

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Building Information Modeling (BIM)***

BIM adalah hasil inovasi teknologi dibidang AEC (*architecture, engineering, and construction*) dengan model virtual yang cukup akurat dari suatu bangunan sehingga dapat dijadikan model informasi secara digital (Azhar, 2011). BIM menjadi sebuah *database* yang berisikan informasi yang diperlukan dalam proses seperti logistik, konstruksi, operasinal bangunan, fasilitas, dan pekerjaan sipil. Model tersebut mampu mencakup dan memberikan informasi dan memelihara desain serta siklus hidup dalam bentuk digital instrumen (Wong et al., 2010). Penerapan BIM pada dunia konstruksi sukses mengangkat kinerja proyek dengan adanya peningkatan produktivitas kerja proyek (Abanda et al., 2018). BIM memiliki tingkatan implementasi BIM sampai 7 dimensi, antara lain :

1. BIM 3D

Pengintegrasian gambar 2 dimensi menjadi gambar animasi 3D yang digunakan untuk visualisasi secara digital.

2. BIM 4D

Adanya pengembangan BIM 3D dengan pengintegrasian terhadap aspek waktu atau data penjadwalan.

3. BIM 5D

Adanya pengembangan BIM 4D dengan pengintegrasian terhadap aspek biaya atau data estimasi biaya pada desain.

4. BIM 6D

Adanya pengembangan BIM 5D dengan pengintegrasian terhadap analisis aspek lingkungan pada desain.

5. BIM 7D

Adanya pengembangan BIM 6D dengan mengimplementasikan BIM pada fase pemeliharaan.

## 2.2 Revit

*Revit* merupakan *software* yang bersinggungan dengan *Building Information Modeling* (BIM) sehingga para pengguna dapat membuat desain secara 3D. *Revit* memberikan kemudahan bagi berbagai bidang seperti Arsitektur, Teknik Sipil, Mekanikal, dan Elektrikal. Dalam dunia konstruksi, *Revit* menjadi peran penting dalam merancang suatu bangunan. Banyaknya fitur pada *software* ini memberikan kemudahan bagi *engineer* dalam menganalisis kekuatan dan stabilitas struktur bangunan.

Adapun beberapa keunggulan dari *Autodesk Revit* dalam dunia konstruksi, antara lain :

1. Risiko perbedangan pandangan terkait desain lebih minim karena dapat dilakukan permodelan secara 3D.
2. Permodelan struktur dapat dilakukan dengan baik dan memiliki beberapa kesamaan dengan *Autocad* sehingga mudah dipahami.
3. Perhitungan volume lebih akurat terutama dalam perhitungan balok menggunakan bentang bersih dari dimensi balok itu sendiri.
4. Perhitungan volume dapat dilakukan lebih cepat karena sudah otomatis terhitung dengan *software*.
5. Permodelan 3D dapat mempermudah dalam proses evaluasi oleh *owner*.

Hal yang perlu di perhatikan dalam penggunaan *software Revit* yaitu :

1. Keterampilan dalam menggunakan *software Revit*, apabila terjadi kesalahan dalam permodelan akan berpengaruh terhadap jumlah volume yang dihasilkan.
2. Proses permodelan memerlukan waktu dan ketelitian tinggi untuk menghindari kesalahan desain.

## 2.3 Microsoft Project

*Microsoft Project* merupakan aplikasi perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi terkait penjadwalan proyek milik *Microsoft* yang dapat membantu para manajer

proyek untuk melakukan pencatatan serta pemantauan penggunaan sumber daya meliputi jumlah pekerja, material, dan peralatan yang terlibat serta dibutuhkan dalam suatu proyek sehingga proses pengelolaan proyek menjadi lebih efisien dan terstruktur. (Sholeh & Nurdiana, 2021)

Dalam penggunaan aplikasi *Microsoft Project* terdapat beberapa fitur yang memudahkan *user* karena sifatnya yang terintegrasi langsung dengan data-data proyek yang sudah *diinputkan* kedalamnya. Seperti contoh, fitur *Cash Flow* atau biasa juga disebut dengan Kurva S yang secara otomatis muncul setelah *user* *menginputkan* data-data proyek dan memainkan *predecessornya*. Selain itu, dalam *Microsoft Project* juga dapat diketahui biaya yang dikeluarkan setiap minggunya serta adanya fitur "*Slack Time*" yang menyajikan informasi tentang durasi maksimal pekerjaan dalam suatu proyek tersebut dapat ditunda tanpa memperlambat durasi proyek secara keseluruhan (Sholeh & Nurdiana, 2021).

## **2.4 Perencanaan Konstruksi Jembatan Beton Prategang**

### **2.4.1 Pengumpulan Data**

Berikut ini merupakan data-data yang diperoleh dari hasil analisis :

#### **A. Data Primer**

##### **1. Data Pengujian Tanah (*Boring Log*)**

Hasil data pengujian tanah berperan dalam pengukuran daya dukung tanah yang akan dibangun jembatan. Penentuan jenis pondasi serta kedalaman pondasi yang efektif dapat diketahui berdasarkan referensi hasil pengujian tanah (Prayogo, 2016).

##### **2. Data Topografi**

Rona muka bumi dan wilayah aliran sungai (DAS) merupakan data yang diperoleh dari data topografi. Data topografi digunakan untuk mengetahui situasi, bentang, serta posisi jembatan yang akan dibangun (Wahyu, 2014).

#### **B. Data Sekunder**

##### **1. Data Hidrologi**

Data hidrologi dalam perencanaan jembatan digunakan untuk mencari nilai debit banjir rencana yang kemudian ditentukan elevasi muka air banjir dan muka air normal dan digunakan untuk mencari *freeboard* jembatan dari muka air banjir (Wahyu, 2014).

#### 2.4.2 Perencanaan Teknis Jembatan

Berdasarkan panduan praktis perencanaan teknis jembatan 2017 perencanaan jembatan mengacu pada pokok-pokok sebagai berikut :

- Kekuatan stabilitas struktur  
Kekuatan dipengaruhi oleh momen, gaya aksial / lintang, kekakuan. Sedangkan stabilitas struktur dipengaruhi oleh dimensi, jenis bahan, dan kekakuan.
- Kenyamanan dan keselamatan  
Kenyamanan dan keselamatan menjadi bagian penting dalam perencanaan, salah satunya pembuatan lantai jembatan harus menghasilkan pergerakan lalu lintas yang mulus.
- Kemudahan (pelaksanaan dan pemeliharaan)  
Dalam merencanakan jembatan perlu mempertimbangkan serta menyesuaikan kondisi lapangan supaya proses pengerjaan lebih efektif. Perlu adanya tangga inspeksi atau jalan inspeksi guna mempermudah pemeriksaan dan pemeliharaan. Daerah sekitar landasan dan dibawah sambungan harus dirancang untung pendongkrakan, pembersihan, perbaikan, penggantian perletakan dan sambungan.
- Ekonomis  
Efisiensi biaya dapat dicapai dengan beberapa factor, pemilihan tipe bangunan atas yang sesuai akan menjadikan pembangunan jembatan yang ekonomis. Efisiensi juga dilakukan pada biaya awal pembangunan (*initial cost*), biaya operasional (*operational cost*), dan biaya pemeliharaan (*maintenance cost*).
- Keawetan dan jangka panjang

Konstruksi jembatan pada dasarnya direncanakan agar dapat meminimalkan faktor-faktor yang dapat menimbulkan kerusakan pada komponen jembatan. Salah satunya baja prategang yang harus diinjeksi dengan adonan *grouts* untuk melindungi dari korosi. Perencanaan bangunan bawah dimungkinkan menerima beban pada kondisi jembatan yang suatu saat akan diperlebar.

- Estetika

Nilai estetika jembatan menjadi pertimbangan untuk memiliki bentuk visual yang menarik atau menjadikan ciri khas daerah lokasi jembatan tersebut.

### 2.4.3 Penentuan Bentang, Lebar Jembatan, dan Tinggi Jembatan

Berdasarkan kriteria perencanaan dan pembebanan jembatan tahun 2018, dalam menentukan bentang jembatan terdapat 2 metode antara lain :

a. Sungai yang merupakan limpasan banjir

Aliran sungai berpotensi membawa hanyutan-hanyutan dari suatu kawasan.

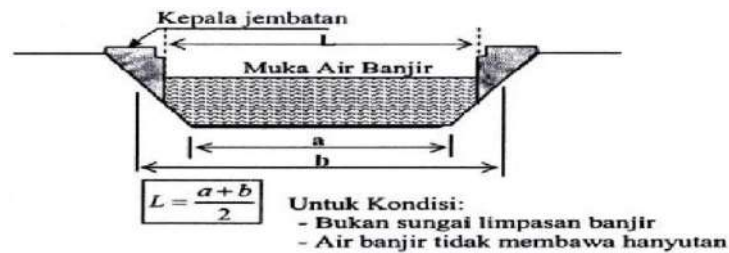


**Gambar 2. 1** Bentang Jembatan Untuk Bukan Sungai Limpasan

*Sumber : Kriteria Perencanaan dan Pembebanan Jembatan, 2018*

b. Sungai yang tidak termasuk limpasan banjir

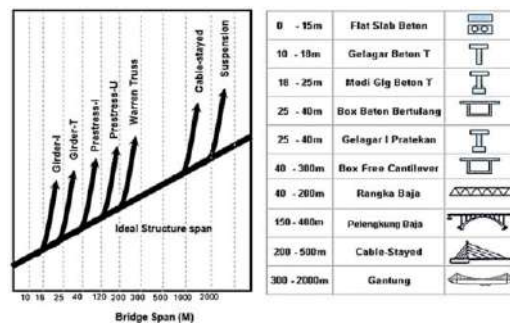
Aliran sungai tidak membawa hanyutan besar dan hanya sebagai aliran sungai biasa.



**Gambar 2. 2** Bentang Jembatan Untuk Sungai Limpasan

*Sumber : Kriteria Perencanaan dan Pembebanan Jembatan, 2018*

Keterangan :     L = bentang jembatan  
                          a = lebar dasar sungai  
                          b = lebar permukaan air banjir



**Gambar 2. 3** Pedoman Umum Bentang Ekonomis

*Sumber : Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, 2021*

Dalam perihal menentukan lebar sebuah jembatan maka dapat mengacu pada klasifikasi kelas jalan yang ada. Pengklasifikasian kelas jalan dapat ditentukan dari beberapa parameter, seperti fungsi jalan, muatan sumbu terberat (ton), dan kecepatan rencana.

Menurut RSNI No. 14 Tahun 2004 tentang Geometri Jalan Perkotaan, terdapat 3 kelas jalan yaitu :

1. Jalan Arteri yaitu jalan yang mengakomodir mobilitas angkutan utama yang bericirikan perjalanan dengan jarak jauh, kecepatan rata-rata yang tinggi, dan jumlah jalan masuk yang dibatasi secara efisien.

2. Jalan Kolektor yaitu jalan yang mengakomodir mobilitas angkutan pengumpulan/pembagian yang bercirikan perjalanan dengan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk yang dibatasi.
3. Jalan Lokal yaitu jalan yang mengakomodir mobilitas angkutan setempat yang bercirikan perjalanan dengan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk yang tidak dibatasi.

Berikut merupakan pengklasifikasian jalan arteri, kolektor, dan lokal sesuai kelasnya masing-masing berdasarkan muatan sumbu terberat (ton) dan dimensi kendaraan maksimum yang dapat melintas di atasnya seperti tabel berikut ini :

**Tabel 2. 1** Klasifikasi Jalan Secara Umum Menurut Kelas, Fungsi, Dimensi Kendaraan Maksimum, dan Muatan Sumbu Terberat (MST)

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum		Muatan Sumbu Terberat (ton)
		Panjang (m)	Lebar (m)	
I	Arteri	18	2,5	>10
II		18	2,5	10
III A		18	2,5	8
III A	Kolektor	18	2,5	8
III B		12	2,5	8
III C	Lokal	9	2,1	8

Sumber : RSNI No. 14 Tahun 2004

Tidak berhenti sampai disitu, jalan arteri, kolektor, dan lokal dibagi kembali menjadi arteri primer, arteri sekunder, kolektor primer, kolektor sekunder, dan lokal sekunder. Berikut merupakan pengertiannya beserta kecepatan rencananya masing-masing :

1. Jalan Arteri Primer yaitu jalan yang menghubungkan antar pusat kegiatan nasional secara efisien atau menghubungkan antar pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Kelas jalan arteri primer memiliki kecepatan rata-rata 50 – 100 km/jam.

2. Jalan Arteri Sekunder yaitu jalan yang menghubungkan daerah primer dengan daerah sekunder kesatu atau menghubungkan daerah sekunder kesatu dengan daerah sekunder kesatu atau menghubungkan daerah sekunder kesatu dengan daerah sekunder kedua. Kecepatan rencana jalan arteri sekunder yaitu 50 – 80 km/jam.
3. Jalan Kolektor Primer yaitu jalan yang menghubungkan antar pusat kegiatan wilayah secara efisien atau menghubungkan antar pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal. Kecepatan rencana jalan kolektor primer yaitu 40 – 80 km/jam.
4. Jalan Kolektor Sekunder yaitu jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga. Kecepatan rencana jalan kolektor sekunder yaitu 30 – 50 km/jam.
5. Jalan Lokal Sekunder yaitu jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, kawasan sekunder ketiga dan seterusnya dengan perumahan. Kelas jalan lokal sekunder memiliki kecepatan rata-rata yaitu 30 – 50 km/jam.

Jarak bebas vertikal atau *freeboard* diatur dalam pedoman persyaratan umum perencanaan jembatan tahun 2015 yaitu jarak minimal 1 m antara titik terendah struktur atas jembatan dengan tinggi muka air banjir. Hal tersebut dapat berubah sesuai kondisi di lapangan dan lalu-lintas sungai di bawah jembatan dengan persetujuan instansi yang berwenang.

## **2.4.4 Perencanaan Struktur Jembatan**

### **2.4.4.1 Nilai Kekuatan Struktur**

Struktur bangunan dikatakan dapat memenuhi syarat/kriteria perencanaan apabila struktur bangunan tersebut mampu menahan semua beban yang terjadi selama umur rencana. Adapun syarat kekuatan struktur sebagai berikut :



$P_R$	$\geq$	$P_U$
$M_R$	$\geq$	$M_U$
$V_R$	$\geq$	$V_U$
$T_R$	$\geq$	$T_U$

Keterangan :

- P = Gaya aksial  
M = Momen lentur  
V = Gaya geser  
T = Momen torsi  
R = Kuat rencana  
U = Kuat perlu

- Kuat Nominal (N)

Merupakan kekuatan teoritis maksimum dari suatu struktur atau elemen struktur.

- Kuat rencana (R)

Merupakan komponen struktur yang berhubungan dengan perilaku lentur, geser, torsi, dan aksial. Besarnya kuat rencana yaitu faktor reduksi kekuatan yang lebih kecil dari 1 dikalikan dengan kuat nominal.

$$R = \phi N$$

Keterangan :

- R = Kuat rencana  
 $\phi$  = Faktor reduksi  
N = Kuat nominal

- Kuat Perlu (U)

Merupakan kekuatan suatu struktur dan/atau elemen struktur yang dibutuhkan untuk menahan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi efek beban. Pemberian faktor beban dilakukan supaya keamanan setiap struktur tetap terjaga meskipun terjadi perubahan beban dan struktur di lapangan.

$$U = \gamma_i Q_i$$

Keterangan :

U	=	Kuat perlu
$\gamma_i$	=	Faktor beban i
Q <sub>i</sub>	=	Beban jenis i

#### 2.4.4.2 Kombinasi Pembebanan (Keadaan Batas)

Keadaan batas merupakan kondisi rencana yang terjadi pada struktur jembatan selama umur rencana. Pemilihan kondisi disesuaikan berdasarkan hasil investigasi lapangan.

- Keadaan Batas Layan

Batas layan dilakukan dengan melakukan pembatasan pada tegangan, deformasi, dan lebar retak pada kondisi pembebanan layan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik.

- Keadaan Batas Fatik

Batas fatik diterapkan supaya jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana. Hal ini dilakukan dengan membatasi rentang tegangan akibat satu beban truk rencana pada jumlah siklus pembebanan yang dianggap dapat terjadi selama umur rencana jembatan.

- Keadaan Batas Kekuatan

Batas kekuatan diterapkan untuk memastikan adanya kekuatan dan kestabilan jembatan yang memadai baik yang sifatnya lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statis kemungkinan cukup besar terjadi selama masa layan jembatan.

- Keadaan Batas Ekstrem

Keadaan batas ekstrem perlu dihitung guna memastikan struktur jembatan dapat menahan gaya akibat gempa besar.

Tabel 2. 2 Kombinasi Pembebanan

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	BF	EU <sub>n</sub>	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\gamma_P$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_P$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_P$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_P$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_P$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_P$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	$\gamma_P$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Catatan	:		$\gamma_P$ dapat berupa $\gamma_{MS}$ , $\gamma_{MA}$ , $\gamma_{TA}$ , $\gamma_{PR}$ , $\gamma_{PL}$ , $\gamma_{SH}$ tergantung beban yang ditinjau $\gamma_{EQ}$ adalah faktor beban hidup kondisi gempa									

Sumber : SNI 1725 : 2016

#### 2.4.4.3 Pembebanan Jembatan

Berdasarkan SNI 1725 : 2016 tentang pembebanan jembatan, pembebanan jembatan terdiri atas beberapa jenis beban. Adapun jenis-jenis beban tersebut adalah sebagai berikut :

##### a) Beban Tetap

Beban tetap terdiri atas :

- Beban Sendiri (MS)

Menurut SNI 1725 : 2016 beban sendiri merupakan beban bagian jembatan serta elemen struktur dan non struktur yang tetap dipikul oleh jembatan, termasuk seperti berat bahan komponen jembatan itu sendiri.

Berat tiap bagian bangunan dapat dihitung dengan massa dikalikan percepatan gravitasi ( $g$ ) dengan nilai ( $g$ ) adalah  $9,81 \text{ m/detik}^2$ . Nilai kerapatan massa dan berat isi masing-masing bahan dapat mengacu pada tabel berikut :

**Tabel 2. 3** Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi ( $\text{kN/m}^3$ )	Kerapatan Massa ( $\text{kg/m}^3$ )
1.	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2.	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3.	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4.	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5.	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6.	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7.	Beton $f'c < 35 \text{ Mpa}$	22,0 – 25,0	2320
	Beton $35 < f'c < 105 \text{ Mpa}$	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8.	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850
9.	Kayu (ringan)	7,8	800
10.	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11,0	1125

Sumber : SNI 1725 : 2016

**Tabel 2. 4** Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )	
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )	Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )

	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,30	0,70

Sumber : SNI 1725 : 2016

- **Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)**

Menurut SNI 1725 : 2016 beban mati tambahan/utilitas merupakan berat beban suatu jembatan yang bersifat non-struktur namun nilai besarnya dapat mengalami perubahan selama umur jembatan, seperti aspal dan beban air hujan.

**Tabel 2. 5** Faktor Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan<sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Sumber : SNI 1725 : 2016

- **Beban Akibat Tekanan Tanah (TA)**

Menurut SNI 1725 : 2016 beban akibat tekanan tanah dipengaruhi oleh koefisien tanah nomil yang harus dihitung berdasarkan sifat suatu tanah. Tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan nilai nominal berat jenis, kohesi, dan sudut geser. Perhitungan dilakukan dengan cara mengalikan faktor beban pada kondisi layan dan ultimit dengan nilai tekanan tanah.

**Tabel 2. 6** Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe Beban	Faktor beban ( $\gamma_{TA}$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	(1)	

Catatan <sup>(1)</sup> : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.

Sumber : SNI 1725 : 2016

- Beban Akibat Pelaksanaan

Menurut SNI 1725 : 2016 beban akibat pelaksanaan disebabkan oleh urutan pelaksanaan dan metode kerja. Beban-beban ini biasanya dipengaruhi oleh penggunaan alat berat, proses pelaksanaan yang segmental, dan berat sendiri.

**Tabel 2. 7** Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

Tipe Beban	Faktor beban ( $\gamma_{PL}$ )		
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{PL}^S$ )	Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{PL}^U$ )	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

Sumber : SNI 1725 : 2016

b) Beban Lalu Lintas

- Beban Lajur “D”

Menurut SNI 1725 : 2016, beban lajur “D” bekerja ke seluruh lebar suatu jalur yang menimbulkan pengaruh ekuivalen dengan iringan kendaraan

yang sebenarnya. Beban "D" akan berpengaruh menjadi penentu jika jembatan tergolong jenis jembatan bentang sedang sampai panjang. Beban lajur D terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT).

- Beban Terbagi Merata (BTR) ditentukan oleh bentang jembatan ( $L$ ). bersarkan SNI 1725 : 2016 besarnya nilai BTR diatur sebagai berikut :

$$L \leq 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \text{ kPa}$$

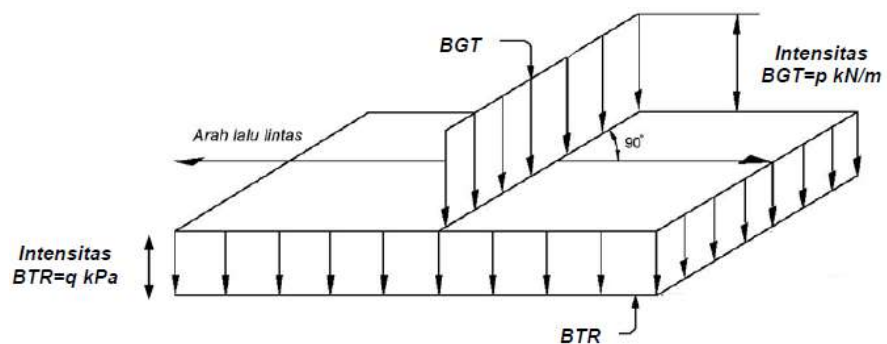
$$L > 30 \text{ m, maka } q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$$

Keterangan :

$q$  = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa).

$L$  = Panjang total jembatan yang dibebani (m).

- Beban Garis Terpusat (BGT) ditempatkan dengan posisi tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan. Berdasarkan SNI 1725 : 2016, besarnya nilai BGT dengan intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m.



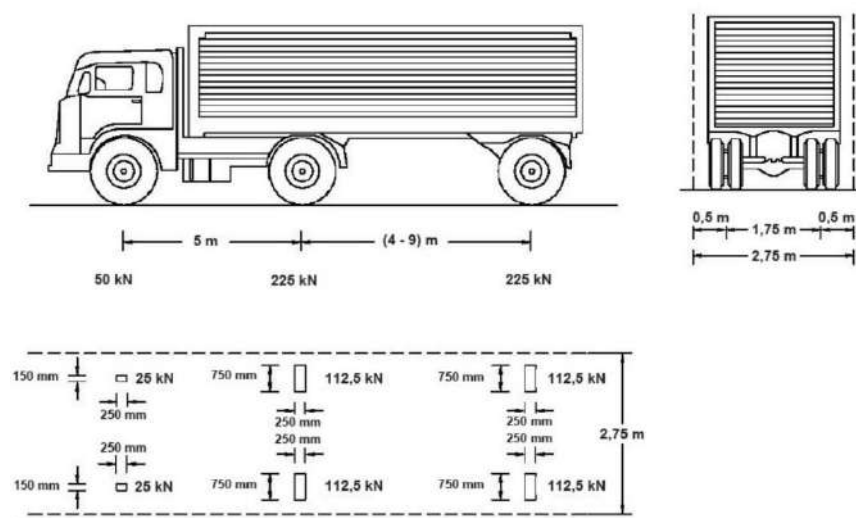
**Gambar 2. 4** Beban Lajur "D"

*Sumber : SNI 1725 : 2016*

- Beban Truk "T"

Menurut SNI 1725 : 2016 beban truk "T" merupakan beban satu kendaraan yang tergolong jenis kendaraan berat 3 gandar berada pada posisi lajur lalu lintas. Beban truk digunakan sebagai simulasi pengaruh

roda kendaraan jenis kendaraan berat pada saat mengetahui beban di pelat lantai. Setiap lajur lalu lintas di terapkan hanya 1 beban truk "T". Beban truk "T" akan menjadi beban penentu yang digunakan pada lantai kendaraan dan juga jembatan bentang pendek. Beban truk "T" yang digunakan adalah berat masing-masing as roda yang terbagi rata. Perhitungan beban beban tersebut berdasarkan faktor dinamis (FBD) yang diambil 30% dikalikan beban roda terbesar. (Direktorat Jenderal Bina Marga 2016).



**Gambar 2.5** Gambar Pembebanan Truk "T" (500 kN)

*Sumber : SNI 1725 : 2016*

- Beban Rem "TB"

Menurut SNI 1725 : 2016, beban rem "TB" diperoleh berdasarkan salah satu nilai terbesar dari :

- 25 % berat gandar truk desain (beban T)
- 5% berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem ini diposisikan pada seluruh jalur rencana dengan arah lalu lintas yang sama. Gaya tersebut diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1,8 m diatas permukaan jalan pada arah longitudinal.

- Beban Pejalan Kaki "TP"



Trotoar yang memiliki lebar lebih dari 60 cm harus diperhitungkan beban pejalan kaki dengan besaran 5 kPa dan beban tersebut bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan.

- Beban Tumbukan “TC”

Selain jembatan yang dilindungi oleh struktur pelindung jembatan, maka setiap pilar dan kepala jembatan dalam perencanaannya harus mampu memikul beban statik ekuivalen sebesar 1800 kN dalam jarak 9000 mm dari tepi jalan dan 15000 mm dari sumbu rel. Jika struktur pilar dan kepala jembatan sudah dilindungi oleh salah satu pelindung berikut ini, maka beban statik tidak perlu ditinjau lagi. Pelindung tersebut diantaranya :

- Tanggul
- Palang independen dengan tinggi 1370 mm dipasang dengan jarak 3000 mm dari bagian jembatan yang dilindungi
- Parapet setinggi 1070 mm dipasang dengan jarak 3000 mm dari bagian jembatan yang dilindungi

c) Beban Akibat Lingkungan

- Beban Angin

Beban angin diasumsikan terbagi merata pada permukaan yang terkena angin. Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin dipengaruhi oleh kecepatan angin rencana (Direktorat Jenderal Bina Marga 2016). Adapun rumusnya sebagai berikut :

$$T_{EW} = 0.0006 C_w (V_w)^2 A_b$$

Keterangan :

$V_w$  = Kecepatan angin rencana (m/s)

$C_w$  = Koefisien seret

$A_b$  = Koefisien luas bagian samping jembatan (m<sup>2</sup>)

**Tabel 2. 8** Koefisien Seret  $C_w$ 

<b>Tipe Jembatan</b>	<b><math>C_w</math></b>
Bangunan atas masif : (1), (2)	
b/d = 1.0	2.1 (3)
b/d = 2.0	1.5 (3)
b/d $\geq$ 6.0	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
Catatan (1) b = lebar keseluruhan jembatan (dihitung dari sisi luar sandaran) d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran Catatan (2) Untuk harga antara dari b / d bisa diinterpolasi linier Catatan (3) Apabila bangunan atas memiliki superelevasi, $C_w$ harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5%	

Sumber : SNI 1725 : 2016

**Tabel 2. 9** Kecepatan Angin Rencana  $V_w$ 

<b>Keadaan Batas</b>	<b>Lokasi</b>	
	<b>Sampai 5 km dari pantai</b>	<b>&gt; 5 km dari pantai</b>
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber : SNI 1725 : 2016

- **Beban Gempa**

Menurut SNI 1725 : 2016, beban gempa perlu dirancang agar memiliki tingkat kerusakan yang minim akibat gempa. Berikut ini rumus beban gempa :

$$E_q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan :

$E_q$  = Gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  = Koefisien respons elastik

$R_d$  = Faktor modifikasi respons

$W_t$  = Beban yang bekerja pada struktur (kN)

#### 2.4.4.4 Struktur Atas Jembatan

##### A. Parapet/Sandaran

Parapet merupakan semacam pembatas yang digunakan untuk pengaman pengguna jembatan khususnya pejalan kaki. Parapet dipasang pada bagian kanan dan kiri jembatan guna memperkecil resiko terjadinya kecelakaan bagi kendaraan maupun pejalan kaki (purnama, Khamim, and Subkhan 2020). Berdasarkan PPJRR, dalam perencanaan sandaran harus memperhitungkan beban sebesar 100 kg/m yang bekerja pada ketinggian 90 cm diatas lantai trotoar.

Dalam merencanakan parapet perlu dilakukan analisis beban dengan cara menghitung beban yang bekerja pada parapet tersebut. Adapun analisis pembebanan parapet sebagai berikut :

##### 1. *Preliminary Design*

- Mutu beton
- Mutu baja tulangan
- Tebal selimut beton
- Tebal efektif
- Lebar yang ditinjau

##### 2. Analisis Pembebanan

- Beban horizontal

Besarnya beban horizontal pada sandaran sebesar 100 kg/m

##### 3. Menghitung Momen Ultimit ( $M_u$ )

$$M_u = \text{Beban Ultimit} \times \text{lengan gaya}$$

##### 4. Menghitung Tulangan

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$(1) M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

- Menghitung koefisien penampang ( $R_n$ )

$$(2) R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$(3) \rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$(4) \rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$(5) \rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$(6) m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$(7) \rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$  (apabila  $\rho < \rho_{\min}$ , maka dipakai nilai  $\rho_{\min}$ )

- Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} = 0.5A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama}$$

- Menentukan dimensi tulangan arah X (tul. utama) dan Y (tul. Bagi) terhadap luas penampang nominal.

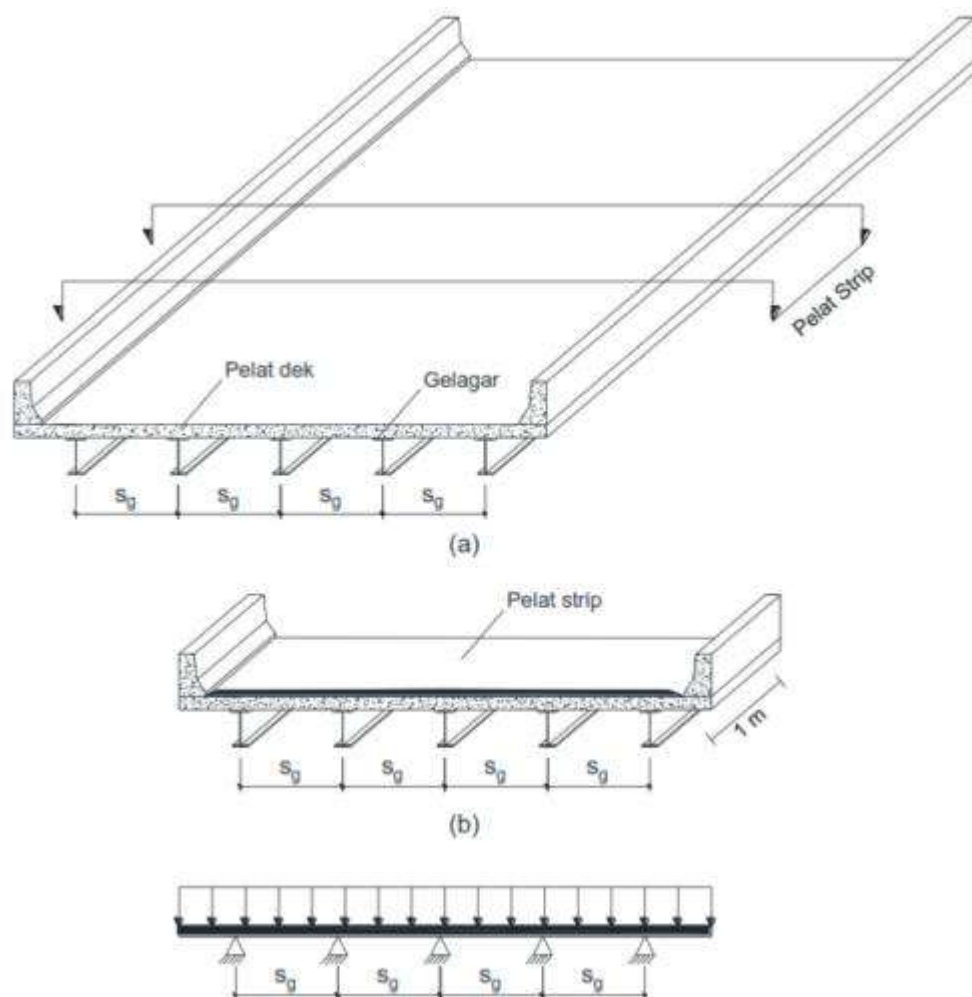
## B. Trotoar

Trotoar merupakan komponen jembatan yang menjadi akses bagi pejalan kaki. Berdasarkan SNI 1725-2016 tentang pembebanan jembatan bahwa seluruh komponen trotoar yang lebih besar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa atau 500 kg/cm<sup>2</sup> dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur. Berdasarkan PPJJR kerb atau trotoar pada tepi lantai kendaraan harus dapat menahan beban horizontal kearah melintang jembatan sebesar 500 kg/m pada puncak kerb atau pada tinggi 25 cm diatas permukaan lantai apabila tinggi kerb lebih dari 25 cm.

## C. Pelat Lantai

Pelat lantai jembatan adalah salah satu komponen jembatan yang menerima serta menahan beban kendaraan secara langsung dan didistribusikan di

sepanjang bentang jembatan. Permukaan pelat lantai diberi kemiringan 2% kearah kiri dan kanan untuk mengalirkan air hujan dengan cepat serta pelat lantai menumpu pada *girder* dan difragma (Sarah Rizki Hafizha 2021). Dalam merencanakan pelat lantai dimodelkan sebagai balok satu dimensi yang berada di atas banyak tumpuan pada arah melintang jembatan dengan posisi tumpuan berada pada as *girder*. Pengaruh beban mati struktur sendiri dan beban mati tambahan yang terdiri dari momen dan geser pada pelat dihitung berdasarkan lebar pelat tinjauan 1 m atau 1000 mm.



**Gambar 2. 6** Permodelan Struktur Pelat Lantai

*Sumber : Penulis, 2024*

Adapun analisis pembebanan pelat lantai sebagai berikut :

1. Data Rencana

- Panjang bentang Lb
- Lebar pelat lantai wr
- Tebal Pelat Lantai ts
- Jumlah *girder* ng
- Jarak antar *girder* sg
- Jumlah diafragma nd
- Jarak antar diafragma sd
- Jumlah Lajur nl

## 2. Cek Syarat Ketebalan

Syarat 1 :  $ts \geq 200 \text{ mm}$

Syarat 2 :  $ts \geq (100 + 0,04 l) \text{ mm}$

## 3. *Preliminary Design*

- Lebar efektif pelat b
- Panjang total pelat wr
- Tebal pelat ts
- Selimut beton p
- Tebal efektif pelat de
- Inersia penampang Ig
- Titik berat penampang yt
- Mutu beton  $f'c$
- Mutu tulangan fy
- Berat jenis beton  $\gamma_c$
- Berat jenis aspal  $\gamma_a$
- Berat jenis air  $\gamma_{air}$
- Tebal air hujan tah
- Tebal trotoar tt

## 4. Analisis Pembebanan

- Beban Sendiri (MS)

$$W_s = \gamma_c \times ts \times b$$

- Beban Mati Tambahan (MA)
  - Beban parapet

- Beban tiang sandar
- Beban trotoar
- Beban aspal
- Beban air hujan
- Beban Truk (TT)

Ketentuan permodelan dan perhitungan pengaruh beban truk (TT) terhadap pelat adalah sebagai berikut :

1. Beban roda terluar diposisikan sejauh 300 mm dari sisi dalam parapet.
  2. Jarak antar roda pada satu kendaraan adalah 1750 mm.
  3. Jarak antar roda pada dua kendaraan yang berdekatan minimal 1000 mm.
  4. Beban roda kendaraan ditempatkan pada pelat sehingga mengakomodir seluruh kemungkinan posisi roda yang bekerja pada pelat, nilai pengaruh dari beban kendaraan terhadap pelat ditentukan dari nilai *envelope* maksimal.
5. Menghitung Momen Ultimit ( $M_u$ )
- Dijalankan simulasi pembebanan berdasarkan beberapa kondisi sesuai dengan kriteria beban truk. Momen ultimit terbesar dari seluruh kondisi yang dipilih akan dipakai untuk melakukan perhitungan selanjutnya.
6. Menghitung Tulangan

- Menghitung luas tulangan minimum ( $A_{s \text{ req}}$ )

$$A_{s \text{ req}} = \frac{M_u}{\phi f_y \times (0,85 \times d_e)}$$

- Menghitung luas tulangan minimum ( $A_{s \text{ use}}$ )

$$A_{s \text{ use}} = \frac{b}{2} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

- Menghitung tinggi blok tekan ekuivalen (a)

$$a = \frac{A_{s \text{ use}} \times F_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

- Menghitung kuat nominal lentur ( $M_n$ )

$$M_n = A_s \times F_y \times (d_e - a/2)$$

- Menentukan kuat rencana lentur

Nilai kuat rencana ditentukan berdasarkan factor reduksi lentur yang akan digunakan. Perhitungan kuat rencana lentur dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

$$f_c' \leq 30 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \beta_1 = 0,85$$

$$f_c' > 30 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30)$$

Jarak serat tekan terluar ke sumbu netral

$$cc = \frac{a}{\beta_1}$$

Regangan baja

$$\varepsilon_s = \frac{de-c}{c} \times \varepsilon_c$$

Kuat rencana

$$M_r = 0,9 M_n \quad \rightarrow \quad \varepsilon_s \geq 0,005$$

$$M_r = \phi_f M_n \quad \rightarrow \quad \varepsilon_{cl} < \varepsilon_s < \varepsilon_{tl}$$

$$\phi_f = 0,75 + \frac{0,15 (\varepsilon_{tl} - \varepsilon_{cl})}{(\varepsilon_{tl} - \varepsilon_{cl})}$$

- Menghitung momen retak

$$M_{cr} = \gamma_3 \gamma_1 f_r \left( \frac{I_g}{y_t} \right)$$

$$f_r = 0,63 \times \sqrt{f_c'}$$

- Syarat tulangan lentur minimum

Syarat tulangan minimum ditentukan dari persamaan dibawah ini.

$$1,33 M_u \quad \dots (1)$$

$$1,2 M_{cr} \quad \dots (2)$$

Diambil hasil terkecil dari kedua persamaan tersebut dan dijadikan syarat tulangan minimum lentur.

$$M_r \geq 1,33 M_u$$

$$M_r \geq 1,2 M_{cr}$$

- Menghitung tulangan bagi

- Tulangan utama sejajar arah lalu lintas

Persentase =  $55 / \sqrt{l}$  ,  $l$  adalah jarak antar *girder* dalam meter

$$30\% \leq \text{persentase} \leq 50\%$$



- Tulangan utama tegak lurus arah lalu lintas

Persentase =  $110 / \sqrt{l}$ ,  $l$  adalah jarak antar *girder* dalam meter

$$30\% \leq \text{persentase} \leq 67\%$$

Pada penentuan jarak antar tulangan, jarak maksimal adalah 450 mm atau 1,5 dari tebal pelat.

- Menghitung kuat geser

Syarat ketahanan geser pelat lantai terhadap geser sebagai berikut :

$$V_n \leq V_{n-\text{maks}}$$

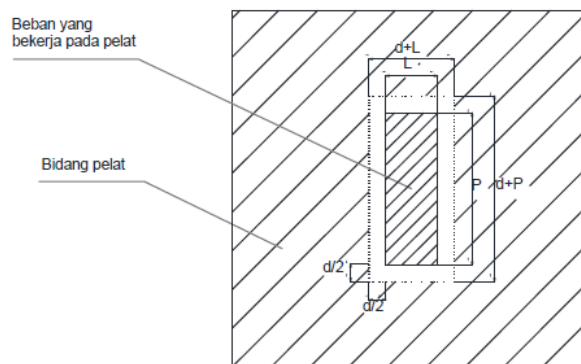
$$V_u \leq \phi_v V_n$$

Dengan rumus

$$V_n = \left(0,17 + \frac{0,33}{\beta_c}\right) \sqrt{f_c'} b_o d_v$$

$$V_{n-\text{maks}} = 0,33 \sqrt{f_c'} b_o d_v$$

Tulangan geser tidak diperhitungkan pada pelat. Kemampuan menahan geser hanya didasarkan pada kemampuan beton dibidang kritis pelat. Bidang kritis adalah area kontak roda truk seperti pada gambar dibawah.



**Gambar 2. 7** Bidang Kritis pada Pelat Lantai

Sumber : Penulis, 2024

#### D. Girder Balok Prategang (PCI-Girder)

PCI Girder atau *Pre-Stressed Concrete I Girder* merupakan girder jembatan berbentuk I yang terbuat dari material beton. Untuk meminimalisasi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban, maka dilakukan *stressing* agar girder menjadi prategang.

Menurut (Manalip dan Handono, 2018), terdapat dua metode pemberian gaya prategang yakni *pre-tension* dan *post-tension*. Metode *pre-tension* yakni pemberian gaya prategang yang dilakukan sebelum beton dicor, sedangkan metode *post-tension* yakni pemberian gaya prategang yang dilakukan setelah beton dicor. Adapun analisis pembebanan *PCI Girder* berdasarkan Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, 2021 sebagai berikut :

### 1. Data Awal Perencanaan :

#### Pelat Beton

Kuat tekan beton (umur 28 hari)	$f'_{cg}$	
Kuat tekan beton awal kondisi transfer	$f_{cig}$	$= 0.8.f'_{cg}$
Modulus elastisitas <i>girder</i> transfer	$E_{cig}$	$= 4700 \sqrt{F'Ci g}$
Modulus elastisitas <i>girder</i> umur 28 hari	$E_{cg}$	$= 4700 \sqrt{F' C g}$
Berat jenis beton	$\gamma_c$	

#### Pelat Beton

Kuat tekan beton 28 hari	$f'_{cd}$	
Kuat tekan beton saat pertama kali dibebani	$f_{cid}$	
Modulus elastisitas beton 28 hari	$E_{cd}$	
Modulus elastisitas beton saat transfer	$E_{cid}$	$= 4700 \sqrt{F' cd}$

#### Baja Prategang

Jenis <i>strand</i>	<i>Seven Wire Strand, Low Relaxation</i>
Diameter <i>strand</i>	$D_{ps}$
Luas penampang	$A_{strand}$

Tegangan putus baja	$f_{pu}$	
Tegangan leleh baja	$f_{py}$	$= 0,9 \cdot f_{pu}$
Modulus elastisitas baja	$E_{ps}$	

### **Baja Tulangan**

Tegangan leleh baja tulangan non prategang	$f_y$
Modulus elastisitas baja tulangan non prategang	$E_s$

## **2. Dimensi Awal Girder**

### **2.1 Perkiraan Tinggi Total Sistem Dek**

Bentang Jembatan	$L_b$
Tinggi minimal sistem dek	$h_d = 0.045 \cdot L_b$
<i>Girder</i> I pratekan yang digunakan	
Spasi antar <i>girder</i>	$s_g$
Tebal pelat lantai	$t_s$
Jumlah <i>girder</i>	$n_g$
Lebar jalan	$W_r$

Data-data penampang *girder* sebagai berikut:

Dimensi (panjang)	b
Dimensi (lebar)	h
Luas	A
Jarak titik berat terhadap alas	y
Statis Momen	= A.y
Inersia Momen	= A.y <sup>2</sup>
Inersia Momen	I

Dalam perhitungan  $I_o$  pada bagian persegi panjang menggunakan persamaan

$$I_o = \frac{1}{12}bh^3$$

Dalam perhitungan  $I_o$  pada bagian segitiga menggunakan persamaan

$$I_o = 2 \cdot \frac{1}{36}bh^3$$

Tipe strand

Luas penampang <i>girder</i> nonkomposit	$A_g$
Momen inersia <i>girder</i> nonkomposit terhadap serat bawah <i>girder</i>	$I_b = \Sigma A \cdot y^2 + \Sigma I_o$
Momen inersia <i>girder</i> nonkomposit terhadap sumbu netral	$I_g = I_b - A \cdot (y_b)^2$
Tinggi <i>girder</i> non komposit	$h_g$
Jarak sumbu netral ke serat terbawah <i>girder</i> nonkomposit	$y_b = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A}$
Jarak sumbu netral ke serat teratas <i>girder</i> nonkomposit	$y_t = h_g - y_b$
Modulus penampang serat bawah <i>girder</i> nonkomposit	$S_b = I_g / y_b$
Modulus penampang serat bawah <i>girder</i> nonkomposit	$S_t = I_g / y_t$

## 2.2 Data Penampang Komposit

Rasio modulus elastisitas pelat terhadap *girder* untuk menentukan lebar penampang transformasi adalah :

$$n = E_{cg} / E_{cd}$$

Lebar penampang sayap transformasi

$$b_e = s_g / n$$

Dimensi (panjang)	b
Dimensi (lebar)	h
Luas	A
Jarak titik berat terhadap alas	y
Statis Momen	= A.y
Inersia Momen	= A.y <sup>2</sup>
Inersia Momen	I

Dalam perhitungan  $I_o$  pada bagian persegi panjang menggunakan persamaan

$$I_o = \frac{1}{12} bh^3$$

Dalam perhitungan  $I_o$  pada bagian segitiga menggunakan persamaan

$$I_o = 2 \cdot \frac{1}{36} bh^3$$

Data penampang komposit *girder* :

Tinggi total sistem dek komposit	$h_{cg} = h_g + t_s$
Luas penampang komposit	$A_{cg}$
Momen inersia sistem terhadap serat bawah	$I_{bc}$
Momen inersia <i>girder</i> komposit	$I_{cg}$
Jarak sumbu netral ke serat terbawah <i>girder</i> komposit	$y_{bcg} = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A}$

Jarak sumbu netral ke serat teratas <i>girder</i> komposit	$y_{tcg} = h_g - y_{bcg}$
Jarak sumbu netral ke serat teratas pelat dek penampang komposit	$y_{tcd} = h_{cg} - y_{bcg}$
Jarak sumbu netral ke serat terbawah pelat dek penampang komposit	$y_{bcd} = h_{cg} - y_{bcg} - t_s$
Modulus penampang atas <i>girder</i> komposit	$S_{tcg} = I_{cg} / y_{tcg}$
Modulus penampang bawah <i>girder</i> komposit	$S_{bcg} = I_{cg} / y_{bcg}$
Modulus penampang atas pelat komposit	$S_{tcd} = I_{cg} / y_{tcd}$
Modulus penampang bawah pelat komposit	$S_{bcd} = I_{cg} / y_{bcd}$

### 3. Pembebanan

#### a. Perhitungan Beban Akibat Beban Mati

Lebar pelat <i>tinjauan</i>	$w_s = S_g$
Berat pelat	$W_s = w_s \cdot t_s \cdot \gamma_c$
Lebar <i>Pelat Deck</i>	$w_{rep}$
Tebal <i>Pelat Deck</i>	$t_{rep}$
<b>Berat <i>Pelat Deck</i></b>	$W_{rep} = w_{rep} \cdot t_{rep} \cdot \gamma_c$
<b>Berat <i>Girder</i></b>	$W_g = A_g \cdot \gamma_c$
Luas penampang diafragma mid.	$A_{dp}$
Tebal diafragma mid.	$t_{dp}$
Jumlah diafragma mid.	$n_{dp}$
<b>Berat Diafragma</b>	$W_{dp} = A_{dp} \cdot t_{dp} \cdot \left(\frac{n_{dp}}{L_b}\right) \gamma_c$

(berat diafragma diasumsikan terbagi  
merata diatas *girder*)

### **Beban Mati Struktur**

#### **Beban Mati Non-struktur (MA)**

Berat volume aspal	$\gamma_a$	
Tebal aspal	$t_a$	
Berat aspal	$W_a$	$= W_s \cdot t_a \cdot \gamma_a$
Beban parapet	$W_b$	
Jumlah parapet	$n_b$	
Berat parapet	$W_{br}$	$= W_b \cdot (n_b / n_g)$

#### **Momen Maks. Beban Mati Sendiri dan Mati Tambahan :**

Momen pelat lantai	$M_{MS\_S}$	$= \frac{1}{8} \cdot W_s \cdot L_b^2$
Momen <i>girder</i>	$M_{MS\_G}$	$= \frac{1}{8} \cdot W_g \cdot L_b^2$
Momen <i>Pelat deck</i>	$M_{MS\_RCP}$	$= \frac{1}{8} \cdot W_{rcp} \cdot L_b^2$
Momen diafragma	$M_{MS\_D}$	$= \frac{1}{8} \cdot W_{dp} \cdot L_b^2$
Momen barrier	$M_{MA\_B}$	$= \frac{1}{8} \cdot W_{br} \cdot L_b^2$
Momen aspal	$M_{MA\_A}$	$= \frac{1}{8} \cdot W_a \cdot L_b^2$

#### **Gaya Geser Akibat Beban Mati Sendiri dan Mati Tambahan:**

Geser pelat lantai	$V_{MS\_S}$	$= \frac{1}{2} \cdot W_s \cdot L_b$
Geser <i>girder</i>	$V_{MS\_G}$	$= \frac{1}{2} \cdot W_g \cdot L_b$

$$\begin{aligned}
 \text{Geser pelat deck} & V_{MS\_RCP} = \frac{1}{2} \cdot W_{rcp} \cdot L_b \\
 \text{Geser diafragma} & V_{MS\_D} = \frac{1}{2} \cdot W_{dp} \cdot L_b \\
 \text{Geser parapet} & V_{MA\_B} = \frac{1}{2} \cdot W_{br} \cdot L_b \\
 \text{Geser aspal} & V_{MA\_B} = \frac{1}{2} \cdot W_a \cdot L_b
 \end{aligned}$$

## b. Pembebanan Akibat Beban Hidup

### Beban BTR

$$L_b > 30 \text{ m}$$

$$q_{BTR} = 9 \times (0,5 / L_b)$$

maka beban merata per meter BTR :

$$WB = q_{BTR} \cdot w_s$$

### Beban BGT

Berdasarkan SNI Pembebanan Jembatan 2016, besarnya beban BGT sebesar 49 kN/m.

$$P_{BGT} = 49 \cdot w_s$$

Beban BGT perlu diperhitungkan pengaruh beban dinamis kendaraan serta perlu diperbesar dengan factor beban dinamis (FBD) sebesar 40 % sehingga :

$$FBD = 40 \%$$

$$M_{BTR} = 1/8 \cdot W_{BTR} \cdot L_b^2$$

$$M_{BGT} = 1/4 P_{BGT} \cdot L_b \cdot (1+FBD)$$

$$M_{LL} = M_{BTR} + M_{BGT}$$

Gaya geser tak terfaktor akibat beban D :

$$V_{BTR} = (W_{BTR} \cdot L_b) / 2$$

$$V_{BGT} = (P_{BGT} \cdot (1+fbd)) / 2$$

$$V_{LL} = V_{BTR} + V_{BGT}$$

## 4. Penentuan Jumlah Tendon



### a. Perkiraan Gaya Prategang

Dalam menentukan banyaknya strand didasarkan pada tegangan tarik pada serat bawah *girder* akibat pembebanan layan III, dengan besar tegangan tarik sisi bawah sebagai berikut :

$$f_{bserv} = \frac{(M_{MS\_G} + M_{MS\_S} + M_{MS\_D} + M_{MS\_RCP}) \cdot y_b}{I_g} + \frac{(M_{MA\_B} + M_{MA\_A} + 0,8 \cdot M_{LL}) \cdot y_{bcg}}{I_{cg}}$$

Batasan tegangan ditentukan sebagai berikut :

Tegangan izin kondisi beban servis  $f_{tallowservis} = 0,5 \cdot \sqrt{f_{cg}}$

Besar tegangan pratekan  $f_{pb} = f_{bserv} - f_{tallowservis}$

Lokasi pusat gaya prategang diasumsikan sekitar 5-15% dari tinggi *girder* yang diukur dari sisi bawah *girder*, sehingga dipilih 10 %.

Jarak penampang prategang ke sisi terbawah *girder*  $y_{bs} = 0,1 \cdot h_g$

Sehingga eksentrisitas pada tengah bentang  $e_c = y_b - y_{bs}$

Tegangan pada dasar *girder* akibat gaya prategang efektif ( $p_e$ ) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$f_{pb} = (p_e/A) + (p_e \cdot e_c/S_b)$$

Gaya prategangn efektif  $p_e = f_{pb} \cdot A_g \cdot S_b / (S_b + (e_c \cdot A_g))$

Gaya prategang akhir tiap *strand*  $p_{e\_strand} = A_{strand} \cdot f_{pb} \cdot (1 - losses)$

Nilai kehilangan gaya prategang pada masing-masing kondisi tergolong kecil, namun apabila digabungkan menjadi jumlah yang cukup berpengaruh pada gaya *jacking* sekitar 15 - 25% (Desain Struktur beton Prategang and Burns 1994). Kehilangan prategang berdasarkan Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan 2021 diasumsikan 22% serta tegangan prategang awal sebesar  $0,75f_{pu}$ . Besarnya prategang efektif yaitu 53%.

Kehilangan gaya prategang dalam satuan persen,  $losses = 22 \%$

$$\text{Gaya prategang akhir per strand} \quad p_{e\_strand} = A_{strand} \cdot f_{pbt} \cdot (1 - losses)$$

$$\text{Jumlah } strand\_req \quad n_{strand\_req} = p_e / p_{e\_strand}$$

$$\text{Jumlah } strand \text{ yang digunakan} \quad n_{strand}$$

Pada perhitungan awal, besarnya  $f_{pi}$  yang digunakan yaitu  $f_{pi} = f_{pbt}$ , ketika jumlah strand diketahui, gunakan nilai  $f_{pi}$  sebenarnya untuk menghitung perhitungan selanjutnya.

Jumlah *strand* akhir lebih banyak dari estimasi karena pada saat di sambungan *girder* tidak diperbolehkan terjadinya tegangan tarik.

$$\text{Luas baja prategang yang digunakan} \quad A_{ps} = n_{strand} \cdot A_{strand} = 6218,73 \text{ mm}^2$$

## 4.2 Posisi Tendon

### 4.2.1 Posisi Tendon Tengah Bentang

$$\text{Jarak pusat tendon 1 ke serat terbawah} \quad c_1$$

*girder* tengah bentang

$$\text{Jarak pusat tendon 2 ke serat terbawah} \quad c_2$$

*girder* tengah bentang

$$\text{Jarak pusat tendon 3 ke serat terbawah} \quad c_3$$

*girder* tengah bentang

$$\text{Jarak pusat tendon 4 ke serat terbawah} \quad c_4$$

*girder* tengah bentang

$$\text{Eksentrisitas tengah tendon 1 di tengah} \quad e_{c1} = y_b - c_1$$

bentang

$$\text{Eksentrisitas tengah tendon 2 di tengah} \quad e_{c2} = y_b - c_2$$

bentang

$$\text{Eksentrisitas tengah tendon 3 di tengah} \quad e_{c3} = y_b - c_3$$

bentang

Eksentrisitas tengah tendon 4 di tengah bentang  $e_{c4} = y_b - c_4$

Luas tendon 1  $A_{ps1} = 6 \cdot A_{strand}$

Luas tendon 2  $A_{ps2} = 19 \cdot A_{strand}$

Luas tendon 3  $A_{ps3} = 19 \cdot A_{strand}$

Luas tendon 4  $A_{ps4} = 19 \cdot A_{strand}$

Luas total tendon :

$$A_{ps\text{tot}} = A_{ps1} + A_{ps2} + A_{ps3} + A_{ps4}$$

Eksentrisitas rata-rata tendon di tengah bentang ( $e_{mid}$ )

$$e_{mid} = \frac{A_{ps1} \times e_{c1} + A_{ps2} \times e_{c2} + A_{ps3} \times e_{c3} + A_{ps4} \times e_{c4}}{A_{ps\text{tot}}}$$

Jarak pusat penampang rata-rata tendon ke sisi paling bawah girder di tengah bentang ( $y_{mid}$ )

$$y_{mid} = \frac{A_{ps1} \times c_1 + A_{ps2} \times c_2 + A_{ps3} \times c_3 + A_{ps4} \times c_4}{A_{ps\text{tot}}}$$

#### 4.2.2 Posisi Tendon Tumpuan

Jarak pusat tendon ke serat terbawah girder

Tendon 1  $c_{e1}$

Tendon 2  $c_{e2}$

Tendon 3  $c_{e3}$

Tendon 4  $c_{e4}$

Eksentrisitas tengah tendon

Tendon 1  $e_{pe1} = y_b - c_{e1}$

Tendon 2  $e_{pe2} = y_b - c_{e2}$

Tendon 3  $e_{pe3} = y_b - c_{e3}$

$$\text{Tendon 4} \qquad e_{pe4} = y_b - c_{e4}$$

Jarak vertikal pusat penampang tendon 1 di tumpuan ke pusat penampang tendon yang sama di tengah bentang *girder*

$$\text{Tendon 1} \qquad e_{p1} = c_{e1} - c_1$$

$$\text{Tendon 2} \qquad e_{p2} = c_{e2} - c_2$$

$$\text{Tendon 3} \qquad e_{p3} = c_{e3} - c_3$$

$$\text{Tendon 4} \qquad e_{p4} = c_{e4} - c_4$$

Eksentrisitas rata-rata tendon di tumpuan ( $e_{end}$ )

$$e_{end} = \frac{A_{ps1} \times e_{pc1} + A_{ps2} \times e_{pc2} + A_{ps3} \times e_{pc3} + A_{ps4} \times e_{pc4}}{A_{ps\text{tot}}}$$

Tanda (-) atau minus pada eksentrisitas tendon rata-rata di area tumpuan menunjukkan eksentrisitas tendon berada pada atas titik berat penampang di tumpuan.

Jarak pusat rata-rata tendon ke sisi terbawah *girder* di tumpuan ( $y_{mid}$ )

$$y_{end} = \frac{A_{ps1} \times c_{e1} + A_{ps2} \times c_{e2} + A_{ps3} \times c_{e3} + A_{ps4} \times c_{e4}}{A_{ps\text{tot}}}$$

#### 4.2.1 Koordinat Tendon

Koordinat tendon pada tiap jarak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$y_i = c_{en} - \frac{4 \cdot (c_{en} - c_n) \cdot x_i (L_b - x_i)}{(L_b)^2}$$

Keterangan :

$c_{en}$  = Jarak pusat penampang tendon n ke serat terbawah *girder* di tumpuan

$c_n$  = Jarak pusat penampang tendon n ke serat terbawah *girder* di tengah bentang

Eksentrisitas tengah n di jarak  $X_i$

$$e_{cpn} = y_b - y_i$$

### 4.3 Perhitungan Kehilangan Prategang

#### A. Perhitungan Penampang Transformasi

Karakteristik *girder* dihitung dengan konsep penampang transformasi sebagai berikut :

- **Data *Girder* Saat Transfer**

Rasio modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton *girder* kondisi transfer

$$n_i = \frac{E_{ps}}{E_{cig}}$$

Luas penampang tendon transformasi kondisi transfer

$$A_{psi} = (n_i - 1) \times A_{ps \text{ tot}}$$

Jarak pusat penampang rata-rata tendon ke sisi terbawah *girder* di tengah bentang

$$y_{mid}$$

Penampang	Luas, $A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$y_i$ (mm)	$A_i y_i$ (mm <sup>3</sup> )	$Y_{cg}$ (mm)	$A(y_i - y_{cg})^2$	$I_o$
<i>Girder</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Strands</i>	x	x	x	x	x	x
<b>Total</b>	x		x		x	

Catatan :

Strand ditransformasi menggunakan  $(n_i - 1)$

tinggi *girder* ( $h_g$ )

$$n_i = \frac{E_{ps}}{E_{cig}}$$

$$S_{bti} = \frac{I_{ti}}{y_{bti}}$$

$$S_{tti} = \frac{I_{ti}}{y_{tti}}$$

$$e_{ti} = y_{cg} - y_{mid}$$



Luas penampang <i>girder</i> nonkomposit kondisi transfer	$A_{gti}$
Jarak sumbu netral ke serat terbawah <i>girder</i> nonkomposit	$y_{bti}$
Jarak sumbu netral ke serat teratas <i>girder</i> nonkomposit	$y_{tti}$
Momen inersia penampang <i>girder</i> kondisi transfer	$I_{ti}$
Eksentrisitas tendon rata-rata pada penampang <i>girder</i> nonkomposit di tengah bentang kondisi transfer	$e_{ti}$

- **Data girder saat final**

Rasio modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton  $n_f = \frac{E_{ps}}{E_{cg}}$   
*girder* kondisi akhir

Luas penampang baja prategang (tendon) transformasi saat final  $A_{pstf} = (n_f - 1) \times A_{ps\ tot}$

Penampang	Luas, $A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$y_i$ (mm)	$A_i y_i$ (mm <sup>3</sup> )	$Y_{cg}$ (mm)	$A(y_i - y_{cg})^2$	$I_o$
<i>Girder</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Strands</i>	x	x	x	x	x	x
Total	x	x	x	x	x	x

Catatan :

Strand ditransformasi menggunakan  $(n_i - 1)$   
tinggi *girder* ( $h_g$ )

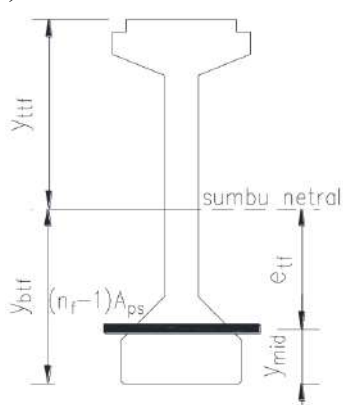
$$n_f = \frac{E_{ps}}{E_{cg}}$$

$$y_{ttf} = h_g - y_{btf}$$

$$I_{tf} = \sum I_o + \sum A(y_i - y_{cg})^2$$

$$S_{btf} = \frac{I_{tf}}{y_{btf}}$$

$$S_{ttf} = \frac{I_{tf}}{y_{ttf}}$$

$$e_{tf} = y_{cg} - y_{mid}$$


Luas penampang <i>girder</i> non-komposit saat akhir	$A_{gtf}$
Jarak sumbu netral ke serat terbawah penampang <i>girder</i> non-komposit akhir	$y_{btf}$
Jarak sumbu netral ke serat teratas penampang <i>girder</i> non-komposit akhir	$y_{ttf}$
Momen inersia penampang <i>girder</i> transformasi saat akhir	$I_{ti}$
Eksentrisitas tendon rata-rata pada penampang <i>girder</i> non-komposit transformasi di tengah bentang saat akhir	$e_{tf}$

- **Data Girder Komposit Transformasi**

Rasio modulus elastisitas *girder* terhadap modulus elastisitas pelat saat kondisi akhir  $n_c = \frac{E_{cg}}{E_{cd}}$

Luas penampang sayap efektif penampang komposit saat kondisi akhir  $b_{ec} = \frac{S_g}{n_c}$

Penampang	Luas, $A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$y_i$ (mm)	$A_i y_i$ (mm <sup>3</sup> )	$Y_{cg}$ (mm)	$A(y_i - y_{cg})^2$	$I_o$
<i>Girder</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Strands</i>	x	x	x	x	x	x
Pelat	x	x	x	x	x	x
<b>Total</b>	x	x	x	x	x	x

Catatan :

Strand ditransformasi dengan rumus  $(n_i - 1)$

Pelat ditransformasi dengan  $n_c = 1,2$

tinggi *girder* ( $h_g$ )

tinggi *girder* komposit ( $h_g$ )

$$n_t = \frac{E_{ps}}{E_c}$$

$$y_{bct} = y_{cg}$$

$$y_{tct} = h_{cg} - y_{bct}$$

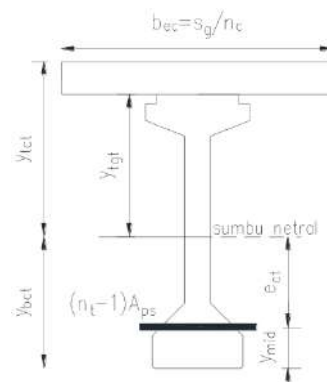
$$y_{tgt} = h_g - y_{bct}$$

$$I_{ct} = \sum I_o + \sum A(y_i - y_{cg})^2$$

$$S_{bct} = \frac{I_{ct}}{y_{bct}}$$

$$S_{tgt} = \frac{I_{ct}}{y_{tgt}}$$

$$e_{ct} = y_{bct} - y_{mid}$$





Luas penampang <i>girder</i> komposit saat akhir	$A_{cgtf}$
Jarak sumbu netral ke serat teratas <i>girder</i> komposit akhir	$y_{tct}$
Momen inersia <i>girder</i> komposit transformasi saat akhir	$I_{ct}$
Eksentrisitas tendon rata-rata pada <i>girder</i> komposit di tengah bentang saat akhir	$e_{ct}$

## B. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

### 1. Kehilangan Akibat Gesekan

$$\Delta f_{pG} = f_{pi} \times 1 - e^{-(Kx + \mu a)}$$

$$a = \frac{2e_p}{L_p}$$

Keterangan :

$f_{pi}$  = prategang kondisi *jacking*

$K$  = koef gesek *wobblw*

$\mu$  = koef gesek kelengkungan

$x$  = panjang tendon (dari ujung *jacking* ke titik tinjau)

$\alpha$  = Jumlah dari nilai absolut perubahan sudut pada jalur baja dari *jacking* hingga ujung *jacking*

Jarak vertikal pusat penampang tendon rata-rata di tumpuan dengan pusat penampang tendon rata-rata di tengah bentang  $e_p = y_{end} - y_{mid}$

Segmen	$e_p$ (mm)	$L_p$ (mm)	$\alpha$ (rad)	$\sum \alpha$ (rad)	$\sum L_p$ (rad)	titik	$\Delta f_{pF}$ (MPa)	$f_{pi} - \Delta f_{pF}$ (MPa)
A	x	x	x	x	x	x	x	x
AB	x	x	x	x	x	x	x	x
BC	x	x	x	x	x	x	x	x

Dengan demikian akan didapat kehilangan prategang di tengah bentang  $\Delta f_{pF}$ .

## 2. Kehilangan Akibat *Anchorage Set*

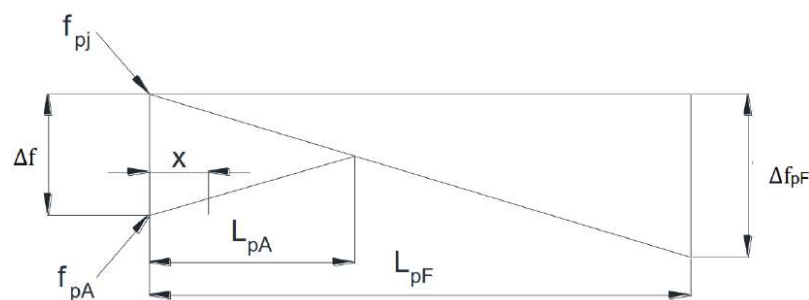
Kehilangan prategang ini didapat dengan rumus berikut:

$$\Delta f_{pA} = \Delta f \times \left(1 - \frac{x}{L_{pA}}\right)$$

$$L_{pA} = \sqrt{\frac{E (\Delta L) L_{pF}}{\Delta L_{pF}}}$$

$$\Delta f = \frac{2\Delta f_{pF} \times L_{pF}}{L_{pF}}$$

Jika diubah dalam grafik, maka permodelan kehilangan prategang akibat *anchorage set* dan friksi seperti gambar dibawah :



**Gambar 4. 1** Gambar Kehilangan Prategang Akibat *Anchored Set* dan Friksi

Sumber : *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan, 2015*

Nilai kehilangan prategang :



### 3. Kehilangan akibat perpendekan elastisitas

n tendon	$N_{ps}$
Momen berat sendiri <i>girder</i>	$M_{MS-G}$
Tegangan pada tendon saat transfer	$f_{pi1} = f_{pbt} - (\Delta f_{pf} + \Delta f_{pA})$
Gaya prategang awal	$P_i = f_{pi1} \times (A_{ps\ tot})$
Tegangan di beton pada level baja	$f_{cgp} = \frac{P_i}{A_g} + \frac{P_i \times e_{mid}^2}{i_g} - \frac{M_{MS-G} \times e_{mid}}{i_g}$
Kehilangan prategang	$\Delta f_{pES} = \frac{N_{ps} - 1}{2 \times N_{ps}} \times \frac{E_{ps}}{E_{cig}} \times f_{cgp}$

### C. Kehilangan kondisi transfer hingga pengecoran pelat

#### 1. Kehilangan prategang akibat susut pada *girder*

Keliling penampang *girder* mid. ( $K_{IIg}$ )

$$\text{Luas permukaan total } \textit{girder} (A_{surfg}) = K_{IIg} \times L_b + 2A_g$$

$$\text{Volume } \textit{girder} (V_g) = A_g \times L_b$$

$$\text{Rasio volume terhadap luas permukaan } (r_{VS}) = \frac{V_g}{A_{surfg}}$$

Faktor pengaruh rasio volume terhadap luas permukaan yang ditinjau.

$$(k_s \geq 1)$$

$$k_s = 1,45 - 0,0051 \times \left( \frac{V_g}{A_{surfg}} \right)$$

$$\text{Kelembapan relatif } H_r = 85 \%$$

$$\text{Umur } \textit{girder} \text{ saat transfer } t_i$$

$$\text{Umur } \textit{girder} \text{ saat pengecoran pelat } t_d$$

$$\text{Umur } \textit{girder} \text{ saat final } t_f$$

$$\text{Faktor kelembapan untuk susut } k_{hs} = 2 - 0,014H_r$$

$$\text{Faktor pengaruh kuat tekan beton } k_f = \frac{35 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa} + f'_{cig}}$$

$$\text{Perpanjangan waktu antara transfer dan pengecoran pelat } t_{di} = t_d - t_i$$

Sehingga faktor perpanjangan waktu antara pengecoran pelat dan transfer adalah:

$$k_{tddi} = \left[ \frac{t_{di}}{61 - 0,58 \left( \frac{f'_{cig}}{\text{MPa}} \right) + t_{di}} \right]$$

Regangan susut *girder* antara saat transfer dan pengecoran pelat  $\varepsilon_{bid} = k_s \times k_{hs} \times k_f \times k_{tddi} \times 0,48 \times 10^{-3}$

Faktor kelembapan untuk rangkai  $k_{hc} = 1,56 - 0,008H_r$

Perpanjangan waktu antara transfer dan kondisi akhir  $t_{fi} = t_f - t_i$

dan kondisi akhir

$$k_{tdfi} = \left[ \frac{t_{fi}}{61 - 0,58 \left( \frac{f'_{cig}}{\text{MPa}} \right) + t_{fi}} \right]$$

Koefisien rangkai *girder* saat waktu akhir  $\psi_{tfti} = 1,9 \times k_s \times k_{hc} \times k_f \times k_{tdfi} \times t_i^{-0,118}$

rangkai *girder*

saat waktu akhir

$$k_{id} = \frac{1}{1 + \frac{E_{ps}}{E_{ci}} \times \frac{A_{ps}}{A_g} \times \left( 1 + \frac{A_g \times e_{mid}^2}{I_g} \right) \times (1 + 0,7 \times \psi_{tfti})}$$

Dengan demikian, kehilangan akibat susut pada *girder*:

$$\Delta f_{pSR} = \varepsilon_{bid} \times E_{ps} \times k_f \times k_{id}$$

## 2. Kehilangan gaya prategang akibat rangkai pada *girder*

Kehilangan prategang ini terjadi saat waktu kondisi transfer ke pengecoran pelat ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$\Delta f_{pCR} = \frac{E_p}{E_{ci}} \times f_{cgp} \times \psi_{tdti} \times k_{id}$$

Nilai  $f_{cgp}$  ditentukan berdasarkan gaya prategang setelah transfer dan pengaruh akibat berat sendiri *girder*:

Kehilangan tendon akibat relaksasi tendon saat transfer ( $\Delta f_{pR1}$ ) hingga pengecoran pelat

Tegangan saat setelah transfer pada strand :

$$f_{pi2} = f_{pbt} - (\Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pR1})$$

Gaya prategang saat setelah transfer  $P_i = f_{pi2} \times A_{ps}$

Tegangan beton pada level tendon saat setelah kondisi transfer :

$$f_{cspi} = \left| \frac{-P_i}{A_{gti}} - \frac{P_i \times e_{ti}}{I_{ti}} + \frac{M_{MS-G} \times e_{ti}}{I_{ti}} \right|$$

Koefisien rangkai *girder* saat waktu transfer dan penempatan pelat pembebanan saat transfer :

$$\psi_{tdti} = 1,9 \times k_s \times k_{hc} \times k_f \times k_{tdti} \times t_i^{-0,118}$$

Dengan demikian, kehilangan prategang akibat rangkai pada *girder*:

$$\Delta f_{pCR} = \frac{E_{ps}}{E_{cig}} \times f_{cspi} \times \psi_{tdti} \times k_{id}$$

### 3. Kehilangan prategang akibat relaksasi tendon

Mengacu pada AASHTO LRFD 2017 pasal 5.9.3.4.2c penggunaan nilai  $\Delta f_{pR1}$  diizinkan 8 MPa untuk jenis *low relaxation strand*.

$$\Delta f_{pR1} = 8 \text{ MPa}$$

## D. Kehilangan saat pengecoran pelat hingga final

### 1. Kehilangan prategang akibat susut pada *girder*

Perpanjangan waktu saat pengecoran pelat hingga final  $t_{fd} = t_f - t_d$

Faktor perpanjangan waktu antara final dan pengecoran pelat adalah:

$$k_{tdfd} = \left[ \frac{t_{fd}}{61 - 0,58 \left( \frac{f'_{cig}}{\text{MPa}} \right) + t_{fd}} \right]$$

Regangan susut *girder* antara waktu final dan transfer  $\varepsilon_{bif} = k_s \times k_{hs} \times k_f \times k_{tdfd} \times 0,48 \times 10^{-5}$

Regangan susut *girder* antar waktu final dan transfer  $\varepsilon_{bdf} = \varepsilon_{bif} - \varepsilon_{bid}$

Eksentrisitas endon penampang komposit  $e_{cg} = y_{bcg} - y_{mid}$

Koefisien penampang yang memperhitungkan interaksi pengaruh waktu beton dengan baja terlekat pada periode waktu antara pengecoran pelat dan kondisi akhir :

$$k_{df} = \frac{1}{1 + \frac{E_{ps}}{E_{cig}} \times \frac{A_{ps}}{A_{cg}} \times \left( 1 + \frac{A_{cg} \times e_{cg}^2}{I_{cg}} \right) \times (1 + 0,7 \times \psi_{tfti})}$$

kehilangan prategang akibat susut pada *girder*:

$$\Delta f_{pSD} = \varepsilon_{bdf} \times E_{ps} \times k_{df}$$

## 2. Kehilangan prategang akibat rangkai pada *girder*

Koefisien rangkai *girder* saat antara pengecoran pelat dan final :

$$\psi_{tdtd} = 1,9 \times k_s \times k_{hc} \times k_f \times k_{tdfd} \times t_d^{-0,118}$$

Momen akibat berat pelat lantai, *pelat deck*, dan diafragma yang bekerja pada *girder* nonkomposit final:

$$M_S = M_{MS-S} + M_{MS-RCP} + M_{MS-D}$$

Momen akibat beban aspal dan parapet adalah sebagai berikut :

$$M_A = M_{MA-A} + M_{MA-P}$$

$$\Delta f_{cd} = -(\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR1}) \frac{A_{ps}}{A_g} \left( 1 + \frac{A_g x e_{mid}^2}{I_g} \right) - \left( \frac{M_S x e_{tf}}{I_{tf}} + \frac{M_A x e_{ct}}{I_{ct}} \right)$$

Kehilangan prategang akibat rangkakan pada *girder* adalah:

$$\Delta f_{pCD} = \frac{E_{ps}}{E_{ciG}} x f_{cgpi} x (\psi_{tfti} - \psi_{tdti}) x k_{df} + \frac{E_{ps}}{E_{cg}} x \Delta f_{cd} x \psi_{tftd} x l$$

### 3. Kehilangan prategang akibat relaksasi tendon

Mengacu pada AASHTO LRFD 2017 pasal 5.9.3.4.2c nilai  $\Delta f_{pR2}$  diizinkan 8 MPa untuk *low relaxation strand*.

$$\Delta f_{pR2} = \Delta f_{pR1} = 8 \text{ MPa}$$

### 4. Tambahan prategang akibat penyusutan pelat

Lebar sayap efektif	$b_{ef}$	
Luas penampang pelat	$A_d$	$= t_s x b_{ef}$
Panjang parameter penampang pelat	$K_{IId}$	$= 2t_s + 2b_{ef}$
Luas permukaan total pelat	$A_{surfd}$	$= K_{IId} x L_b + 2A_d$
Volume pelat	$V_d$	$= A_{surfd} x L_b$
Rasio volume terhadap luas permukaan	$r_{vsd}$	$= \frac{V_d}{A_{surfd}}$

Faktor pengaruh rasio volume terhadap luas permukaan yang ditinjau ( $k_s \geq 1$ ):

$$K_{sd} = 1,45 \text{ mm} - 0,0051 \left( \frac{V_d}{A_{surfd}} \right)$$

$$\text{Faktor kelembaban untuk susut } k_{hsd} = 2 - 0,014 H_r$$



$$\text{Faktor pengaruh kuat tekan beton } k_{fd} = \frac{35 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa} + f'_{cid}}$$

$$\text{Perpanjangan waktu saat pengecoran pelat dan final } t_{dd} = t_f - t_d$$

Sehingga faktor perpanjangan waktu antara pengecoran pelat dan final yaitu:

$$k_{tddf} = \left[ \frac{t_{dd}}{61 - 0,58 \left( \frac{f'_{cig}}{\text{MPa}} \right) + t_{dd}} \right]$$

$$\text{Regangan susut } girder \text{ antara pengecoran pelat dan kondisi akhir } \epsilon_{ddf} = k_{sd} \times k_{hsd} \times k_{fd} \times k_{tddf} \times 0,48 \times 10^{-3}$$

$$\text{Koefisien rangkak } girder \text{ saat waktu kondisi akhir karena pembebanan saat awal } \psi_{tftdd} = 1,9 \times k_{sd} \times k_{hc} \times k_{fd} \times k_{tddf} \times t_i^{-0,118}$$

Rangkak pada pelat beton :

$$\Delta f_{cfd} = \frac{\epsilon_{ddf} \times A_d \times E_{cd}}{1 + 0,7 \psi_{tftdd}} \times \left( \frac{1}{A_{cg}} - \frac{e_{cg} \times e_d}{I_{cg}} \right)$$

Tanda minus (-) pada rangkak *girder*  $\Delta f_{cfd}$  berarti adanya prategang tambahan.

Besar gaya prategang tambahan sebagai berikut :

$$\Delta f_{pss} = \left| \frac{E_{ps}}{E_{cig}} \times \Delta f_{cfd} \times k_{df} \times (1 + 0,7 \psi_{tftdd}) \right|$$

## 5. Perhitungan gaya prategang efektif akhir

a. Total kehilangan prategang

- Kehilangan seketika =  $\Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES}$
- Kehilangan tergantung waktu :

$$\Delta f_{pLT} = \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR1} + \Delta f_{pSD} + \Delta f_{pR2} + \Delta f_{pCD} - \Delta f_{pSS}$$

• Total :

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pLT}$$

$$\text{Total Gaya kehilangan} = 75\% - x \% = x \%$$

b. Perhitungan prategang kondisi akhir efektif

$$\text{Max}f_{pe} = 0,8 \times f_{py}$$

Tegangan prategang efektif actual setelah kehilangan :

$$f_{pe} = 0,75 \times f_{pu} - \Delta f_{pT}$$

Jika  $f_{pe} \leq \text{Max}f_{pe}$ , maka OK

c. Perhitungan gaya prategang efektif

Gaya prategang efektif :

$$\begin{aligned} P_{ef} &= A_{ps \text{ tot}} \times f_{pe} \\ &= 6928,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 5. Pemeriksaan tegangan terhadap tegangan izin

### A. Tegangan izin

Pemeriksaan dilakukan saat kondisi beban maksimum serta saat eksentrisitas tendon kondisi maksimum.

Tegangan izin beton kondisi transfer

$$\text{Tarik } (\sigma_t) = 0,25 \times \sqrt{f'_{cig} \text{ MPa}}$$

$$\text{Tekan } (\sigma_c) = -0,6 \times f'_{cig}$$

Tegangan izin beton kondisi layan

$$\text{Tarik } (\sigma_{t_{serv}}) = 0,5 \times \sqrt{f'_{cg} \text{ MPa}}$$

$$\text{Tekan } (\sigma_{c_{serv}}) = -0,45 \times f'_{cg}$$

Tegangan izin beton kondisi layan di pelat

$$\text{Tarik } (\sigma_{t_{serv-s}}) = 0,5 \times \sqrt{f'_{cd}} \text{ MPa}$$

$$\text{Tekan } (\sigma_{c_{serv-s}}) = -0,45 \times f'_{cd}$$

### B. Tegangan penampang pada saat transfer

Pada kondisi awal pemberian gaya prategang, gaya yang diberikan maksimum dan beban masih minimum (hanya berat *girder*).

$$\text{Gaya prategang } P_{\text{jacking}} = 0,75 \times f_{pu} \times A_{ps \text{ tot}}$$

*jacking*

$$\text{Kehilangan } \Delta_{pST} = \Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES}$$

prategang awal

$$\text{Gaya prategang } P_{\text{transfer}} = P_{\text{jacking}} - (\Delta_{pST}) \times A_{ps \text{ tot}}$$

inisial

Tegangan pada serat atas penampang

$$f_{t,i} = \frac{-P_{\text{transfer}}}{A_g} + \frac{P_{\text{transfer}} \times e_{\text{mid}}}{S_t} + \frac{-M_{MS-G}}{S_t}$$

Periksa tegangan top saat transfer

$$|f_{t,i}| < | \sigma_{ti} |$$

AMAN

Tegangan pada serat bawah penampang

$$f_{b,i} = \frac{-P_{\text{transfer}}}{A_g} + \frac{-P_{\text{transfer}} \times e_{\text{mid}}}{S_b} + \frac{M_{MS-G}}{S_b}$$

Periksa tegangan bottom saat transfer

$$|f_{b,i}| < | \sigma_{bi} |$$

AMAN

Diagram tegangan pada penampang saat transfer sebagai berikut :

Kondisi	Lokasi	$\frac{P_{transfer}}{A_g}$	$\frac{P_{transfer} e_{mid}}{S}$	$\frac{M_s}{S}$	$\frac{M_A}{S}$	$\frac{M_{LL}}{S}$	Total
		Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Transfer	Sisi atas girder	x	x	x	x	x	x
	Sisi bawah girder	x	x	x	x	x	x

### C. Tegangan penampang pada masa konstruksi

Saat konstruksi, beban yang bekerja pada girder yaitu beban pelat lantai, parapet, dan diafragma. Belum terjadi aksi komposit girder dengan pelat lantai jembatan, semua beban yang bekerja dipikul oleh girder. Tegangan pada serat atas penampang

$$f_{t\_kons} = \frac{-P_{trans}}{A_g} + \frac{P_{trans} \times e_{mid}}{S_t} + \frac{(-M_{MS-S}) + (-M_{MS-G}) + [-M_{MS-D} + (-M_{MS-RCP})]}{S_t}$$

Periksa tegangan top saat konstruksi

$$f_{t\_kons} < | \sigma_{ti} |$$

AMAN

Tegangan pada serat bawah penampang

$$f_{b\_kons} = \frac{-P_{trans}}{A_g} + \frac{-P_{trans} \times e_{mid}}{S_b} + \frac{(M_{MS-S}) + (M_{MS-G}) + (M_{MS-D}) + (M_{MS-RCP})}{S_b}$$

Periksa tegangan bottom saat konstruksi

$$| f_{b\_kons} | < | \sigma_{ci} |$$

AMAN

### D. Tegangan penampang saat layan

Kondisi layan, seluruh beban sudah bekerja dan akan membentuk aksi komposit girder dengan pelat lantai. Pada kondisi ini beban bekerja secara maksimum dan gaya prategang bekerja minimum (termasuk kehilangan jangka panjang). Pengecekan dilakukan pada kombinasi layan I untuk cek tegangan tekan serta kombinasi layan III untuk cek tegangan tarik.

Gaya prategang efektif

$$P_{eff} = A_{ps\_total} \cdot f_{pe}$$

Tegangan pada serat atas penampang :

$$f_{t\_serv\_I\_ps} = \frac{-P_{eff}}{A_g} + \frac{P_{eff} \cdot e_{mid}}{s_t}$$

$$f_{t\_serv\_I\_load} = \frac{(-M_{MS-S} - M_{MS-G} - M_{MS-D} - M_{MS-RCP}) - M_{LL}}{s_t} + \frac{(-M_{MA\_B} - M_{MA\_A}) - M_I}{s_{tcg}}$$

$$f_{t\_serv\_I\_top} = f_{t\_serv\_I\_ps} + f_{t\_serv\_I\_load}$$

Periksa tegangan top saat layan

$$|f_{t\_serv\_I\_top}| < \underset{\text{AMAN}}{|\sigma_{cserv}|}$$

Tegangan pada serat bawah penampang :

$$f_{t\_serv\_III\_ps} = \frac{-P_{eff}}{A_g} + \frac{-P_{eff} \cdot e_{mid}}{s_b}$$

$$f_{t\_serv\_III\_load} = \frac{(M_{MS-S} + M_{MS-G} + M_{MS-D} + M_{MS-RCP})}{s_b} + \frac{M_{MA\_B} + M_{MA\_A} + 0,8I}{s_{bcg}}$$

$$f_{t\_serv\_III\_top} = f_{t\_serv\_III\_ps} + f_{t\_serv\_III\_load}$$

Periksa tegangan bottom saat layan

$$|f_{t\_serv\_III\_bot}| < \underset{\text{AMAN}}{|\sigma_{tserv}|}$$

Pada kondisi layan, pelat lantai menahan beban akibat parapet, aspal, dan beban hidup kendaraan yang dipikul oleh penampang komposit. Adapun perhitungan tegangan pada pelat lantai sebagai berikut :

$$f_{t\_s} = \frac{(-M_{MA\_B} - M_{MA\_A}) - M_{LL}}{s_{tcd^n}}$$

Periksa tegangan *top* saat layan I

$$|f_{t\_s}| < |\sigma_{cserv\_s}|$$

$$f_{b\_s} = \frac{(-M_{MA\_B} - M_{MA\_A}) - M_{LL}}{s_{bcd^n}}$$

Periksa tegangan bottom saat layan I

$$|f_{b\_s}| < |\sigma_{cserv\_s}|$$

Diagram tegangan pada penampang saat layan sebagai berikut :

Kondisi	Lokasi	$P_{eff} / A_g$	$P_{eff}^{e_{mid}} / S_t$	$M_s / S_t$	$M_A / S$	$M_{LL} / S$	Total
		Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Layan	Sisi atas girder	x	x	x	x	x	x
	Sisi bawah girder	x	x	x	x	x	x
	Sisi atas pelat				x	x	x
	Sisi bawah pelat				x	x	x

### 5.5 Tegangan penampang kondisi layan di sambungan

Salah satu syarat perencanaan jembatan segmental yaitu tidak ada tegangan tarik di area sambungan antar girder. Pada proyek ini, sambungan antar girder yang diperiksa terletak di titik 5,3 m, 23,3 m, 29,3 m dan 35,3 m dari ujung girder kiri. Nilai momen pada girder pada area yang ditinjau :

No	Beban	Lokasi dan Momen di sambungan (kN.m)					
1	Girder						
2	Pelat lantai						
3	RC Plate						
4	Diafragma						
5	Aspal						
6	Barrier						
8	BTR						
9	BGT*FBD						

Gaya prategang efektif yang digunakan didapatkan dari perhitungan dengan besarnya kehilangan ditentukan dari posisi sambungan.

Perhitungan kehilangan prategang pada titik-titik sambungan

Lokasi	$\Delta f_{pA}$	$\Delta f_{pf}$	$\Delta f_{pES}$	$\Delta f_{pLT}$	Total	$f_{ef}$	$P_{ef}$
(m)	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	kN

Detail pemeriksaan tegangan di daerah sambungan adalah sebagai berikut:

Lokasi (m)	Eksentrisitas (mm)	Momen (kN.m)			Lokasi	Tegangan (Mpa)					Total	Cek
		MMS	MMA	MLL		$P_{ef} / A_g$	$p_{ef} e/s$	MMS / s	MMA / SCG	MLL / SCG		
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No
					Top							Oke / No
					Bottom							Oke / No

Dari perhitungan di atas tegangan di sisi bawah girder (bottom) bernilai minus (-) sehingga tidak terdapat gaya tarik di titik sambungan dan persyaratan di sambungan terpenuhi.

## 6. Kapasitas lentur penampang

Perhitungan tahanan lentur saat momen maksimum yaitu pada tengah bentang. Data perhitungan kapasitas lentur penampang :

Tebal pelat  $t_s$

Tinggi efektif penampang  $d_p = h_{cg} - y_{mid}$

Lebar sayap tekan  $S_g$

Kuat tekan beton <i>girder</i>	$f'_{cg}$	
Luas strand	$A_{ps\ tot}$	
Tegangan putus tendon	$f_{pu}$	
Koefisien friksi <i>wobble</i>	$k$	$= 2 \times \left(1,04 - \frac{h_{cg}}{h_{cg}}\right)$
Faktor blok tegangan beton	$\beta_1$	$= 0,85$
Faktor blok tegangan beton	$\alpha_1$	$= 0,85$

### A. Kapasitas lentur

Dalam proses menghitung kekuatan lentur nominal penampang, perlu dipastikan sebagai penampang persegi atau sebagai girder T. Untuk penampang segi empat, kelak sumbu netral penampang:

$$c = \frac{A_{ps} \times f_{pu} + A_s \times f_s - A_s \times f_s}{0,85 \times f_{c-aksen} \times \beta_1 \times b + k \times A_{ps} \times \frac{f_{pu}}{d_p}}$$

Pada kasus ini tidak menggunakan baja tulangan pada tulangan tarik dan tekan, maka rumus di atas dapat direduksi menjadi :

$$c = \frac{A_{ps\ tot} \times f_{pu}}{\alpha_1 \times f_c \times \beta_1 \times b + k \times A_{ps\ tot} \times \frac{f_{pu}}{d_p}}$$

Tinggi blok tekan ekivalen (a)

$$a = \beta_1 - c$$

Tinggi blok tegangan tekan (a) < dari tebal pelat sayap ( $t_s$ ) = 300 mm, maka blok tegangan tekan terletak di sayap sehingga *girder* berperilaku sebagai penampang persegi.

Perhitungan kapasitas lentur penampang sebagai berikut :

$$\text{Tegangan rata-rata tendon prategang } f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p}\right)$$



Kapasitas lentur nominal pada tengah penampang

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right)$$

Faktor reduksi lentur

$$\phi_f = 0,9$$

Momen tahanan nominal lentur

$$M_r = \phi_f \times M_n$$

Kapasitas lentur penampang diperiksa terhadap momen ultimit akibat kombinasi pembebanan kuat I yang dihitung sebagai berikut:

$$M_u = 1,2(M_{MS-G} + M_{MS-D}) + 1,3(M_{MS-S} + M_{MS-RCP}) + 2(M_{MA-B} + M_{MA-A}) + 1,8M_{LL}$$

Jika nilai  $M_u \leq M_r$  maka kapasitas lentur pada penampang dikatakan aman dan dapat menahan beban yang bekerja.

$$M_u \leq M_r$$

### B. Pemeriksaan tulangan minimum

Banyak tendon harus memenuhi persyaratan tendon, nilai  $M_r >$  nilai terkecil dengan dua ketentuan berikut :

$$1,2 M_{cr} \quad \text{atau} \quad 1,33 M_u$$

Momen tidak terfaktor akibat beban mati komponen struktur :

$$M_{dnc} = M_{MS-S} + M_{MS-G} + M_{MS-D} + M_{MS-RCP}$$

Modulus retak beton

$$f_r = 0,63 \sqrt{f'_{cg}}$$

Variabel faktor retak lentur

$$Y_1 = 1,6$$

Variabel faktor tegangan

$$Y_2 = 1,1$$

Rasio kuat leleh dan kuat ultimit baja nonprategang

$$Y_3 = 1$$

Tegangan tekan beton akibat gaya prategang efektif :

$$f_{cpe} = \frac{P_e}{A_g} + \frac{P_e \times e_{mid}}{S_b}$$

$M_r$

$$M_{cr} = Y_3(Y_1 \times f_r + Y_2 \times f_{cpe}) \times S_{bcg} - M_{dnc} \left( \frac{S_{bcg}}{S_b} - 1 \right)$$

$1,2M_{cr}$

Persyaratan tulangan minimum :

$$1,33M_u, 1,2M_{cr}$$

Cek syarat tulangan minimum

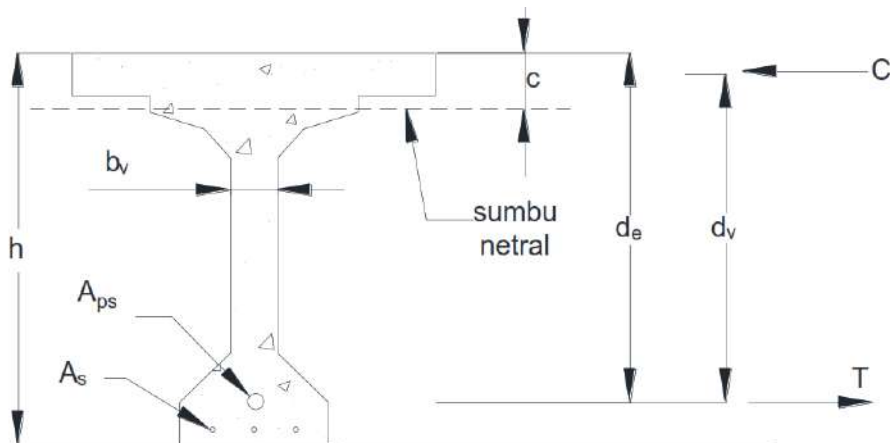
Jika nilai persyaratan tulangan minimum  $< M_r$  maka dapat dikatakan telah aman / Oke.

$$\text{Tul.min} < M_r$$

## 7. Kapasitas geser penampang

### A. Data-data penampang geser

Kapasitas geser penampang ditinjau pada lokasi geser maks. Geser maks terjadi pada area tumpuan.



**Gambar 4. 2** Keterangan Variabel Perhitungan Kapasitas Geser

Sumber : Pedoman persyaratan umum perencanaan jembatan, 2015

Tinggi penampang

$$h = h_g - t_s$$

Selimut beton

$$d_c$$

Tinggi efektif penampang	$d_e = \frac{A_{ps} \times f_{ps} \times d_p}{A_{ps} \times f_{ps}}$
Diameter tulangan geser	$D_s$
Kuat leleh tulangan	$f_y$
Tinggi efektif geser	$d_v = h_{cg} - a - y_{mid}$
Lebar penampang geser	$b_v$
Faktor reduksi kekuatan geser	$\phi_v = 0,75$

### B. Ketahanan geser dari prategang

Titik berat tendon di tumpuan	$y_{end}$
Titik berat tendon di tengah	$y_{mid}$
Panjang ½ bentang	$L_{mid} = \frac{L_b}{2}$
Panjang tendon di setengah bentang (asumsi liner)	$r_{tendon} = \sqrt{(y_{end} - y_{mid})^2 + L_{mid}^2}$

Gaya prategang efektif	$P_{ef}$
Kontribusi gaya prategang terhadap ketahanan geser	$V_p = \frac{P_{ef} \times (y_{end} - y_{mid})}{r_{tendon}}$

### C. Gaya dalam

Gaya geser ultimit	$V_{ucr}$
Momen ultimit	$M_{ucr}$
Momen kombinasi I	

$$|M_{ucr}| > |V_{ucr} - V_p| d_v$$

Gaya aksial	$N_u = 0 \text{ kN}$
-------------	----------------------

### D. Ketahanan geser beton

Regangan longitudinal di tulangan tulangan :

$$\varepsilon_s = \frac{\frac{|M_{ucr}|}{d_v} + 0,5N_u + |V_{ucr} - V_p| - A_{ps} \times 0,7f_{pu}}{E_{ps} \times A_{ps}}$$

Syarat jika  $\varepsilon_s \leq 0$  maka diambil nilai  $\varepsilon_s = 0$

$$\text{Faktor } \beta = \frac{4,8}{1 + 750\varepsilon_s}$$

$$\text{Sudut tegangan utama } (\theta) = 29 + 3500\varepsilon_s$$

$$\text{Kuat geser beton } (V_c) = 0,083\beta \sqrt{f'_{cg} \text{ MPa}} \times b_v d_v$$

Nilai syarat tulangan minimum

$$V_{ucr} > 0,5 \phi_v (V_c + V_p)$$

AMAN

Gaya geser yang ditahan baja tulangan  $V_{s-req} = \frac{V_{ucr}}{\phi_v} - V_c - V_p$

Digunakan tulangan geser  $D_v$

Jumlah kaki  $n_v$

$$\text{Luas tulangan } A_v = \frac{1}{4} \pi \times D_v^2 \times n_v$$

Trial jarak tulangan geser  $S_v$

$$\text{Kekuatan geser tulangan } V_s = \frac{A_v \times f_{yv} \times d_v (\cot(\theta))}{S_v}$$

$$\text{Kekuatan geser nominal } V_{n1} = V_s + V_c + V_p$$

$$\text{Kekuatan geser nominal } V_{n2} = 0,25f_{cg} \times b_v \times d_v + V_p$$

Kuat geser nominal yang digunakan  $V_n = \min(V_{n1} \times V_{n2})$

Cek kapasitas geser :

$$\phi_v \cdot V_n > V_{ucr}$$

AMAN

Jarak tulangan geser yang digunakan terhadap jarak maksimum yang diizinkan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan geser beton} \quad V_u = \frac{|V_{ucr} - \phi_v \times V_p|}{\phi_v \times b_v \times d_v}$$

Syarat tulangan minimum  $V_u < 0,125f_{cg}$  AMAN

$$\text{Syarat jarak maksimum} \quad s_{\max} = 0,8d_v \leq 600 \text{ mm}$$

Setelah pengecekan PCI *Girder* dilakukan perhitungan tulangan pada area  $\frac{1}{2}$  bentang,  $\frac{1}{4}$  bentang, dan area *end block*.

#### E. Diafragma

Menurut (Fauzan dan Alamsyah, 2020), diafragma merupakan struktur atas jembatan yang berfungsi untuk memberi ikatan antar girder pada arah melintang. Adapun analisis pembebanan diafragma sebagai berikut :

##### 1. *Preliminary design*

- Mutu beton
- Mutu baja tulangan
- Tebal selimut beton
- Tebal diafragma
- Lebar yang ditinjau
- Tinggi efektif

##### 2. Analisis pembebanan

- Beban mati (beban diafragma sendiri)

$$Q_{\text{diafragma}} = 1.3 \times h \times \text{BJ beton}$$

##### 3. Menghitung momen ultimit ( $M_u$ )

$$M_u = \frac{1}{12} \times Q_{\text{diafragma}} \times l^2$$

##### 4. Menghitung tulangan

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

- Menghitung koefisien penampang ( $R_n$ )

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$(1) \rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$(2) \rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$(3) \rho_{maks} = 0.75 \rho_b$$

$$(4) m = \frac{f_y}{0.85 f_c}$$

$$(5) \rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$  (apabila  $\rho_{min} < \rho$ , maka dipakai nilai  $\rho_{min}$ )

- Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_{s_{min}} \text{ Tul. Utama} = \rho \times t \times h_{ef}$$

$$A_{s_{min}} \text{ Tul. Bagi} = 0.5 A_{s_{min}} \text{ Tul. Utama}$$

- Menentukan dimensi tulangan arah X (tul. utama) dan Y (tul. Bagi) terhadap luas penampang nominal.

#### F. *Elastomer Bearing Pad*

Menurut Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 10 Tahun 2015, *elastomer bearing pad* yakni bahan bersifat karet yang berarti dapat meregang jika diberi tegangan dan berdeformasi dengan cepat serta dapat kembali lagi ke dimensinya semula. Fungsi dari *elastomer bearing pad* yaitu untuk menampung, menyalurkan beban, dan memberikan tahanan terhadap gaya. Adapun analisis pemeriksaan *elastomer bearing pad* adalah sebagai berikut :

1. *Preliminary design* :

- Beban struktur
- Beban horizontal
- Beban tambahan
- Beban lalu lintas
- *Properties elastomer bearing pad*

## 2. Analisis pemeriksaan :

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Luas Efektif Maksimum

$$\delta = \frac{qH \times h}{A \times G}$$

$$A_{\text{eff}} = A \left( 1 - \frac{\delta}{b} - \frac{\delta}{d} \right)$$

$$\frac{A_{\text{eff}}}{0,8A} \geq 1$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Bentuk

$$S = \frac{b \times d}{2 \times (b + d) \times h_{\text{cef}}}$$

$$\text{Syarat } 4 \leq S \leq 12$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Regangan Total Maksimum

$$\alpha = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{b}$$

$$\epsilon_{\text{sr}} = \frac{\alpha \times b^2 + \alpha \times d^2}{2 \times h_i \times h}$$

$$\epsilon_{\text{sc}} = \frac{6 \times S \times V}{3 \times A_{\text{eff}} \times G \times (1 + 25^2)}$$

$$\epsilon_{\text{sh}} = \frac{2 \times A_{\text{eff}}}{A} - 1,1$$

$$\epsilon_{\text{total}} = \epsilon_{\text{sr}} + \epsilon_{\text{sc}} + \epsilon_{\text{sh}}$$

$$\epsilon_{\text{total}} \leq 2,6\sqrt{G}$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Batas Leleh

$$\frac{1,4 \times V}{\epsilon_{\text{sc}} \times V_{\text{LL}}} \times \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Tegangan Maksimum Rata-Rata

$$\frac{15 \times A}{V} \geq 1$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Perputaran Maksimum

$$EH = A \times G \times \frac{1}{\frac{b}{d} + \frac{d}{b}}$$

$$C = 4 + \frac{b}{d} \times 6 \times \frac{3,3b}{d}$$

$$E = EH + \frac{C \times G \times S^2}{1 + \frac{C \times G \times S^2}{0,75d}}$$

$$dc = hief \times \frac{V \times 10^2}{E \times A}$$

$$\text{Syarat : } \frac{\alpha b + \alpha d}{4 \times dc} \geq 1$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Stabilitas Tekan

$$\frac{2 \times d \times G \times S \times A_{eff}}{1000 \times V} \geq 1$$

- Pemeriksaan *Elastomer Bearing Pad* terhadap Tebal Pelat Baja Minimum

$$\frac{hp}{3} \geq 1$$

$$\frac{hp \times A \times f_y \text{ plat baja}}{300 \times V \times hi} \geq 1$$

- Pemeriksaan Tahanan Gesek *Elastomer Bearing Pad* terhadap Geseran

$$\frac{0,1 \times V + (3000 \times A_{eff})}{H} \geq 1$$

## G. Pelat Deck

Pelat deck merupakan bekisting beton yang digunakan sebagai lantai kerja untuk pekerjaan pelat lantai. Pelat deck menjadi metode yang efektif dan lebih murah dibanding bekisting kayu. Pelat deck biasanya tersedia satu paket dengan diafragma dan *PCI girder* (Andika, Walangitan, and Arsjad 2022). Adapun analisis pembebanan pelat deck sebagai berikut :

### 1. Preliminary design

- Mutu beton



- Mutu baja tulangan
- Lebar pelat deck
- Panjang pelat deck
- Tebal pelat deck
- Tebal efektif
- Berat jenis beton
- Selimut beton

2. Analisis pembebanan

- Beban hidup (orang)
- Beban mati (pelat lantai, air hujan, pelat deck)

$$Q_u = \text{tebal} \times \text{Berat Jenis} \times \text{factor beban}$$

3. Menghitung momen ultimit ( $M_u$ )

$$M_u = \frac{1}{12} \times q_{\text{total}} \times L^2$$

4. Menghitung inersia penampang ( $I$ )

$$I = \frac{1}{8} \times b \times h^3$$

5. Menghitung modulus elastisitas ( $E_c$ )

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c}$$

6. Menghitung lendutan maksimal ( $\Delta_{\text{maks}}$ )

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{1}{8} \times b$$

7. Menghitung tulangan

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

- Menghitung koefisien penampang ( $R_n$ )

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$(1) \rho = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$(2) \rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$(3) \rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$(4) m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$(5) \rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$  (apabila  $\rho_{\min} < \rho$ , maka dipakai nilai  $\rho_{\min}$ )

- Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} = \rho \times t_{ef} \times L$$

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} = 0,5 \times A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama}$$

- Menentukan dimensi tulangan arah X (tul. utama) dan Y (tul. Bagi) terhadap luas penampang nominal.

## H. Pelat Injak

Menurut (Tristanto, 2018), pelat injak merupakan bagian dari struktur atas jembatan yang berperan sebagai transisi yang membentang diantara perkerasan jalan dengan struktur pelat lantai jembatan. Pelat injak dapat dibuat terpisah maupun terikat dengan kepala abutment jembatan. Adapun analisis pembebanan pelat injak sebagai berikut :

### 1. *Preliminary design*

- Dimensi pelat injak
- Lebar yang ditinjau
- Tebal pelat
- Selimut beton
- Tebal efektif
- $F_c'$
- $F_y$

### 2. Analisis pembebanan

- Beban mati (beban pelat injak)

$Q_u = \text{tebal} \times \text{lebar tinjauan} \times \text{berat jenis beton} \times \text{factor beban}$

- Beban mati tambahan

- AC-WC
- AC-BC
- AC-Base
- Agregat kelas A
- Timbunan

$Q_u = \text{tebal} \times \text{lebar tinjauan} \times \text{berat jenis beton} \times \text{factor beban}$

- Beban hidup

Berdasarkan pembebanan untuk jembatan 2016 besarnya BTR adalah 9 Kpa atau 9 kN/m<sup>2</sup>.

$$q_{BGT} = 9 \text{ kN/m}^2 \times \text{lebar tinjauan} \times \text{factor beban lajur D}$$

### 3. Menghitung momen ultimit (Mu)

$$M_u = 1/8 \times Q_u \times L^2$$

### 4. Menghitung tulangan

- Menghitung momen nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

- Menghitung koefisien penampang (Rn)

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$(1) \rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$(2) \rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$(3) \rho_{maks} = 0.75 \rho_b$$

$$(4) m = \frac{f_y}{0.85 f_c}$$

$$(5) \rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$  (apabila  $\rho_{\min} < \rho$ , maka dipakai nilai  $\rho_{\min}$ )

- Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} = \rho \times t_{ef} \times L$$

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} = 0,5 \times A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama}$$

- Menentukan dimensi tulangan arah X (tul. utama) dan Y (tul. Bagi) terhadap luas penampang nominal.

#### 2.4.4.5 Struktur Bawah Jembatan

##### A. Abutment

Menurut (Waruwu, 2022), abutment termasuk kedalam jenis komponen struktur bawah jembatan yang berfungsi sebagai penopang dan penyangga struktur di atasnya. Konstruksi abutment juga dilengkapi dengan sayap yang disebut dengan *wing wall* yang berfungsi sebagai penahan tanah. Dalam perencanaan tulangannya, struktur dibagi menjadi tiga bagian yaitu kepala, badan, dan *pile cap* abutment.

Adapun analisis pembebanan abutment sebagai berikut :

##### 1. *Preliminary Design*

- Dimensi abutment
- Lebar yang ditinjau
- Tinggi struktur abutment
- Selimut beton
- Tinggi efektif
- $F_c'$
- $F_y$

##### 2. Analisis Gaya Vertikal

- Gaya Akibat Berat Sendiri Abutment  
Titik berat abutment terhadap titik A :

$$x = \frac{\sum Wx}{\sum W}$$

Lengan gaya terhadap titik O = (Jarak titik A dan O) + x

Momen = Lengan gaya terhadap titik O x Total Beban

- Beban Mati Akibat Struktur Atas

Momen =  $\sum \frac{1}{2}$  Beban Mati Struktur Atas x Lengan gaya terhadap titik O

- Analisis Beban Hidup akibat Beban D

- BTR (Beban Terbagi Rata)

$$q_{BTR} = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right)$$

$M_{BTR} = q_{BTR} \times$  Lengan gaya vertikal terhadap titik O

- BGT (Beban Garis Terpusat)

$$q_{BGT} = (1 + DLA) \times P$$

$M_{BGT} = q_{BGT} \times$  Lengan gaya vertikal terhadap titik O

- Beban Tanah Vertikal

Titik berat abutment terhadap titik A :

$$x = \frac{\sum Wx}{\sum W}$$

Lengan gaya terhadap titik O = (Jarak titik A dan O) + x

Momen = Lengan gaya terhadap titik O x Total Beban

### 3. Analisis Gaya Horizontal

- Gaya Rem dan Traksi

25% Beban T

5% (Beban T + BTR)

Lengan gaya = H abutment + H pile cap + 1,8

Momen = Beban rem x Lengan gaya

- Gaya Akibat Gempa

- Beban Gempa akibat Struktur Atas

$W_t =$  Total Beban MS + Total Beban MA

$R = 0,8$

$E Q-SA = \frac{Csm}{R} \times W_t$

$$ME \text{ Q-SA} = E \text{ Q-SA} \times \text{Lengan gaya vertikal terhadap titik O}$$

- Beban Gempa akibat Struktur Bawah

$$W_t = \text{Beban Sendiri Abutment} + \text{Beban Tanah Vertikal}$$

$$R = 3$$

$$E \text{ Q-SA} = \frac{csm}{R} \times W_t$$

$$ME \text{ Q-SA} = E \text{ Q-SA} \times \text{Lengan gaya vertikal terhadap titik O}$$

- Gaya Akibat Tekanan Tanah Aktif

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$P_{TA-1} = 0,6 \times H \times K_a \times L \text{ abutment}$$

$$P_{TA-2} = (0,5 \gamma_{\text{tanah}}) \times H^2 \times K_a \times L \text{ abutment}$$

$$\text{Momen} = P_{TA} \times \text{Jarak } y \text{ terhadap O}$$

#### 4. Kombinasi Pembebanan

- Ekstrem 1 = 1,3MS + 2MA + 1,25TA + 0TD + 0TB + EQ
- Kuat 1 = 1,3MS + 2MA + 1,25TA + 1,8TD + 1,8TB
- Layan 1 = MS + MA + TD + 0EQ + TB + TA
- Layan 3 = MS + MA + 0,8TD + 0EQ + 0,8TB + TA

#### 5. Cek Stabilitas Abutment

- Pemeriksaan Guling

$$SF = \frac{\sum M_v}{\sum M_H} \geq 1,5$$

- Pemeriksaan Geser

$$SF = \frac{\sum H_P}{\sum H} \geq 1,5$$

$$= \frac{c \cdot Bx \cdot By + \sum v \tan \phi}{\sum H} \geq 1,5$$

- Pemeriksaan Eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_v - \sum M_h}{\sum V} \leq \frac{B}{6}$$

- Pemeriksaan Daya Dukung Tanah (DDT)

$$DDT = \frac{qu}{q}$$

DDT < 3, maka tanah tidak mampu menahan tegangan pada ujung abutment

DDT > 3, maka tanah mampu menahan tegangan pada ujung abutment

#### 6. Menghitung Tulangan Kepala Abutment

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$M_u$  = Momen sendiri kepala abutment + Momen struktur tambahan + Momen BTR

- Menghitung koefisien penampang ( $R_n$ )

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$P_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

- Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} = \rho \times t_{ef} \times L$$

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} = 0.5 \times A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama}$$

#### 7. Menghitung Tulangan Badan Abutment

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$M_u$  = Momen beban mati pada badan abutment + Momen pada badan abutment

- Menghitung koefisien penampang ( $R_n$ )

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$P_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

- Menghitung luas tulangan ( $A_s$ )

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} = \rho \times t_{ef} \times L$$

$$A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} = 0.5 \times A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama}$$

#### 8. Menghitung Tulangan *Pile Cap* Abutment

- Menghitung tegangan pada dasar pile cap ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{M_u}{A}$$

$$M_u = M \text{ vertikal} + M \text{ horizontal}$$

- Menghitung momen ultimit yang bekerja pada arah x dan y

$$M_{ux} = \frac{1}{2} \sigma \times \left( \frac{1}{2} b \right)^2$$

$$M_{uy} = \frac{1}{2} \sigma \times \left( \frac{1}{2} d \right)^2$$

- Menghitung rasio tulangan (Tulangan Atas (x dan y), serta Tulangan Bawah (x dan y))



$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 \rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} \\
 \rho_{\max} &= 0.75 \rho_b \\
 m &= \frac{f_y}{0.85 f_c} \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

## B. *Wing Wall*

*Wing wall* termasuk ke dalam struktur bawah jembatan yang berfungsi menahan tanah urugan dan karena letaknya dibelakang samping kanan dan kiri abutment, hal inilah yang membuat bagian struktur ini disebut *wing wall*/sayap abutment.

Adapun analisis pembebanan *wing wall* sebagai berikut :

### 1. *Preliminary Design*

- Dimensi *wing wall*
- Lebar yang ditinjau
- Lebar *wing wall*
- Selimut beton
- Lebar efektif
- $F_c'$
- $F_y$

### 2. Menentukan Data Tanah Timbunan

- Berat jenis ( $\gamma$ )
- Sudut geser ( $\emptyset$ )
- Kohesi ( $c$ )
- Tinggi tanah timbunan (H)

$$- L = \frac{H}{\tan\left(45^\circ + \frac{\theta}{2}\right)}$$

$$- K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\theta}{2}\right)$$

### 3. Beban Kendaraan di Belakang *Wing Wall*

$$q_x = \gamma \times H \times L$$

### 4. Beban Akibat Pelat Injak + Aspal

$$q = q_x + q_p$$

$$q_p = 0,35 \times L \times 2,5 + 0,04 \times L \times 2,2$$

### 5. Tekanan Tanah yang Terjadi

$$\sigma_{a1} = q \cdot K_a - 2 c \sqrt{K_a}$$

$$\sigma_{a2} = (q + (\gamma \cdot H_a)) \cdot K_a - 2 c \sqrt{K_a}$$

### 6. Beban Merata

$$q = (\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) \cdot 1m$$

$$M_u = \frac{1}{2} \times q \times L^2$$

### 7. Menghitung Penulangan

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

- Menghitung koefisien penampang ( $R_n$ )

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

- Menghitung rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$\rho_l = k \cdot \rho_b$$

Agar bersifat daktil, maka syarat ( $\rho_1 \leq \rho_{max}$ )

$$As_1 = \rho \cdot b \cdot d$$

$$T_1 = As_1 \cdot f_y$$

$$a_1 = \frac{T_1}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$Z = d - 0,5 a_1$$

$$M_{r1} = T_1 \times Z$$

$$\Delta M = M_{max} - M_{r1}$$

$$d' = \text{Selimut beton} + (1/2 \times 13)$$

$$As_2 = \frac{\Delta M}{f_y (d - d')}$$

$$As = As_1 + As_2$$

Tulangan bagi = 20% Tulangan Utama

### C. Pondasi Sumuran / *Caisson*

Pondasi sumuran dikenal karena bentuknya yang menyerupai sumur yakni kosong ditengahnya serta berbentuk silinder dibawah tanah. Di Indonesia, pondasi sumuran terbagi menjadi dua tipe, yaitu sumuran bor/*drilled caisson* dan sumuran biasa/*caisson*. Pemilihan jenis pondasi sumuran dipakai jika tanah keras berada di kedalaman 2 – 6 m.

Pada perencanaan pondasi, jenis pondasi dangkal memiliki nilai perbandingan kedalaman tertanam pondasi ( $D_f$ ) dengan diameter pondasi  $< 4$ , apabila lebih akan diperlakukan sebagai pondasi tiang. Pondasi sumuran memiliki kriteria yang perlu dipenuhi yaitu stabilitasnya terhadap geser, guling, dan daya dukung. Mengacu pada SNI 8460 : 2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik faktor keamanan yang digunakan pada perhitungan daya dukung minimum 3.

Berikut ini merupakan beban yang bekerja pada pondasi sumuran :

- 1) Gaya lateral (tekanan tanah aktif, pasif, dan beban lainnya),
- 2) Gaya aksial (gaya dari struktur atas jembatan, dan berat pondasi sendiri).

Adapun analisis pondasi sumuran sebagai berikut :

1) Stabilitas terhadap geser

$$FK_{geser} > 1,5 \text{ (untuk kondisi beban statik)}$$

$$FK_{geser} > 1,1 \text{ (untuk kondisi beban dinamik / gempa)}$$

$$FK_{geser} = \frac{\sum v \cdot \tan \phi_2 c + p_p}{\sum p_a}$$

- Keterangan :
- $\phi_2$  = Tahanan geser di dasar pondasi
  - $q_c$  = Tekanan ujung konus rata-rata pada kedalaman pondasi
  - $c$  = Kohesi tanah ( $q_c / 20$ )
  - $p_p$  = Tekanan tanah pasif
  - $\sum p_a$  = Tekanan tanah aktif

2) Stabilitas terhadap guling

$$FK_{guling} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o}$$

$$FK_{guling} > 1,5 \text{ (untuk kondisi beban statik)}$$

$$FK_{guling} > 1,1 \text{ (untuk kondisi beban dinamik / gempa)}$$

- Keterangan :
- $\sum M_R$  =  $M_{penahan} + M_{pasif}$
  - $\sum M_o$  =  $\sum M_{aktif}$

3) Stabilitas terhadap daya dukung

Menggunakan persamaan daya dukung terzaghi yaitu :

$$Q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,3 \cdot Y' \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$Q_a = Q_u / SF$$

- Keterangan :
- $Q_u$  = Daya dukung ultimit
  - $q_c$  = Tekanan ujung konus rata-rata pada kedalaman pondasi
  - $c$  = Kohesi tanah ( $q_c / 20$ )

$N_c$  = Factor daya dukung tanah akibat kohesi tanah

$N_q$  = Factor daya dukung tanah akibat terbagi rata

$N_\gamma$  = Faktor daya dukung tanah akibat berat tanah

$N_c, N_q, N_\gamma$  merupakan factor daya dukung tanah yang bergantung dari besarnya sudut geser tanah ( $\phi$ ). Pengecekan terhadap gaya aksial sebagai berikut :

(Gaya aksial yang terjadi) < (Gaya aksial yang mampu diterima n pondasi)

#### 2.4.5 Permodelan 3D

Tahapan perencanaan dan perhitungan pada struktur jembatan sudah selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan permodelan secara 3 dimensi (3D). Pada era revolusi industri 5.0, permodelan 3D memiliki peranan penting dengan tujuan utama untuk memvisualisasikan bentuk proyek konstruksi sehingga dapat dengan mudah untuk dipahami oleh masing-masing *stakeholder*. Selain visualisasi proyek, dalam permodelan 3D ini juga menghasilkan *output* berupa *quantity take off* yang menyajikan informasi berupa volume dari masing-masing pekerjaan struktur jembatan.

#### 2.4.6 Perhitungan Volume dan RAB

Tahapan setelah melakukan permodelan 3D yaitu melakukan perhitungan volume dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB). Dalam tahap ini, perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) meliputi beberapa perhitungan seperti berikut ini :

1. Perhitungan Volume

Item yang dihitung dalam bagian ini yaitu upah tenaga kerja, bahan, dan kebutuhan alat pada masing-masing pekerjaan (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

2. Analisis Harga Satuan Dasar

Terdapat tiga macam daftar harga dalam harga satuan dasar, yaitu untuk tenaga kerja, alat, dan bahan (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

3. Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Dalam mengetahui harga satuan pekerjaan, dibutuhkan beberapa komponen harga satuan dasar, meliputi HSD upah, HSD alat, dan HSD bahan (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

4. Perhitungan *Bill of Quantity* (BoQ) dan Rancangan Anggaran Pekerjaan (RAP)
5. *Bill of Quantity* (BoQ) berisi rincian pekerjaan yang disusun menurut kelompok/bagian/divisi tiap pekerjaan, yang dilengkapi dengan informasi mengenai volume, satuan pekerjaan, mata uang, harga satuan, hasil kali volume dengan harga satuan, serta jumlah seluruh hasil pekerjaan (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Sedangkan Rancangan Anggaran Pekerjaan (RAP) merupakan perhitungan total biaya pada *Bill of Quantity* (BoQ) yang telah dikalikan dengan profit/keuntungan (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

#### **2.4.7 Perencanaan Jadwal**

Tahapan serta hasil perhitungan volume dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) telah selesai, maka langkah selanjutnya adalah merencanakan penjadwalan. Penjadwalan proyek yaitu sebuah tahapan untuk merencanakan pelaksanaan pada setiap pekerjaan dalam proyek tersebut dengan mengoptimalkan pemakaian sumber daya (manusia/pekerja dan material/bahan) dan waktu, namun tetap memperhatikan kesesuaian presedensi diantara masing-masing pekerjaan (Arifudin, 2021). Penjadwalan ini harus direncanakan sedemikian rupa dengan tujuan agar proses pekerjaan dapat berjalan efektif, efisien, tepat harga, dan tepat waktu.

#### **2.4.8 RKS (Rencana Kerja dan Syarat)**

Rencana Kerja dan Syarat (RKS) merupakan sekumpulan dokumen yang menjadi acuan dalam pekerjaan konstruksi. Seluruh kegiatan dan spesifikasi bahan tertera didalam RKS. Dokumen ini dibuat agar bangunan dilaksanakan sesuai standar kualitas serta waktu yang di tetapkan serta mengurangi factor kesalahpahaman terkait kontrak. Susunan RKS terdapat informasi mengenai deskripsi umum

proyek, latar belakang proyek, serta lingkup pekerjaan konstruksi. Selain itu juga terdapat spesifikasi teknis yang tertera di dalamnya. Kriteria kualitas pada setiap item pekerjaan, serta metode pekerjaan tercantum untuk mencapai kualitas yang direncanakan (bidin A 2017).

## 2.5 Penelitian Terdahulu

**Tabel 2. 10** Daftar Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1.	2023	Dianya Puan Anandita	Perencanaan Jembatan Beton Prategang RSUD Temanggung dengan Berbasis <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	Mengetahui perhitungan pembebanan dan analisis struktur struktur atas dan struktur bawah jembatan serta memodelkan 3D menggunakan aplikasi Revit	Pengumpulan data <i>soil test</i> , topografi, dan hidrologi, perencanaan alinyemen horizontal dan vertikal, analisis struktur, permodelan 3D, dan perencanaan <i>time schedule</i>	Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa sebelum dilakukan permodelan 3D menggunakan Revit, dilakukan dahulu perhitungan dan analisis pembebanan secara manual. Selanjutnya, hasil analisis struktur tersebut dimodelkan secara 3D menggunakan Revit. <i>Output</i> lain dari Revit yakni <i>quantity take off</i> yang digunakan untuk menentukan RAB dan <i>time schedule</i> .
2.	2023	Galang Huda Nugraha dan Onyvia Whika Elfrida	Perencanaan Ulang Overpass Cabe Raya, Ciputat, Tangerang Selatan Berbasis BIM 4D	Mengetahui perhitungan pembebanan dan analisis struktur Overpass Cabe Raya kemudian memodelkan	Pengumpulan data sondir dan topografi, analisis struktur secara manual, permodelan dan penjawalan	Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa struktur yang dihitung pembebanannya secara manual

				3D dan penjadwalan menggunakan aplikasi Tekla	4D menggunakan Tekla	kemudian juga dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi SAP2000. Selanjutnya, dilakukan permodelan 4D sekaligus untuk mendapatkan output time schedule menggunakan aplikasi Tekla
3.	2019	Parea Rusan Rangan	Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang dengan Jembatan Beton Prategang	Mengetahui perencanaan jembatan menggunakan beton prategang serta untuk mengetahui keuntungan perencanaan jembatan menggunakan <i>girder</i> prategang	Pengumpulan data jembatan dan perhitungan analisis struktur	Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa jembatan Sungai Mappajang dapat direncanakan menggunakan <i>girder</i> beton prategang. Selain itu, penggunaan <i>girder</i> prategang dinilai menguntungkan dari segi biaya maupun pelaksanaannya.
4.	2021	Dimas Apriyanto dan Siswoyo	Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0 - 152	Mengetahui data perencanaan jembatan Jl. Raya Sememi Benowo menggunakan beton prategang	Pengumpulan data, desain awal jembatan, preliminary design, perencanaan struktur atas beserta analisis strukturnya, perencanaan struktur bawah beserta analisis	Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan berupa data perencanaan struktur atas meliputi tiang sandaran, trotoar, pelat lantai, balok induk, dan diafragma, serta kebutuhan strand. Untuk



					strukturnya, desain akhir	data struktur bawah yang direncanakan berupa abutment, pilar, dan pondasi.
5.	2020	Ari Endra Nasution , Suwarjo, dan Tidah Indriyan i	Perencanaan <i>Girder</i> Penampang I Jembatan Beton Prategang Bentang 30 Meter	Mengetahui analisis struktur jembatan untuk bentang 30 meter	Pengumpulan data perencanaan perhitungan <i>girder</i> menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan raya Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Tahun 1987	Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa perhitungan <i>girder</i> 30 meter lebih kecil daripada penampang <i>girder</i> milik Dirjen Bina Marga. Selain itu, dengan gaya prategang 14.500 kg sudah dapat menahan semua beban, namun jika asumsi kehilangan gaya partegang sebesar 15% maka gaya prategang perlu dinaikkan sebesar 250 kg.

Sumber : Penulis, 2024