerjaannya harus hati-hati sehingga didapat bentuk yang rapi dan sesuai perencanaan.