

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR  
PILAR KOLOM GANDA DAN PILAR KOLOM  
TUNGGAL STUDI KASUS JEMBATAN TAWANG  
(*COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE PIER  
DUAL COLOUMN AND PIER SINGLE COLOUMN  
CASE STUDY TAWANG BRIDGE*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Anggita Zuma Artha Selian**

**19511101**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2024**

LEMBAR PENGESAHAN

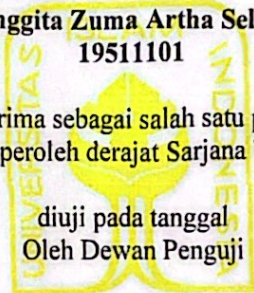
ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR  
PILAR KOLOM GANDA DAN PILAR KOLOM  
TUNGGAL STUDI KASUS JEMBATAN TAWANG  
(COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE PIER  
DUAL COLOUMN AND PIER SINGLE COLOUMN  
CASE STUDY TAWANG BRIDGE)

Disusun oleh:

Anggita Zuma Artha Selian  
19511101

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

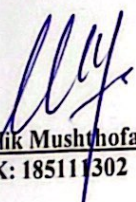
diuji pada tanggal  
Oleh Dewan Penguji

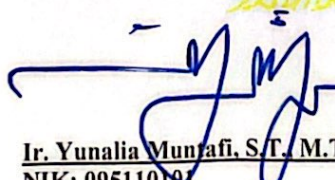


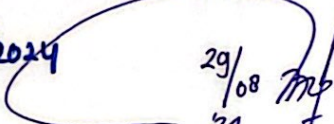
Pembimbing

Penguji I

Penguji II


 2/9/24  
Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.  
NIK: 185111302

 5/9/2024  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)  
NIK: 095110101

 29/08/24  
Jafar, S.T., M.T., MURP.  
NIK: 185111305



Mengesahkan  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

 5/9/2024  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa naskah Tugas Akhir yang saya susun sebagaimana syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain, telah saya tuliskan sumber secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila kemudian ditemukan seluruh bagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan undang – undang yang berlaku.

Yogyakarta, Rabu 07 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Anggita Zuma Artha Selian

19511101

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Pilar Kolom Ganda dan Pilar Kolom Tunggal Studi Kasus Jembatan Tawang*”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan dan tantangan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Malik Mushtofa, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terimakasih atas bimbingan, nasehat, saran, kritik, dan dukungan baik moral ataupun non – moral yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng) selaku Penguji I yang telah memberikan masukan dan saran pada penelitian Tugas Akhir ini,
3. Bapak Jafar Iskandar, S.T., M.T., MURP selaku Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran pada penelitian Tugas Akhir ini,
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng) selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah membantu berbagai administrasi yang ada,
5. Seluruh dosen dan pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah bersabar dalam memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis,
6. PT. Tri Patra Konsultan selaku Konsultan Pengawas Proyek Pembangunan Jembatan Tawang yang telah memberikan penulis kesempatan untuk Praktek Kerja Magang dan melakukan penelitian Tugas Akhir,

7. Bapak Agus Apriyanta, Bapak Iswarinta, Bapak Agus Widodo, Bapak Ardhi, Bapak Arry Irawan, Bapak Sendy selaku pembimbing lapangan penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis,
8. Kedua orang tua, Bapak Zulkifli, S.E dan Ibu Sumarini, SP.d., MM. yang telah memberikan dukungan penuh dan do'a kepada penulis,
9. Saudara – saudara penulis Adiria Yudha Selian, S.E., Meyra Ariefka Maharani, S.E., Ayu Zurida Puspitasari Selian, S.T., M.BA., Wahyudi Nur Hidayat, S.T., M.T. yang telah memberikan dukungan moral dan dukungan do'a kepada penulis,
10. Organisasi HMTS Periode 2021/2022 yang telah memberikan banyak pengalaman organisasi
11. Nabiilah Sari Anggraini yang telah memberikan semangat moral, dan selalu mendukung penulis saat melakukan penelitian Tugas Akhir ini.
12. Teman seperjuangan saya Muhammad Faizal Akbar, Hanif Fauzan Nabil, Yazidul Qomarudin, Trio Gati Putra P, M. Arkam Musyadat, M. Alwan, , Doni Indra S, Rizky W S, Dhisa Axelian, dan yang lainnya yang telah menghibur saya dan memberikan dukungan kepada saya.

Yogyakarta, Rabu 07 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Anggita Zuma Artha S

(19511101)

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR NOTASI.....	xii
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Batasan Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Studi Penelitian.....	5
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>13</b>
3.1 Tinjauan Umum.....	13
3.2 Pengertian Jembatan.....	13
3.3 Pilar Jembatan .....	14
3.3.1 Pilar Jembatan Kolom Tunggal.....	15

3.3.2	Pilar Jembatan Kolom Ganda .....	15
3.4	Pembebanan Jembatan .....	15
3.4.1	Beban Tetap .....	16
3.4.2	Beban Lalu Lintas .....	17
3.4.3	Beban Angin .....	19
3.4.4	Beban Gempa Rencana ( <i>EQ</i> ).....	20
3.4.5	Kombinasi Pembebanan.....	21
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
4.1	Tinjauan Umum.....	24
4.2	Data .....	24
4.3	Tahapan Penelitian .....	27
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS DATA .....</b>	<b>30</b>
5.1	Data Jembatan .....	30
5.2	Pilar Kolom Ganda.....	31
5.2.1	Data Struktur Pilar Kolom Ganda.....	31
5.2.2	Analisis Beban Kerja Pilar Kolom Ganda .....	33
5.2.3	Analisis Struktur Pilar Kolom Ganda .....	56
5.3	Pilar Kolom Tunggal.....	65
5.4	Hasil Pembahasan.....	89
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>94</b>
<b>6.1</b>	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>94</b>
<b>6.2</b>	<b>Saran.....</b>	<b>94</b>
	DAFTAR PUSTAKA .....	96

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Studi Sebelumnya dengan Studi Tugas Akhir ini.....	10
Tabel 3.1 Berat Isi untuk Beban Mati.....	17
Tabel 3.2 Kombinasi Pembebanan Jembatan.....	23
Tabel 5.1 Perhitungan Berat Sendiri Struktur Atas.....	34
Tabel 5.2 Rekapitulasi Perhitungan Berat Kepala Pilar Kolom Ganda.....	36
Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Berat dan Momen <i>Pile Cap</i> .....	39
Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Akibat Berat Sendiri ( $P_{MS}$ ).....	39
Tabel 5.5 Beban Mati Tambahan pada Pilar.....	40
Tabel 5.6 Nilai FPGa dan FA.....	49
Tabel 5.7 Nilai FV.....	49
Tabel 5.8 Faktor Modifikasi Respon.....	50
Tabel 5.9 Distribusi Beban Gempa Arah X Pilar Ganda.....	50
Tabel 5.10 Distribusi Beban Gempa Arah Y Pilar Ganda .....	51
Tabel 5.11 Rekapitulasi Beban Kerja pada Pilar Ganda.....	51
Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Kuat I.....	52
Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Kuat II.....	52
Tabel 5.14 Kombinasi Pembebanan Kuat III.....	53
Tabel 5.15 Kombinasi Pembebanan Kuat IV.....	54
Tabel 5.16 Kombinasi Pembebanan Ekstrim I.....	55
Tabel 5.17 Kombinasi Pembebanan Layan I.....	56
Tabel 5.18 Kombinasi Pembebanan Layan II.....	57
Tabel 5.19 Kombinasi Pembebanan Layan III.....	57
Tabel 5.20 Kombinasi Pembebanan Layan IV.....	58
Tabel 5.21 Rekapitulasi Pembebanan Ultimit Pilar Ganda.....	58
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan Aksial dan Lentur Pilar Ganda.....	62
Tabel 5.23 Rekapitulasi Perhitungan Berat Kepala Pilar Tunggal.....	67
Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Berat Kolom Pilar Tunggal.....	68

Tabel 5.25 Rekapitulasi Perhitungan Berat <i>Pile Cap</i> Pilar Tunggal.....	68
Tabel 5.26 Rekapitulasi Perhitungan Berat Sendiri Pilar Tunggal.....	68
Tabel 5.27 Distribusi Beban Gempa Arah Memanjang (X) Pilar Tunggal.....	72
Tabel 5.28 Distribusi Beban Gempa Arah Melintang (Y) Pilar Tunggal.....	72
Tabel 5.29 Rekapitulasi Beban Kerja Pilar Tunggal.....	73
Tabel 5.30 Kombinasi Pembebanan Kuat I.....	74
Tabel 5.31 Kombinasi Pembebanan Kuat II.....	74
Tabel 5.32 Kombinasi Pembebanan Kuat III.....	75
Tabel 5.33 Kombinasi Pembebanan Kuat IV.....	75
Tabel 5.34 Kombinasi Pembebanan Ekstrim I.....	76
Tabel 5.35 Kombinasi Pembebanan Layan I.....	76
Tabel 5.36 Kombinasi Pembebanan Layan II.....	77
Tabel 5.37 Kombinasi Pembebanan Layan III.....	77
Tabel 5.38 Kombinasi Pembebanan Layan IV.....	78
Tabel 5.39 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan Ultimit Pilar Tunggal.....	78
Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan Aksial dan Lentur Pilar Tunggal.....	85

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jenis – Jenis Pilar Jembatan.....	1
Gambar 3.1 Beban Lajur “D”.....	18
Gambar 3.2 Pembebanan Truk “T” 500 kN.....	19
Gambar 3.3 Peta Gempa Indonesia Periode Ulang 75 Tahun.....	21
Gambar 3.4 Koefisien Dasar Plastis untuk Analisis Data.....	22
Gambar 3.5 Beban yang Bekerja pada Pilar Jembatan.....	24
Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Jembatan Tawang.....	26
Gambar 4.2 Tampak Melintang Pilar Jembatan Tawang Eksisting.....	27
Gambar 4.3 Detail Pilar dan Lebar Perkerasan Jembatan Tawang.....	28
Gambar 4.4 Bagan Alir ( <i>Flowchart</i> ) Perkejaan Tugas Akhir ini.....	30
Gambar 5.1 Tampak Melintang Pilar Eksisting.....	31
Gambar 5.2 Keterangan Notasi Struktur Pilar.....	32
Gambar 5.3 Detail Struktur Atas Jembatan Tawang.....	34
Gambar 5.4 Kode Bangun Kepala Pilar Kolom Ganda.....	35
Gambar 5.5 Kode Bangun Kolom Pilar Ganda.....	36
Gambar 5.6 Kode Bangun <i>Pilecap</i> Pilar Kolom Ganda.....	38
Gambar 5.7 Beban <i>Uniformly Distributed Load</i> (UDL).....	41
Gambar 5.8 Grafik Hubungan antar Beban Merata Pejalan Kaki dan Luasan Trotoar.....	42
Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Gaya Rem dan Panjang Jembatan.....	45
Gambar 5.10 Bidang Angin pada Kendaraan.....	47
Gambar 5.11 Hubungan antara Waktu Getar Struktur dan Koefisien Geser Dasar.....	53
Gambar 5.12 Momen Penahan Guling Pilar Jembatan Arah Memanjang.....	54
Gambar 5.13 Momen Penahan Guling Pilar Jembatan Arah Melintang.....	67
Gambar 5.14 Diagram Interaksi Pilar Kolom Ganda.....	70
Gambar 5.15 Keterangan Notasi Struktur Pilar Kolom Tunggal.....	71
Gambar 5.16 Kode Bangun Kepala Pilar Kolom Tunggal.....	76
Gambar 5.17 Notasi Beban Angin pada Pilar Arah Memanjang Jembatan.....	77

Gambar 5.18 Notasi Beban Gempa Arah Memanjang pada Pilar Kolom Tunggal.....	82
Gambar 5.19 Notasi Stabilitas Guling Pilar Kolom Tunggal Arah Memanjang Jembatan.....	83
Gambar 5.20 Notasi Stabilitas Guling Pilar Kolom Tunggal Arah Melintang Jembatan.....	95
Gambar 5.21 Diagram Interaksi Pilar Kolom Tunggal.....	98
Gambar 5.22 Perbandingan Diagram Interaksi Kolom Pilar.....	99
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Kekuatan Geser Kolom Pilar.....	100

## DAFTAR NOTASI

$f^c$	= Kuat tekan beton (MPa)
$f_y$	= Kuat leleh baja (MPa)
$w$	= Berat volume ( $\text{kN/m}^3$ )
$\phi$	= Sudut gesek
$C$	= Kohesi
$b$	= Lebar (m)
$t$	= Tinggi (m)
$L$	= Panjang (m)
$P_{MS}$	= Berat sendiri struktur (kN)
$P_{MA}$	= Beban mati tambahan (kN)
$A$	= Luas bidang ( $\text{m}^2$ )
$A_b$	= Luas bagian struktur ( $\text{m}^2$ )
$g$	= Percepatan gravitasi
$T_x$	= Gaya akibat beban arah memanjang jembatan (kN)
$T_y$	= Gaya akibat beban arah melintang jembatan (kN)
$M_x$	= Momen akibat beban arah memanjang jembatan (kNm)
$M_y$	= Momen akibat beban arah melintang jembatan (kNm)
$L_c$	= Tinggi kolom pilar (m)
$A_c$	= Luas penampang kolom pilar ( $\text{m}^2$ )
$d'$	= jarak tulangan terhadap sisi luar beton (mm)
$\rho_s$	= Daktilitas kolom

## ABSTRAK

Pilar jembatan adalah elemen struktural dari jembatan yang berfungsi sebagai penyangga atau pendukung utama untuk menopang beban jembatan. Pilar jembatan memiliki berbagai jenis antara lain, pilar tunggal, pilar portal, dan pilar majemuk. Pilar majemuk adalah pilar dengan kolom lebih dari satu. Analisis ini melakukan perbandingan kinerja struktur antara pilar ganda dengan pilar tunggal. Perbandingan tersebut ditinjau berdasarkan pengaruh P-delta, pengaruh *buckling*, diagram interaksi kolom, nilai geser beton, dan daktilitas kolom pilar. Pilar ganda menggunakan dimensi dan ukuran pilar eksisting dengan diameter kolom 2,1 m dan tinggi kolom 5,5 m. Kemudian, pilar tersebut dibandingkan dengan pilar tunggal dengan diameter 2,97 m dan tinggi 5,5 m. Perbandingan ini menggunakan SNI 1725-2016 tentang Pembebanan pada Jembatan, SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa, dan RSNI T12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Hasil analisis menunjukkan pilar ganda lebih langsing, pada kondisi kombinasi layan I, layan II, dan layan IV pilar tunggal memiliki pengaruh P-delta lebih besar, nilai interaksi P-M pada pilar ganda lebih besar pada tekan murni, sedangkan pada pilar tunggal lebih besar pada kondisi keruntuhan tarik, kondisi seimbang dan kondisi keruntuhan tekan. Nilai geser beton pilar ganda dan pilar tunggal didapatkan masing – masing 7622,107 kN dan 7748,685 kN, dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pilar tunggal lebih besar 1,64% dalam nilai geser beton. Perhitungan daktilitas pilar ganda dan pilar tunggal masing – masing didapatkan nilai  $\rho_s$  sebesar 0,00663 dan 0,00457. Analisis yang dilakukan juga memperhitungkan pengaruh P-delta dan kelangsingan. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa pilar jembatan tunggal memiliki kelebihan daripada pilar ganda pada aspek diagram interaksi P-M dan nilai geser beton.

**Kata kunci :** Pilar Jembatan, Diagram Interaksi, Kuat Geser, Daktilitas.

## ABSTRACT

*Bridge piers is a bridge structural element that functions as a support or main support in supporting the bridge load. Bridge pillars have various types, including single pillars, portal pillars and compound pillars. A compound pole is a pole that has more than one column. This analysis compares the structural performance between double piers and single pier. This comparison is reviewed based on the P-delta effect, buckling effect, column interaction diagram, concrete shear value, and pillar column ductility. The double pole uses the dimensions and size of the existing pole with a column diameter of 2.1 m and a column height of 5.5 m. Then the pole was compared with a single pole with a diameter of 2.97 m and a height of 5.5 m. This comparison uses SNI 1725-2016 concerning Loading on Bridges, SNI 2833-2016 concerning Bridge Planning against Earthquake Loads, and RSNI T12-2004 concerning Planning of Bridge Concrete Structures. The analysis results show that the double pillar is slimmer, in the combination conditions of service I, service II, and service IV the single pillar has a greater P-delta influence, the P-M interaction value on the double pillar is greater in pure compression, while the single pillar is greater in tensile failure conditions, equilibrium conditions, and compressive failure conditions. The shear values of double pillar and single pillar concrete were obtained respectively at 7622.107 kN and 7748.685 kN. From these results it can be concluded that single pillars have a greater concrete shear value, namely 1.64%. Calculating the ductility of double pillars and single pillars, the  $\rho_s$  values are 0.00663 and 0.00457 respectively. The analysis carried out also took into account the influence of P-delta and slenderness. From the analysis results it can be concluded that single bridge pillars have advantages over double pillars in the aspects of the P-M interaction diagram and concrete shear value.*

**Keywords :** *Bridge Piers, Coloumn Piers, Interaction Diagram, Shear Strength, Ductility.*

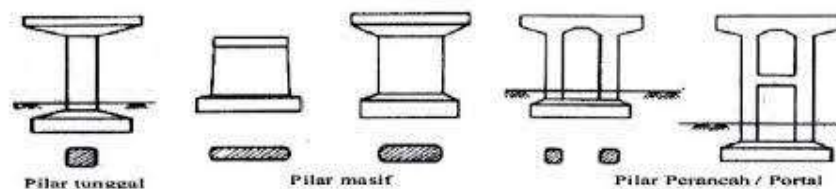
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pilar jembatan adalah elemen struktural dari sebuah jembatan yang berfungsi sebagai penyangga atau pendukung utama untuk menopang beban jembatan. Pilar jembatan biasanya terdiri dari beton atau baja dan memiliki berbagai bentuk dan ukuran tergantung pada desain jembatan. Pilar jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu pilar dinding (*wall pier*), pilar tunggal dan pilar ganda (Bina Marga, 2021).

Pilar tunggal adalah pilar yang terdiri dari satu tiang tunggal dan umumnya digunakan pada jembatan bentang pendek. Sedangkan pilar ganda terdiri dari dua atau lebih tiang yang terhubung oleh balok penyeimbang dan umumnya digunakan pada jembatan dengan bentang panjang untuk menopang beban yang lebih berat. Pilar jembatan juga dapat dikategorikan berdasarkan bentuk tiangnya, seperti pilar segi empat, pilar tabung, pilar berbentuk V, dan sebagainya. Pilihan bentuk pilar jembatan biasanya ditentukan oleh faktor desain dan kebutuhan struktural jembatan tersebut (Lubis, 2022).



**Gambar 1.1 Jenis-Jenis Pilar Jembatan**  
(Sumber: SiMANTU PU, 2010)

Kapasitas kolom beton pilar jembatan sangat berperan penting dalam menahan gaya-gaya yang bekerja pada pilar jembatan. Kolom merupakan suatu elemen struktural yang memiliki fungsi untuk menahan beban aksial dengan atau tanpa momen lentur. Untuk menentukan kapasitas pilar dalam menahan beban aksial dengan atau tanpa momen lentur dapat dihitung menggunakan diagram interaksi Mn-Pn. Pada diagram interaksi terdapat 3 kondisi keruntuhan, yaitu kondisi keruntuhan tekan,

kondisi seimbang, dan kondisi keruntuhan tarik. Kondisi keruntuhan tekan adalah apabila gaya tekan melebihi kondisi seimbang, kondisi seimbang adalah ketika gaya tekan seimbang bekerja pada penampang yang akan menghasilkan regangan sebesar 0,003, kondisi keruntuhan tarik adalah apabila penampang kolom diberi beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar. Selain itu, kolom juga harus bersifat daktail yaitu kolom harus mampu menahan simpangan pasca elastik yang besar secara berulang-ulang dan bolak-balik akibat beban gempa. Maka dari itu, kolom adalah elemen struktural yang menjadi kunci dalam kekuatan bangunan beton (Subrianto dkk., 2020).

Pilar jembatan kolom tunggal, sesuai dengan namanya pilar jembatan tersebut hanya terdapat satu buah kolom untuk menahan beban dan gaya. Beban dan gaya yang bekerja pada jembatan disalurkan langsung melalui sebuah kolom pilar, kemudian kolom pilar tersebut akan menyalurkan beban ke *pile cap* dan pondasi akan meneruskan beban ke tanah. Beban dan gaya yang bekerja tersebut muncul akibat aktivitas lalu lintas yang berada di struktur atas jembatan dan aktivitas konstruksi yang sedang berlangsung pada saat pembangunan jembatan. Gaya-gaya yang didukung oleh pilar kolom tunggal sama dengan gaya yang bekerja pada pilar jembatan. (Bina Marga, 2021).

Pilar jembatan ganda atau pilar jembatan majemuk adalah pilar jembatan yang memiliki dua buah kolom atau lebih untuk menahan beban dan gaya yang bekerja pada jembatan. Kolom pilar tersebut dihubungkan oleh balok penghubung yang akan menyalurkan beban dan gaya ke setiap kolom pilar. Gaya dan beban yang bekerja pada kolom pilar akan ditahan dengan kapasitas kolom berupa kekuatan lentur dan kekuatan geser. Gaya-gaya yang bekerja pada pilar kolom majemuk sama dengan pilar pada umumnya. (Bina marga, 2021).

Studi ini menggunakan Jembatan Tawang sebagai studi kasus. Jembatan tersebut terletak di Dusun Bobung, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul. Jembatan tersebut memiliki bentang total 80 m. Jembatan ini dibangun tidak diatas aliran sungai, tetapi jembatan ini dibangun diatas lembah bukit dengan permukaan tanah kering. Jembatan Tawang menggunakan struktur atas berupa balok *girder* berkonfigurasi PC I dan satu buah pilar kolom ganda dengan tinggi 11,2 m

berpenampang bulat. Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan perbandingan antara pilar ganda dan pilar tunggal, dimana tinggi pilar dan beban jembatan disamakan dengan jembatan eksisting. Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis pilar jembatan mana yang lebih efisien kinerja strukturnya, yaitu kekuatan aksial dan lentur, kekuatan geser, dan daktilitas dengan melakukan kontrol pengaruh P-delta, dan kontrol pengaruh *buckling* pada saat analisisnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan pengaruh P-delta pada pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal?
2. Bagaimana perbandingan perilaku *buckling* pada pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal?
3. Bagaimana perbandingan diagram interaksi pada pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal?
4. Bagaimana perbandingan gaya geser ultimit pada pilar kolom ganda dan pilar kolom tunggal?
5. Bagaimana perbandingan daktilitas pada pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui:

1. Mengidentifikasi perbandingan pengaruh P-delta pada pilar kolom tunggal dengan pilar kolom ganda
2. Mengidentifikasi perbandingan perilaku *buckling* pada pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal.
3. Mengidentifikasi perbandingan diagram interaksi kolom pilar kolom tunggal dengan pilar kolom ganda.
4. Mengidentifikasi perbandingan gaya geser ultimit pada pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal.

5. Mengidentifikasi perbandingan daktilitas pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal.

#### 1.4 Manfaat

Manfaat dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi penulis, dapat menambah pemahaman dan wawasan tentang perencanaan pilar jembatan sesuai dengan kebutuhan beban jembatan.
2. Bagi pembaca secara umum dan mahasiswa, dapat menjadi bahan referensi mengenai perencanaan pilar jembatan jika terdapat studi lebih lanjut terkait topik pilar jembatan.
3. Bagi konsultan perencana, dapat menjadi referensi dalam menentukan jenis pilar yang akan digunakan pada perencanaan jembatan.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada studi ini dibuat agar dapat memberikan gambaran tentang batas-batas studi yang akan dan yang tidak akan dilakukan. Berikut adalah poin-poin dari batasan masalah dalam studi ini.

1. Studi menggunakan Jembatan Tawang sebagai studi kasus. Struktur atas berupa balok menerus berjenis PC-I *girder* dengan bentang 80 m dibagi menjadi 2 segmen dengan bentang per segmental 40 m. Tinggi pilar dari muka tanah 11,2 m.
2. Material pilar Jembatan Tawang menggunakan beton bertulang.
3. Peraturan yang digunakan dalam pembebanan adalah SNI-1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.
4. Peraturan untuk analisis beban gempa menggunakan SNI-2833-2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
5. Peraturan untuk analisis menggunakan RSNI-T12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
6. Analisis yang dilakukan hanya pada pilar jembatan. Tidak termasuk *abutment*, plat lantai jembatan, gelagar (*girder*), dan rancangan anggaran biaya.
7. Program perhitungan menggunakan Microsoft Excel

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Studi Penelitian**

Analisis perhitungan pada tugas akhir ini mengacu pada perencanaan dan analisis pengaruh gempa terhadap pilar jembatan yang sudah ada. Rangkuman penelitian-penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Penelitian Ockto, Zulfikar, dan Alex (2015)

Peneliti melakukan penelitian tentang Perbandingan Kinerja Pilar Jembatan menggunakan Metode *Direct Displacement Based Design* dan *Capacity Spectrum Method*. Pada penelitian ini direncanakan menggunakan pilar kolom ganda dengan penampang persegi dan mempunyai tinggi total pilar 12,5 m. Pilar jembatan yang direncanakan pada penelitian ini diasumsikan berada di Pekanbaru. Data-data yang digunakan pada penelitian ini diasumsikan menggunakan mutu beton  $f'c$  30 MPa, mutu baja  $f_y$  420 MPa, diameter tulangan 25 mm, tebal selimut beton 50 mm, pilar didukung dengan *pile cap* dibagian bawah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kinerja pilar jembatan dengan menggunakan metode *Direct Displacement Based Method* dan dibandingkan dengan *Capacity Spectrum Method*. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI-2833-2016, RSNI T-02-2005, dan AASHTO 2012.

2. Penelitian Ade Andiani Lubis (2022)

Penelitian ini membahas tentang pengaruh gempa pada penggunaan pilar jembatan. Pada penelitian ini jembatan adalah jembatan untuk kereta api. Peneliti melakukan perbandingan 3 tipe kolom pilar terhadap pengaruh gempa, 3 jenis kolom pilar yang digunakan adalah pilar kolom ganda berpenampang bulat, pilar kolom ganda berpenampang bulat, dan pilar tembok (*wall pier*). Pada penelitian ini melakukan permodelan pilar jembatan dengan *software*. Data-data pilar yang digunakan dalam penelitian ini adalah pilar terletak di Tebing Tinggi, Sumatera Utara, tinggi pilar 5,2 m, tebal pilar 1,2 m, lebar pilar 3 m. Peneliti menggunakan peraturan SNI 1725-2016, PM nomor 6 Tahun 2012, dan SNI 2833-2016 dalam melakukan penelitian. Hasil akhir dari penelitian ini adalah membandingkan jenis

pilar manakah yang lebih efektif dari segi nilai kekakuan, gaya gempa, lendutan, dan *displacement*.

3. Yufrizal, Ade, Daniel (2015)

Peneliti melakukan penelitian tentang Evaluasi Simpangan Horizontal Pilar Jembatan Beton Bertulang. Pada penelitian ini menggunakan 3 permodelan perletakan pilar yaitu perletakan jepit, sendi, dan rigid pada bagian pondasi. Properti material pilar yang digunakan pada penelitian ini adalah mutu beton K250, modulus elastisitas beton 21409,519 MPa, *ratio poisson* beton 0,2, mutu baja  $f_y$  400 MPa, modulus elastis baja 200.000 MPa. Penelitian ini menggunakan metode koefisien perpindahan (FEMA 365). Peraturan yang digunakan adalah RSNI 1-02-2005, SNI 03-1726-2002, dan SNI 2833-2008. Hasil akhir dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai simpangan daktilitas terkecil dan terbesar dari 3 permodelan yang dilakukan oleh peneliti.

4. Hamdeni, Jafri, Oscar (2015)

Peneliti melakukan penelitian tentang Evaluasi Kinerja Struktur Pilar Jembatan Purus pada saat Gempa Kuat dengan Metode Elemen Hingga Non Linier Tiga Dimensi. Studi kasus yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan Jembatan Purus yang berada di wilayah Kota Padang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengetahui pengaruh gempa kuat pada pilar Jembatan Purus. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis *pushover*. Model kolom pilar yang dipakai untuk studi kasus adalah model kolom pilar tembok (*wallpier*) dengan tinggi 5 m. Hasil akhir dari penelitian ini adalah mengetahui apakah pilar Jembatan Purus mengalami kerusakan berat akibat gempa kuat atau hanya retakan awal saja.

5. Alireza Rahai (2004)

Peneliti melakukan penelitian tentang *Effect of Earthquake Vertical Motion on RC Bridge Piers* (efek gempa gerakan gempa vertikal pada pilar jembatan). Pada penelitian ini pilar jembatan diasumsikan menggunakan kolom pilar majemuk dengan penampang bulat. Properti material yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan mutu beton  $f'_c$  30 MPa dengan modulus elastisitas 27000 MPa, dan mutu baja  $f_y$  300 MPa dengan modulus elastisitas 210.000 MPa. Hasil

akhir dari penelitian ini adalah mengetahui gerakan vertikal gempa yang menginduksi gaya aksial yang berfluktuasi pada pilar jembatan.

6. Dwi Galuh Ayu (2021)

Peneliti melakukan penelitian tentang Analisis Pilar Beton Bertulang dengan Pembebanan Gempa Berdasarkan Peta Gempa SNI 1726-2019 dan Peta Gempa Indonesia 2017 dengan SAP2000. Peneliti menggunakan studi kasus Jembatan Mungkung yang mempunyai 3 buah pilar beton bertulang. Jembatan tersebut dibangun dengan menggunakan peraturan yang lama yaitu SNI 1726-2012. Karena peraturan sudah diperbarui menjadi SNI 1726-2019 maka peneliti melakukan analisis ulang menggunakan peraturan yang terbaru. Analisis yang dilakukan adalah analisis respons spektrum menggunakan 2 acuan terbaru yaitu peta gempa SNI 1726-2019 dan peta gempa Indonesia 2017 dengan menggunakan *software* SAP2000 untuk permodelannya. Hasil akhir dari penelitian adalah mengetahui apakah pilar jembatan tersebut masih aman menggunakan peraturan yang lama atau harus di desain ulang menggunakan peraturan terbaru.

7. Zasly, Eka (2020)

Peneliti melakukan penelitian tentang Kinerja Struktur Pilar Jembatan Steel Box Girder Akibat Gempa dengan Pendekatan Metode *Pushover* Analisis. Penelitian ini menggunakan Jembatan Tol Layang Jakarta-Cikampek sebagai studi kasus. Jembatan Tol Layang Jakarta-Cikampek dibangun menggunakan konstruksi baja dengan pilar jembatan menggunakan beton bertulang. Penelitian ini mengacu pada standar ATC40 dan FEMA 356. Permodelan dan analisis struktur menggunakan *software* SAP2000 v.14. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 1725-2016, peta *hazard* 2017, dan SNI 2833-2016. Hasil akhir dari penelitian ini adalah mengetahui apakah syarat keamanan jembatan terhadap gempa rencana dan umur 75 tahun bisa tercapai, serta dapat digunakan untuk mitigasi struktur jembatan terhadap bencana gempa bumi yang sewaktu-waktu dapat terjadi.

8. Habibi, Arief (2020)

Peneliti melakukan penelitian tentang Perencanaan Struktur Pilar (P1) Jembatan Beton Bertulang Sungai Pepe Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Peneliti melakukan perencanaan pilar jembatan mengacu pada peraturan RSNI T-02-2005,

SNI 1725-2019, dan SNI 2833-2016. Data pilar yang akan direncanakan oleh peneliti adalah tinggi pilar 11,6 m, lebar pilar 9,2 m, dan mutu beton  $f'c$  30 MPa. Pilar direncanakan dengan menggunakan beban gempa sesuai dengan RSNI T-02-2005. Hasil akhir dari penelitian ini adalah mendapatkan desain pilar sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan peneliti.

9. Astrid (2022)

Peneliti melakukan penelitian tentang “Evaluasi Kapasitas Pilar pada Jembatan Integral Terhadap Pengaruh Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa Vertikal”. Penelitian ini menggunakan studi kasus pada jembatan integral di Proyek Pembangunan Jalan Tol Serpong – Balaraja seksi IA, yang mempunyai dimensi pilar berupa dinding tengah berukuran tipis. Peneliti melakukan evaluasi dengan analisis kapasitas tulangan yang terpasang menggunakan *software* SAP2000 dan manual. Hasil akhir dari penelitian ini adalah kapasitas pilar dengan tebal 1,025 m masih kuat dan kapasitas tulangan longitudinal D32-150 masih memadai dalam melayani beban lalu lintas dan beban gempa vertikal, sehingga pilar tidak perlu perkuatan.

10. Farah, Riyansyah, Aris, dan Erwin (2023)

Peneliti melakukan penelitian tentang “Evaluasi Kinerja Pilar Jembatan Lemah Ireng II berdasarkan *Performance Based Seismic Design*”. Peneliti menggunakan studi kasus Jembatan Lemah Ireng II yang merupakan jembatan kantilever terletak di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Karena adanya pembaharuan peraturan pembebanan jembatan pada tahun 2016 yang terdiri dari SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016 untuk beban gempa. Perubahan peraturan tersebut mengakibatkan peningkatan pada nilai spectra permukaan tanah dalam waktu singkat ( $Sds, T=0,2$  detik). Peneliti menggunakan metode *Non-Linear Time History Analysis* (NLTHA) guna untuk mengetahui tingkat kinerja pilar jembatan terhadap regulasi gempa yang baru. Hasil dari analisis yang dilakukan oleh Peneliti adalah struktur hanya mengalami sedikit kerusakan setelah terjadi gempa, sehingga tidak diperlukan perbaikan, dan jembatan masih bisa digunakan.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat dibandingkan persamaan dan perbedaan dibandingkan studi tugas akhir ini. Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Perbandingan Studi Sebelumnya dengan Studi Tugas Akhir Ini**

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
Ockto, Dkk	2015	Perbandingan Kinerja Pilar Jembatan menggunakan Metode <i>Dirrect Displacement Based Design</i> dan <i>Capacity Spectrum Method</i>	Untuk mengkaji kinerja pilar jembatan berdasarkan kedua metode tersebut dan dibandingkan hasilnya	<i>Dirrect Displacement Based Design</i> dan <i>Capacity Spectrum Method</i>	Hasil perbandingan kinerja dari kedua metode tersebut adalah metode <i>Dirrect Displacement Based Design</i> memiliki kinerja yang lebih bagus daripada <i>Capacity Spectrum Method</i> .
Yufrizal, Dkk	2015	Evaluasi Simpangan Horizontal Pilar Jembatan Beton bertulang	Mendapatkan nilai simpangan daktilitas terkecil dan terbesar dari 3 permodelan sendi (jepit, rigid, dan sendi)	Koefisien perpindahan (FEMA 365)	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai simpangan daktilitas terkecil terdapat pada permodelan rigid dan nilai terbesar pada permodelan sendi.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Studi Sebelumnya dengan Studi Tugas Akhir Ini

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
Hamdeni, Dkk	2015	Evaluasi Kinerja Struktur Pilar Jembatan Purus pada Saat Gempa Kuat dengan Metode Elemen Hingga non Linier 3D	Mengetahui apakah Jembata Purus mengalami kerusakan pada saat terjadi gempa kuat	Metode elemen hingga non linier 3D dan analisis <i>push over</i>	Jembatan Purus hanya mengalami keretakan awal pada saat terjadi gempa kuat.
Zasly, Dkk	2020	Kinerja Struktur Pilar Jembatan <i>Steel Box Girder</i> akibat Gempa dengan Metode Pendekatan <i>Pushover Analysis</i>	Mengetahui apakah syarat keamanan jembatan tergapad gempa rencana dan umur 75 tahun dapat tercapai	<i>Pushover analysis</i> , ATC 40, dan FEMA 365	Syarat keamanan jembatan terhadap gempa rencana dan umur 75 tahun tercapai.
Habibi, Dkk	2020	Perencanaan Struktur Pilar (P1) Jembatan Beton Bertulang Sungai Pepe	Merencanakan pilar Jembatan Sungai Pepe dengan baik dan dapat menahan beban gempa rencana	SNI 1725-2016 dan <i>limit states design method</i>	Terencananya pilar Jembatan Sungai Pepe dengan baik.
Dwi Galuh A	2021	Analisis Pilar Jembatan Beton Bertulang dengan Pembebanan Gempa berdasarkan Peta Gempa SNI 1726-2019	Menganalisis pilar jembatan apakah perlu dilakukan desain ulang dengan menggunakan peraturan terbaru	Analisis respons spektrum	Pilar jembatan tidak perlu dilakukan desain ulang karena dengan peraturan yang lama masih dapat menahan beban gempa.
Ade Andiani L	2022	Pengaruh Gempa pada Penggunaan Pilar Jembatan	Mengetahui 3 macam kolom pilar (tunggal, ganda, dan tembok) manakah yang lebih efisien efektif dari segi nilai kekakuan, gaya gempa, dan lendutan	<i>Dirrect Displacement Based Design</i>	Kolom pilar yang lebih efisien dari segi nilai kekakuan, gaya gempa, dan lendutan adalah kolom pilar tembok.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Studi Sebelumnya dengan Studi Tugas Akhir Ini

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
Astrid	2022	Evaluasi Kapasitas Pilar pada Jembatan Integral Terhadap Pengaruh Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa Vertikal	Mengetahui apakah kapasitas pilar dalam menerima beban lalu lintas dan beban gempa vertikal masih memenuhi	<i>Capacity Spectrum Method</i> , dan SNI 1725-2016	Kapasitas pilar dengan tebal 1,025 m masih kuat dan kapasitas tulangan longitudinal D32-150 masih memadai dalam melayani beban lalu lintas dan beban gempa vertikal, sehingga tidak perlu perkuatan.
Anggita Zuma	2023	Analisis Perbandingan Kolom Pilar Jembatan Tunggal dengan Kolom Pilar Jembatan Ganda Studi Kasus Jembatan Tawang	Mengetahui perbandingan kinerja kolom pilar jembatan tunggal dengan kolom pilar jembatan ganda dari aspek <i>strength</i> dan <i>serviceability</i>	Metode rencana batas ( <i>Limit-States Design Methods</i> )	Melakukan perbandingan kapasitas struktur pilar kolom ganda dan pilar kolom tunggal dengan menggunakan peraturan RSNI-T12-2004, SNI 1725-2016, dan SNI 2833-2016

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tinjauan Umum**

Pada bab ini berisikan teori-teori yang mendukung penulisan tugas akhir yang meliputi tentang perencanaan struktur jembatan dengan menggunakan pilar. Teori-teori ini dikutip dari buku, jurnal, dan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

#### **3.2 Pengertian Jembatan**

Jembatan adalah suatu struktur bangunan yang digunakan untuk menghubungkan dua titik atau lebih yang terpisah oleh rintangan seperti sungai, lembah, jurang, atau jalan. Jembatan adalah jenis bangunan yang tidak dapat dimodifikasi secara mudah, dan biaya yang diperlukan untuk pembangunan jembatan relatif mahal. Jembatan dibangun dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar. Minimum umur penggunaan jembatan adalah 50 tahun, ini berarti jembatan memerlukan pemeliharaan dengan baik.

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2000) jembatan menurut bentuk dan tipenya dapat dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Jembatan lengkung batu,
2. Jembatan rangka,
3. Jembatan gantung,
4. Jembatan beton, dan
5. Jembatan hauans.

Komponen struktur jembatan dibagi menjadi 2 bagian yaitu struktur jembatan atas (*upper structure*) dan struktur jembatan bawah (*sub structure*). Setiap komponen struktur pada jembatan memiliki fungsi masing-masing seperti penjelasan berikut ini.

##### **1. Struktur Atas (*Upper Structure*)**

Struktur atas jembatan (*upper structure*) adalah komponen struktur jembatan yang dirancang untuk meneruskan beban yang diterima oleh lantai jembatan hingga ke

perletakan, yang dimana lantai jembatan adalah bagian jembatan yang langsung menerima beban lalu lintas dan pejalan kaki. Bagian-bagian dari struktur atas jembatan (*upper structure*) adalah sebagai berikut.

- a. Dinding sandaran (*railing*),
- b. Trotoar jembatan,
- c. Plat lantai jembatan,
- d. Gelagar (*girder*),
- e. Diafragma, dan
- f. Tumpuan (*bearing*).

## 2. Struktur Bawah (*Sub structure*)

Struktur bagian bawah jembatan (*sub structure*) adalah komponen yang mendukung beban yang terjadi pada struktur atas jembatan (*upper structure*), dan akan meneruskan beban tersebut ke tanah. Bagian-bagian dari struktur bawah jembatan (*sub structure*) sebagai berikut.

- a. Pondasi (*pile*),
- b. Pilar (*pier*), dan
- c. Kepala jembatan (*abutment*).

### 3.3 Pilar Jembatan

Pilar biasanya digunakan sebagai istilah umum untuk segala jenis struktur menengah yang terletak diantara struktur horizontal dan pondasi. Dari sudut pandang struktural, kolom adalah bagian yang menahan gaya lateral terutama oleh aksi lentur, sedangkan pilar adalah bagian yang menahan gaya lateral yang didukung oleh mekanisme geser. Pilar yang terdiri dari beberapa kolom sering disebut dengan “*Bent*” (Wei Fah Chen, 2014)

Menurut PBBJ (2007), pilar adalah suatu konstruksi jembatan yang didesain untuk meneruskan beban dari bangunan atas, baik beban mati, beban hidup, dan beban sendiri dari pilar ke tanah pondasi. Dari segi jenis, pilar dibuat dari beton bertulang minimal mutu sedang. Pilar jembatan memiliki beberapa bagian struktur yang memiliki fungsinya masing-masing. Bagian-bagian dari pilar jembatan adalah sebagai berikut.

### 1. Kepala Pilar (*Pier Head*)

Kepala pilar (*pier head*) memiliki fungsi sebagai pemikul ujung perletakan jembatan, antar gelagar (*girder*) jembatan dan *bearing pad* atau *elastomer* sebagai bantalan *girder* ke kepala pilar (*pier head*).

### 2. Badan Pilar

Badan pilar adalah kolom atau dinding pada bagian pilar jembatan yang memiliki fungsi untuk meneruskan beban dari kepala pilar (*pier head*) ke pondasi tanah.

#### 3.3.1 Pilar Jembatan Tunggal

Pilar jembatan kolom tunggal adalah jenis pilar yang terdiri dari satu kolom yang berfungsi sebagai penyangga utama jembatan. Penampang pada pilar kolom tunggal ini umumnya berbentuk silinder atau persegi panjang dan terbuat dari beton atau baja, tergantung pada desain dan kebutuhan beban yang akan ditopang oleh pilar jembatan. Pilar jembatan kolom tunggal biasanya digunakan pada jembatan dengan bentang pendek atau sedang.

#### 3.3.2 Pilar Jembatan Ganda

Pilar jembatan kolom ganda adalah jenis pilar jembatan yang terdiri dari dua atau lebih kolom yang terhubung oleh balok penyeimbang (*cross beam*). Pilar jembatan kolom ganda umumnya digunakan pada jembatan yang memiliki bentang panjang dan beban yang lebih berat. Pilar jembatan kolom ganda dapat disusun dengan berbagai konfigurasi tiang, tergantung pada kebutuhan struktural jembatan. Misalnya pilar jembatan kolom ganda dengan konfigurasi “H” yang miliki dua kolom vertikal yang terhubung oleh balok horizontal ditengah kolomnya dan balok penyeimbang (*cross beam*) pada bagian atas dan bawah kolom.

### 3.4 Pembebanan Jembatan

Peraturan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah Peraturan Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725-2016, Standar Perencanaan Gempa Untuk Jembatan SNI 2833-2016, dan RSNI T12-2004 Perencanaan Struktur Jembatan Beton. Karena lokasi pilar tidak berada di aliran air, maka beban akibat arus sungai

tidak diperhitungkan. Rencana beban yang akan diperhitungkan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Beban mati,
2. Beban lalu lintas, dan
3. Beban akibat lingkungan

#### 3.4.1 Beban Tetap

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Berikut adalah beban yang termasuk dalam beban mati jembatan.

##### 1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikul, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang termasuk dalam elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Berikut adalah elemen jembatan yang memiliki berat sendiri.

- a. Gelagar (*girder*), dan
- b. Plat lantai jembatan.

##### 2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah beban elemen non-struktural jembatan yang membebani secara permanen dan dianggap satu kesatuan didalam jembatan. Komponen yang termasuk dalam beban mati tambahan jembatan adalah:

- a. Beton aspal,
- b. Sandaran jembatan (*railing*),
- c. Pipa saluran air kotor, dan lampu jalan, dan
- d. Trotoar.

Tabel 3.1 Berat Jenis untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat isi (kN/m <sup>3</sup> )	Kerapatan massa (kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2245
2	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah yang dipadatkan	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal	22,0	2245
6	Beton ringan	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35\text{MPa}$	22-25	2320
	$35 < f'_c < 105\text{Mpa}$	$22 + 0,022f'_c$	$2240 + 2,29f'_c$
8	Baja	78,5	7850
9	Kayu	7,8	800
10	Kayu keras	11,0	1125

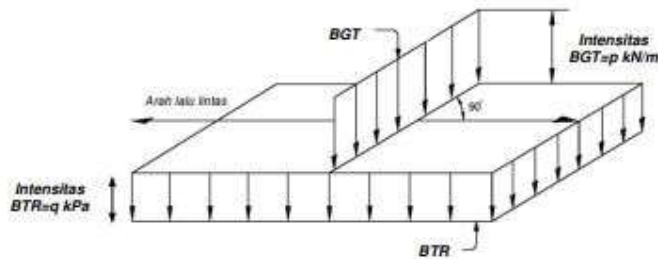
(Sumber: SNI 1725-2016)

### 3.4.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan dapat menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

#### 1. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata yang digabung dengan beban garis terpusat (BGT) seperti yang digambarkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Beban Lajur “D”**  
(Sumber: SNI 1725 - 2016)

- a. Beban Terbagi Merata (BTR) mempunyai intensitas  $q \text{ kPa}$  dengan nilai  $q$  bergantung pada panjang total jembatan ( $L$ ) yang dibebani yaitu sebagai berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \quad (3.1)$$

$$\text{Jika } L \geq 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$q$  : intensitas BTR arah memanjang jembatan (kPa)

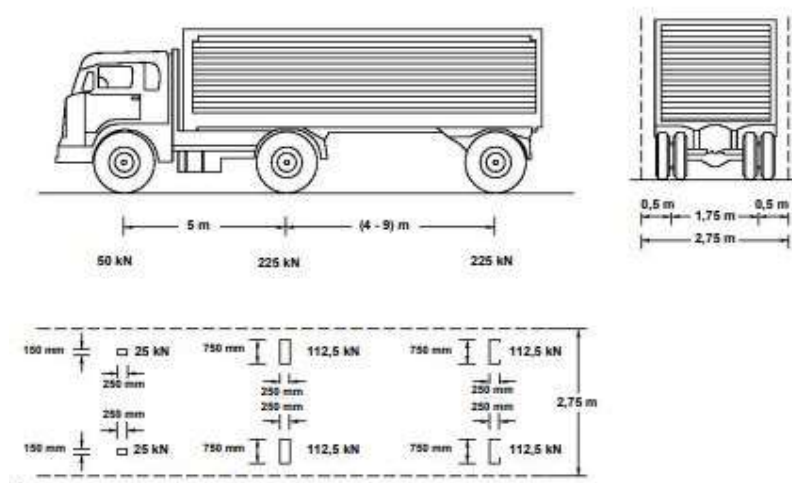
$L$  : panjang total jembatan (m)

- b. Beban Garis Terpusat (BGT)

Berdasarkan RSNI - T02- 2005 tentang pembebanan pada jembatan, Beban Garis Terpusat (BGT) dengan intensitas  $P \text{ kN/m}$  harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $P$  adalah  $49,0 \text{ kN/m}$ .

2. Beban Truk “T” (TT)

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti pada Gambar 3.2. berat dari tiap-tiap as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar. Jarak antara 2 as tersebut dapat diubah dari  $4,0 \text{ m}$  sampai  $9,0 \text{ m}$ .



**Gambar 3.2 Pembebanan Truk “T” (500kN)**  
(Sumber: SNI 1725-2016)

Berdasarkan RSNI-T02-2005 beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Pada penelitian ini, pelat lantai pada struktur jembatan disamakan dengan eksisting. Sehingga, beban lalu lintas tidak diperhitungkan dalam analisis.

### 3. Gaya Rem (TB)

Berdasarkan RSNI-T02-2005 gaya rem diharuskan mengambil yang terbesar dari:

- a. 25% dari berat gandar truk desain atau,
- b. 5% dari berat truk rencana ditambah dengan beban lajur terbagi rata (BTR).  
Gaya diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada arah longitudinal dan dipilih mana yang paling besar.

### 4. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)

Seluruh komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan dapat memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur.

#### 3.4.3 Beban Angin

Beban angin yang terjadi pada struktur jembatan dapat menimbulkan gaya yang bekerja pada struktur. Gaya akibat angin pada jembatan dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{DZ} = 2,5 \times V_o \times \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \times \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right) \quad (3.3)$$

Keterangan:

$V_{DZ}$  = Kecepatan angin rencana (km/jam)

$V_{10}$  = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm (km/jam)

$V_B$  = Kecepatan angin rencana pada elevasi 1000 mm (km/jam)

$V_o$  = Kecepatan gesekan angin (km/jam)

$Z$  = Elevasi total struktur diukur dari permukaan tanah

$Z_o$  = Panjang gesekan di hulu jembatan

#### 3.4.4 Beban Gempa Rencana ( $E_Q$ )

Jembatan harus direncanakan dapat memikul beban gempa arah memanjang dan melintang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan pembagian antara koefisien respon gempa elastis dan faktor modifikasi respon, kemudian dikalikan dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (3.5)$$

Keterangan :

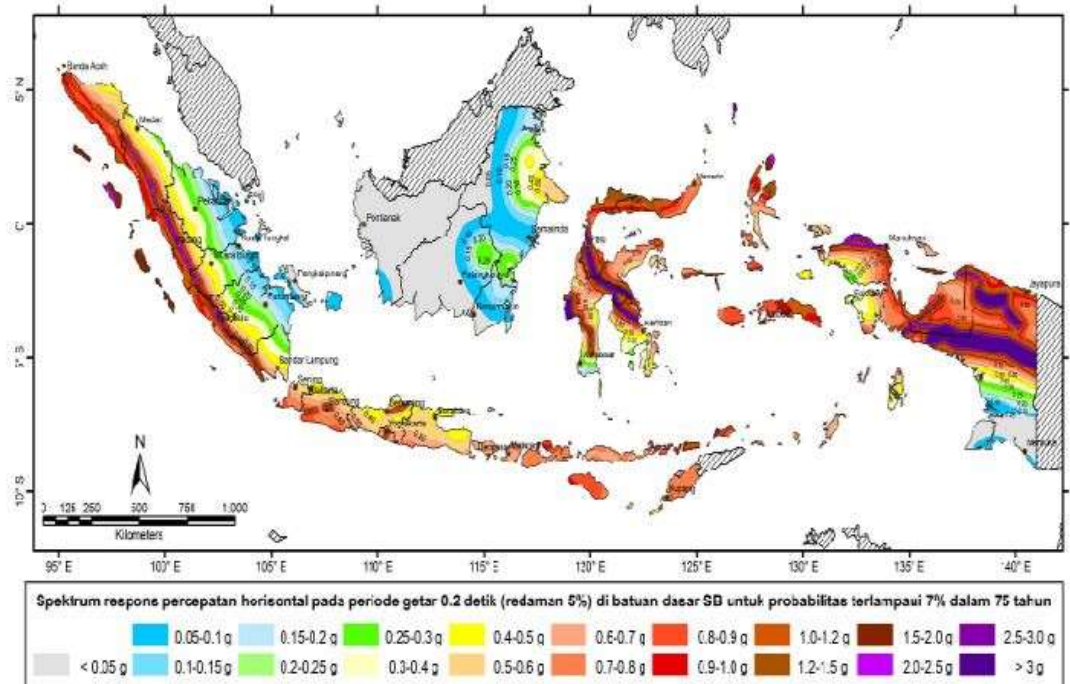
$E_Q$  : Gaya gempa horizontal statis

$C_{sm}$  : Koeffisien respon gempa elastis

$R$  : Faktor modifikasi respon

$W_t$  : Berat total struktur

Koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode gempa ulang rencana.



**Gambar 3.3 Peta Gempa Indonesia Periode Ulang 75 Tahun**

(Sumber: SNI-2833-2016)

### 3.4.5 Kombinasi Pembebanan

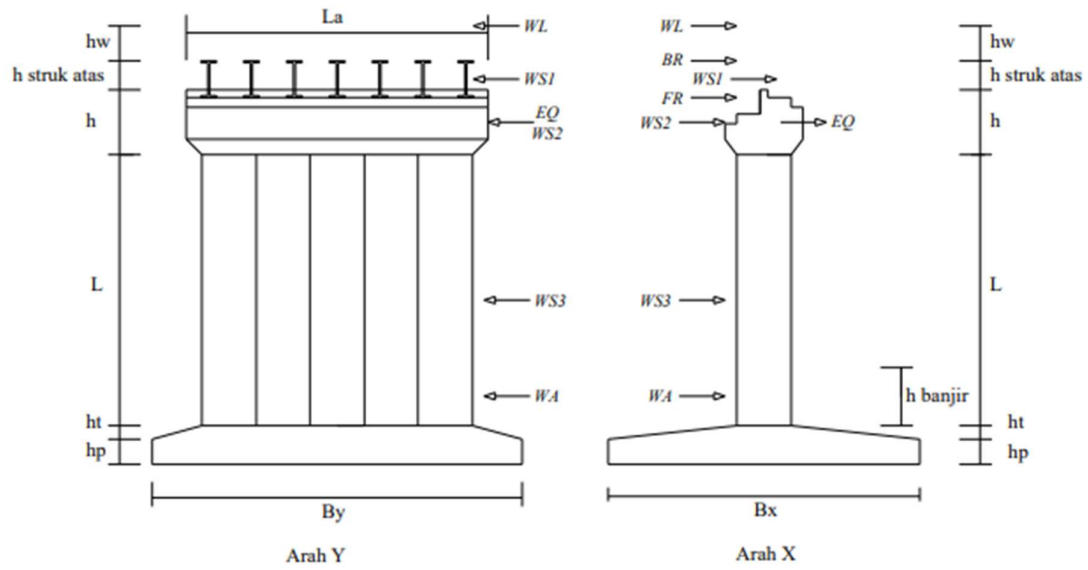
Berdasarkan SNI 1725-2016 terdapat tabel kombinasi pembebanan untuk pilar jembatan. Kombinasi pembebanan dan beban yang bekerja pada pilar jembatan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.5 berikut ini.

**Tabel 3.2 Kombinasi Pembebanan Jembatan**

No	Kombinasi Beban	Faktor Beban						
		MS	MA	TD	TP	TB	EW	EQ
1	Kuat I	1,3	2	1,8	-	2	1	-
2	Kuat II	1,3	2	1	2	1	-	-
3	Kuat II	1,3	2	1	-	1	1	-
4	Kuat IV	1,3	2	1	-	1	1,2	-
5	Ekstrem I	1,3	2	-	-	-	-	1
6	Layan I	1	1	1	1	1	1	
7	Layan II	1	1	1,3	1,3	1,3	-	-
8	Layan III	1	1	0,8	0,8	0,8	-	-
9	Layan IV	1	1	-	-	-	0,7	-

(Sumber: SNI 1725 – 2016)

\* Kombinasi ekstrem II tidak dicantumkan karena pada kombinasi tersebut terdapat beban tumbukan kapal.



**Gambar 3.5 Beban Bekerja pada Pilar Jembatan**

(Sumber: R.Kristanto, 2012)

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Dalam sebuah analisis perbedaan suatu struktur, diperlukan perencanaan ulang (*re-design*) dengan data eksisting atau data yang sudah ada, kemudian dipilih manakah struktur yang lebih efisien. Pada penelitian ini digunakan metode rencana keadaan batas (*limit states design*) yang sudah memperhitungkan variasi dan ketidakpastian pada beban maupun kekuatan elemen struktur. Pada bab metode penelitian ini akan dijelaskan tahapan analisis perbandingan kolom pilar ganda dengan kolom pilar tunggal dengan penampang silinder.

#### **4.2 Data**

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data eksisting jembatan yang didapat dari Dokumen Pembangunan Proyek Ruas Jalan dan Jembatan Tawang-Ngalang Segmen IV yang didalamnya terdapat jembatan dengan kolom pilar ganda berpenampang silinder. Dari data tersebut akan dilakukan analisis dengan membandingkan kolom pilar jembatan eksisting dengan kolom pilar jembatan tunggal dengan hasil akhir perbandingan gaya geser dan momen inersia pada pilar. Tugas akhir ini menggunakan Jembatan Tawang sebagai studi kasus.

Jembatan Tawang terletak di Dusun Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul. Letak jembatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan tampak melintang dari pilar jembatan eksisting dapat dilihat pada Gambar 4.2



### Lokasi Pekerjaan

Pembangunan Ruas Jalan dan Jembatan  
Tawang – Ngalang Segmen IV




 Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta  
 DPUP-ESDM  
 Kegiatan Pekerjaan : Pembangunan Ruas Jalan dan Jembatan Tawang-Ngalang Segmen IV  
 Lokasi : STA 4+550

**Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Jembatan Tawang**

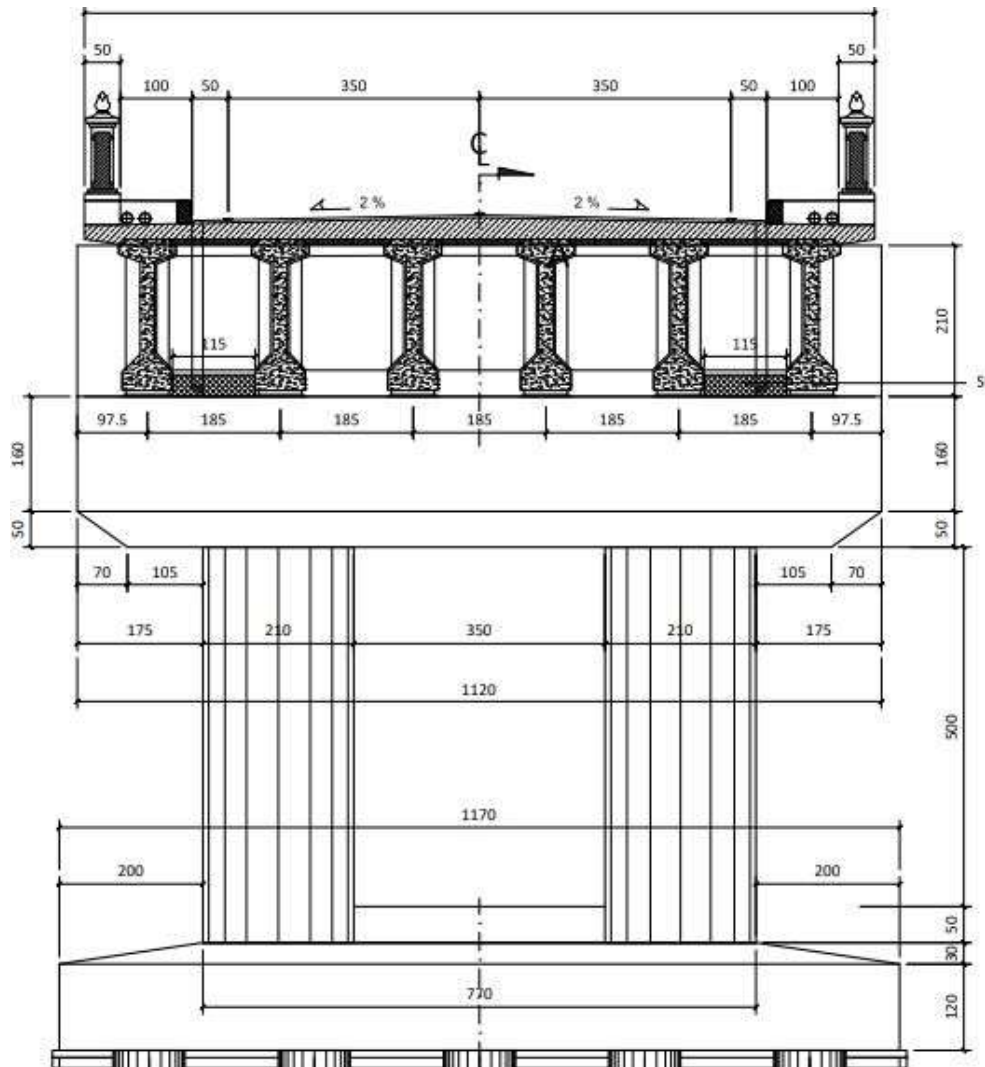
(Sumber : Data Proyek Ruas Jalan dan Jembatan Tawang - Ngalang Segmen IV)



**Gambar 4.2 Tampak Melintang Kolom Pilar Jembatan Tawang Eksisting**

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2022)

Jembatan Tawang mempunyai lebar perkerasan aspal 8 m dan lebar trotoar masing-masing kanan dan kiri 1 m, dengan kemiringan perkerasan sebesar 2%. Jembatan Tawang memiliki panjang bentang total 80 m, dengan 1 struktur pilar. Pilar Jembatan Tawang memiliki tinggi 6,160 m. Gambar detail pilar dan lebar perkerasan Jembatan Tawang dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



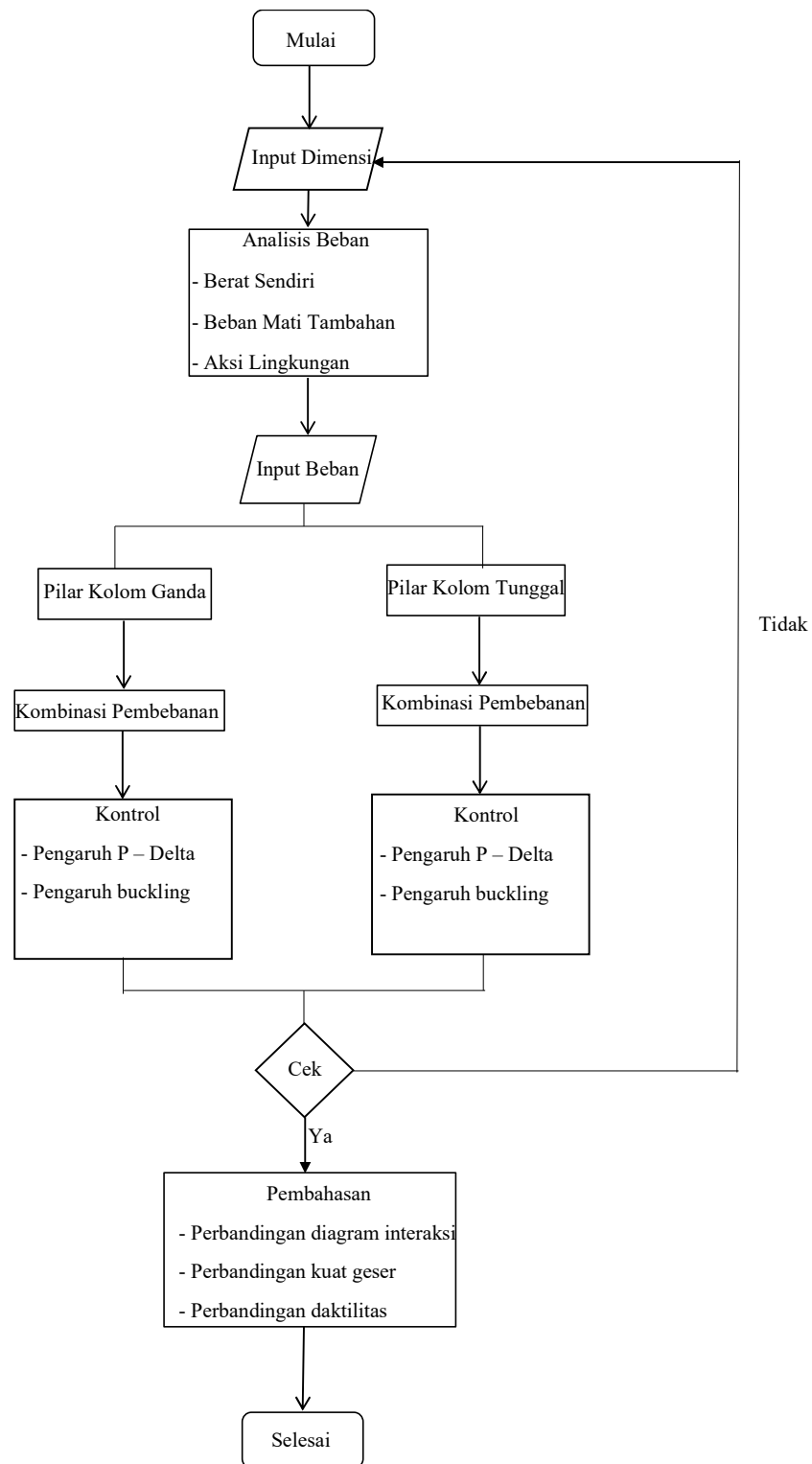
**Gambar 4.3 Detail Pilar dan Lebar Perkerasan Jembatan Tawang**

(Sumber : *Detail Engineering Design Jembatan Tawang*)

#### 4.3 Tahapan Penelitian

Pada tugas akhir ini dilakukan perhitungan ulang pilar jembatan dengan menggunakan kolom pilar tunggal, lalu dibandingkan mana yang lebih efisien antara kedua jenis pilar tersebut. Tahapan perhitungan perbandingan kedua jenis kolom pilar adalah sebagai berikut:

1. Mencari data eksisting pilar jembatan,
2. Melakukan perhitungan ulang kolom pilar tunggal menggunakan peraturan sesuai SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, dan RSNI T12-2004 menggunakan aplikasi *Ms. Excel*,
3. Melakukan perhitungan ulang kolom pilar tunggal menggunakan peraturan sesuai SNI-1725-2016, SNI 2833-2016, dan RSNI T12-2004. Perhitungan menggunakan aplikasi *Ms. Excel*,
4. Melakukan kontrol hasil perhitungan untuk memastikan bahwa perhitungan yang sudah dilakukan aman,
5. Menyimpulkan hasil analisis dan perhitungan yang sudah dilakukan.  
Bagan alir (*Flowchart*) dalam melakukan analisis perbandingan kedua jenis kolom pilar tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



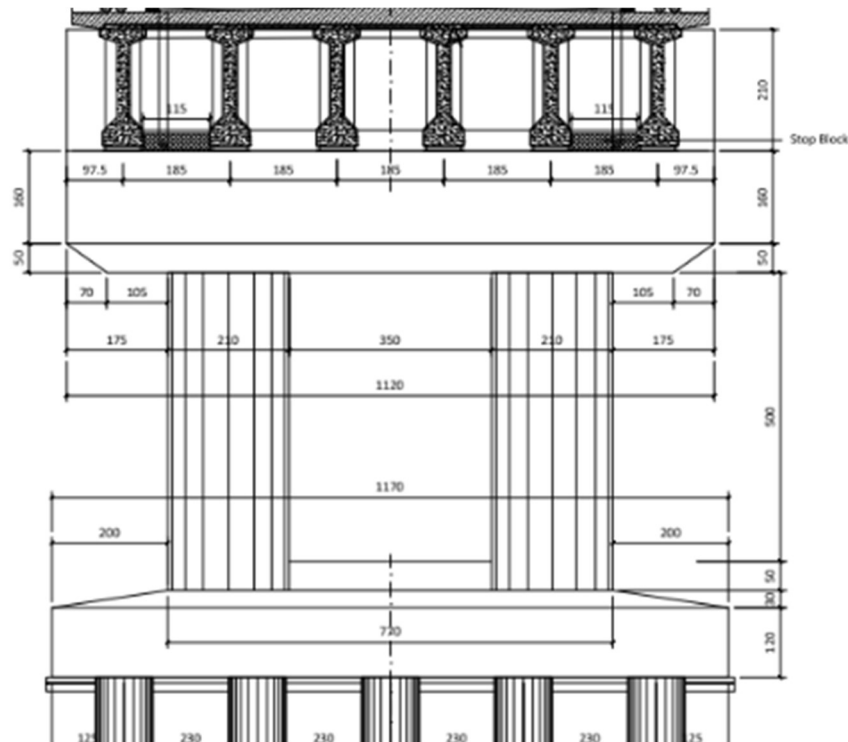
**Gambar 4.4** Bagan Alir (*Flowchart*) Penelitian Tugas Akhir

## BAB V

### ANALISIS DATA

#### 5.1 Data Jembatan

Berikut merupakan data jembatan yang mengacu dari data Proyek Pembangunan Ruas Jalan dan Jembatan Tawang – Ngalang Segmen IV.



**Gambar 5.1 Tampak Melintang Pilar Eksisting**

(Sumber : Data Teknis Proyek Pembangunan Jembatan Tawang)

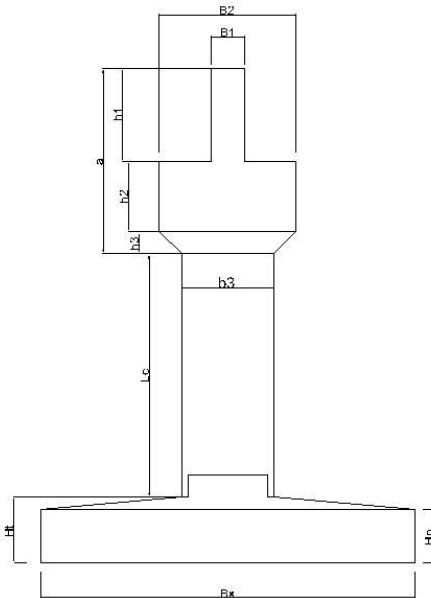
Tipe struktur atas : *PCI girder* dan pelat lantai beton

Panjang bentang (L) : 40,6 m

Lebar jembatan ( $b$ )	: 11 m
Lebar jalan lalu lintas ( $b_1$ )	: 8 m
Lebar trotoar ( $b_2$ )	: 1 m
Tebal pelat lantai ( $t_s$ )	: 0,2 m
Tebal lapisan aspal + overlay ( $t_a$ )	: 0,05 m
Tebal trotoar ( $t_t$ )	: 0,3 m
Tebal genangan air hujan ( $t_h$ )	: 0,05 m
Tinggi balok/ <i>girder</i> pra-tegang ( $h_b$ )	: 2,1 m
Tinggi bidang samping ( $h_a$ )	: 4,62 m
Jumlah girder ( $n$ )	: 6 buah

## 5.2 Pilar Kolom Ganda

### 5.2.1 Data Struktur Pilar Kolom Ganda



**Gambar 5.2 Keterangan Notasi Struktur Pilar**

1. Kepala pilar (*Pier head*)

$b_1$	: 0,75 m
$b_2$	: 3,1 m
$b_3$	: 2,1 m
ba	: 11,2 m
$h_1$	: 2,1 m
$h_2$	: 1,6 m
$h_3$	: 0,5 m
a	: $h_1 + h_2 + h_3$
	: $2,1 + 1,6 + 0,5$
	: 4,2 m

## 2. Kolom pilar

Diameter pilar (D)	: 2,1 m
Tinggi kolom pilar ( $L_c$ )	: 5,5 m

3. *Pile cap*

$H_t$	: 1,5 m
$H_p$	: 1,2 m
$B_x$	: 8,5 m
$B_y$	: 11,2 m

## 4. Bahan dasar struktur

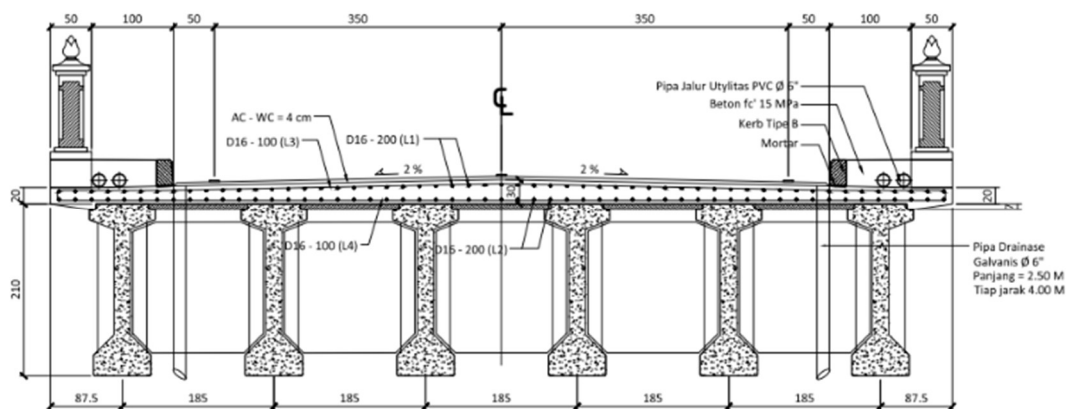
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
Tegangan leleh baja ( $f_y$ )	: 420 MPa

## 5.2.2 Analisis Beban Kerja Pilar Kolom Ganda

### 1. Berat sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian jembatan yang termasuk elemen struktural, ditambahkan dengan elemen non-struktural yang bersifat tetap. Berat sendiri dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu berat sendiri struktur atas dan berat sendiri struktur bawah. Berikut merupakan perhitungan berat sendiri (MS) yang dipikul oleh pilar jembatan.

#### a. Berat sendiri struktur atas



**Gambar 5.3 Detail Struktur Atas Jembatan Tawang**  
(Sumber: Data Teknis Proyek Pembangunan Jembatan Tawang)

**Tabel 5.1 Perhitungan Berat Sendiri Struktur Atas**

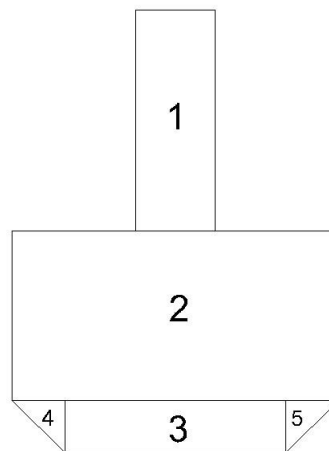
No	Beban	Parameter Volume				Berat Volume	Satuan	Berat (kN)
		b (m)	t (m)	L (m)	n (buah)			
1	Lantai/Slab	9,8	0,2	40,6	1	25	kN/m <sup>3</sup>	1989,4
2	Deck slab	1,2	0,07	40,6	5	25	kN/m <sup>3</sup>	426,3
3	Trotoar	1	0,3	40,6	2	25	kN/m <sup>3</sup>	609
4	Sandaran			40,6	2	6,28	kN/m <sup>3</sup>	509,936
5	Girder pre-stress	0,75		40,6	6	25	kN/m <sup>3</sup>	4657,5
6	Diafragma	2,44	0,15	1	30	25	kN/m <sup>3</sup>	274,5
Total berat sendiri struktur atas ( $P_{MS}$ )								8734,64

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri struktur atas } (P_{MS}) \text{ pada pilar} &= P_{MS} \times 2 \\
 &= 8734,64 \times 2 \\
 &= 16704,552 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Berat sendiri struktur bawah

Berat sendiri struktur bawah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu berat kepala pilar (*pier head*), berat kolom pilar, dan berat *pile cap*. Hasil perhitungan berat sendiri struktur bawah sebagai berikut.

1) Berat kepala pilar (*pier head*)



**Gambar 5.4 Kode Bangun Kepala Pilar Kolom Ganda**

Berat bangun I ( $W_1$ ) :

$$\text{Lebar (b)} = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (L)} = 11,2 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$W_1 = b \times h \times L \times B_j. \text{ Beton bertulang}$$

$$= 0,75 \times 2,1 \times 11,2 \times 25$$

$$= 441 \text{ kN}$$

Berat bangun II ( $W_2$ ) :

Lebar (b) = 3,1 m

Tinggi (h) = 1,6 m

Panjang (L) = 11,2 m

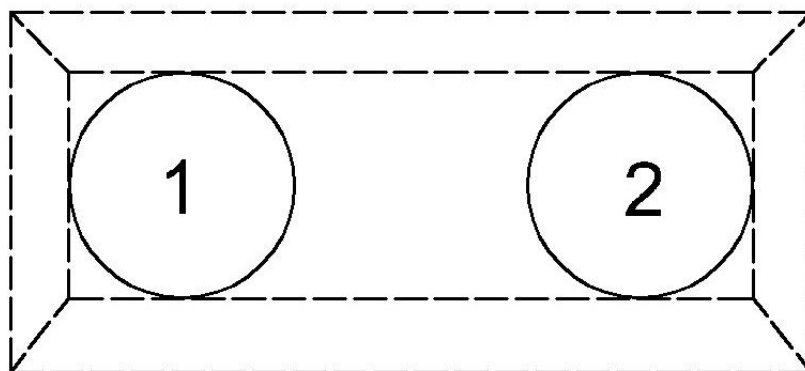
Berat jenis beton = 25 kN/m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} W_2 &= b \times h \times L \times B_j. \text{Beton bertulang} \\ &= 3,1 \times 1,6 \times 11,2 \times 25 \\ &= 1388,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Berat Kepala Kolom Pilar Ganda**

No	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)
	b (m)	h (m)	L (m)	Shape	
1	0,75	2,1	11,2	1	441
2	3,1	1,6	11,2	1	1388,8
3	2,1	0,5	11,2	1	294
4	1	0,5	11,2	0,5	70
Total berat kepala pilar					2193,80

2) Berat kolom pilar

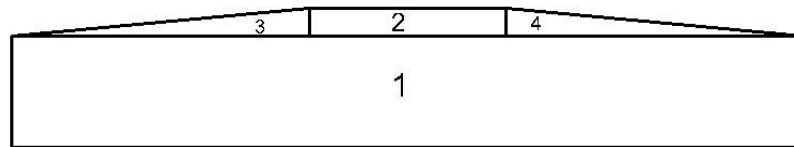


**Gambar 5.5 Kode Bangun Kolom Pilar**

Berat bangun I ( $W_{c_1}$ ) :

Diameter (D) = 2,1 m

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi kolom } (L_c) &= 5,5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis beton} &= 25 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{Shape} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 2,1^2 \\
 &= 3,463 \text{ m}^2 \\
 W_{c_1} &= \text{shape} \times L_c \times \text{Bj. Beton bertulang} \\
 &= 3,463 \times 5,5 \times 25 \\
 &= 476,245 \text{ kN} \\
 \\
 \text{Berat bangun II } (W_{c_2}) : \\
 \text{Lebar (b)} &= 2,1 \text{ m} \\
 \text{Tinggi kolom } (L_c) &= 5,5 \text{ m} \\
 \text{Berat jenis beton} &= 25 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{Shape} &= \frac{\pi}{4} \times b^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 2,1^2 \\
 &= 3,463 \text{ m}^2 \\
 W_{c_2} &= \text{shape} \times L_c \times \text{Bj. Beton bertulang} \\
 &= 3,463 \times 5,5 \times 25 \\
 &= 476,245 \text{ kN} \\
 \\
 \text{Total berat kolom pilar } (W_c) &= W_{c_1} + W_{c_2} \\
 &= 476,245 + 476,245 \\
 &= 952,491 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3) Berat *pile cap*Gambar 5.6 Kode bangun *Pile Cap*Berat bangun I ( $W_{p_1}$ ) :

Lebar (b) = 2,1 m

Tinggi (h) = 0,3 m

Panjang (L) = 11,2 m

*Shape* = 1Berat jenis beton = 25 kN/m<sup>3</sup>

$$W_{p_1} = b \times h \times L \times \text{shape} \times \text{Bj. Beton}$$

$$= 2,1 \times 0,3 \times 11,2 \times 1 \times 25$$

$$= 176,4 \text{ kN}$$

Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Berat *Pile Cap*

No	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)
	b (m)	h (m)	L (m)	Shape	
1	2,1	0,3	11,2	1	176,4
2	6,4	0,3	11,2	0,5	268,8
3	8,5	1,5	11,2	1	3570
Total berat <i>pile cap</i> ( $W_p$ )					4015,20

c. Rekapitulasi beban akibat berat sendiri ( $P_{ms}$ )**Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Akibat Berat Sendiri ( $P_{ms}$ )**

No	Jenis Berat	Keterangan	$P_{MS}$ (kN)
1	Struktur atas	$P_{Ms}$	16704,552
2	Struktur bawah	$W_h + W_c$	7161,491
Beban berat sendiri pada kolom pilar			19850,843

## 2. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah beban elemen non - struktural jembatan yang nilainya dapat berubah selama umur jembatan. Jembatan harus dianalisis mampu memikul beban tambahan yaitu, penambahan lapisan aspal (*overlay*), genangan air hujan pada saat sistem drainase jembatan kurang baik, dan pemasangan tiang listrik. Berikut merupakan perhitungan beban mati tambahan (MA) pada pilar jembatan.

**Tabel 5.5 Beban Mati Tambahan pada Pilar**

No	Jenis Beban Mati Tambahan	Tebal (m)	Lebar (m)	Panjang (m)	Jumlah	Berat Jenis	Berat (kN)
1	Lapisan aspal + <i>overlay</i>	0,05	8	40,6	1	23	373,52
2	Sandaran, lampu, dll		0,5	40,6	2		30,6
3	Intsalasi <i>ME</i>		0,1	40,6	2		8,12
4	Genangan air hujan	0,05	8	40,6	1	9,81	159,152
Total beban mati tambahan ( $P_{MA}$ )							565,152

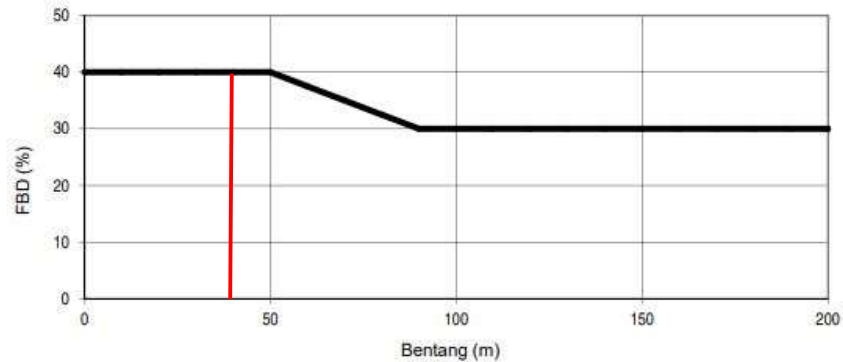
$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati tambahan } (P_{MA}) \text{ pada pilar} &= P_{MA} \times 2 \\
 &= 565,152 \times 2 \\
 &= 1130,304 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Beban lajur "D" ( $P_{TD}$ )

$$\text{Panjang bentang (L)} = 40,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Uniformly Distributed Load (q)} &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \\
 &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{40,6}\right) \\
 &= 7,825 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

*Knife Edge Load (p)* = 49 kN/m



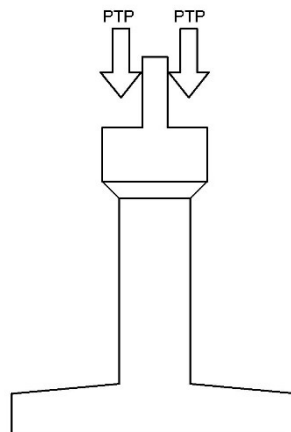
**Gambar 5. 7 Faktor Beban Dinamis**  
(Sumber: SNI 1725-2016)

Karena panjang bentang (L) 40,6 m, maka nilai faktor beban dinamis adalah 40%. Sehingga, besar beban lajur “D” pada pilar jembatan dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 P_{TD} &= \frac{1}{2} \times (B \times L \times \text{UDL}) + (\text{FBD} \times B \times \text{KEL}) \\
 &= 2 \times (\frac{1}{2} (8 \times 40,6 \times 7,825) + (40\% \times 8 \times 49)) \\
 &= 2698,40 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Beban pejalan kaki ( $P_{TP}$ )

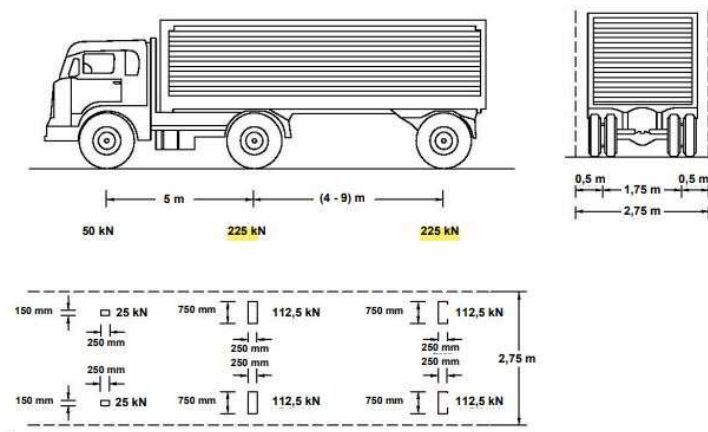
Jembatan jalan raya dengan lebar trotoar lebih dari 600 mm direncanakan harus mampu memikul beban pedestrian sebesar 5 kPa, ilustrasi beban pejalan kaki pada pilar dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



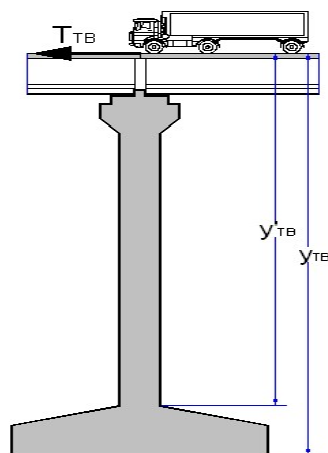
**Gambar 5.8 Beban Pejalan Kaki pada Pilar Jembatan**

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bentang (L)} &= 40,6 \text{ m} \\
 \text{Lebar trotoar (} b_2 \text{)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Jumlah trotoar (n)} &= 2 \\
 \text{Beban merata (q)} &= 5 \text{ kPa} \\
 \text{Beban pejalan kaki pada pilar} &= 2 \times \frac{1}{2} \times (2 \times (\text{UDL} \times L \times q)) \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times (2 \times 7,825 \times 40,6 \times 5) \\
 &= 406 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Gaya rem ( $P_{TB}$ )



**Gambar 5.9** Beban Truk “T” 500 kN  
(Sumber: SNI 1725 – 2016)



**Gambar 5.10** Gaya Rem yang Bekerja pada Pilar Jembatan

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya rem } (T_B) &= 25\% \times 225 \text{ kN} \\
 &= 56,25 \text{ kN} \\
 \text{Gaya rem } (T_B) &= 5\% \times (500 + \text{UDL} \times L \times b_1) \\
 &= 5\% \times (500 + 7,825 \times 40,6 \times 8) \\
 &= 152,08 \text{ kN} \\
 \text{Gaya rem pakai } (T_B) &= 152,08 \text{ kN} \\
 \text{Lengan terhadap kolom pilar } (Y'_{TB}) &= L_c + a + h_b \\
 &= 5,5 + 4,2 + 2,1 \\
 &= 11,8 \text{ m} \\
 \text{Momen pada kolom pilar} &= P_{TB} \times Y'_{TB} \\
 &= 152,08 \times 11,8 \\
 &= 1794,544 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 6. Beban angin ( $T_{EW}$ )

### a. Beban angin arah Y (melintang jembatan)

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan gesekan angin } (V_o) &= 13,2 \text{ km/jam} \\
 \text{Kecepatan angin elevasi 10000 mm } (V_{10}) &= 100 \text{ km/jam} \\
 \text{Kecepatan angin rencana } (V_B) &= 100 \text{ km/jam} \\
 \text{Elevasi struktur } (Z) &= 11200 \text{ mm} \\
 &= 0,0112 \text{ km} \\
 \text{Panjang gesekan di hulu } (Z_o) &= 70 \text{ mm} \\
 &= 0,00007 \text{ km} \\
 \text{Tekanan angin horizontal } (V_{DZ}) &= 2,5 \times V_o \times \frac{V_{10}}{V_B} \times \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \\
 &= 2,5 \times 13,2 \times \left( \frac{100}{100} \right) \times \ln \left( \frac{0,0112}{0,00007} \right) \\
 &= 167,481 \text{ km/jam} \\
 \text{Tekanan angin desain } (P_D) &= P_B \times \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \\
 &= 0,0024 \times \left( \frac{167,481}{100} \right)^2 \\
 &= 0,00673 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

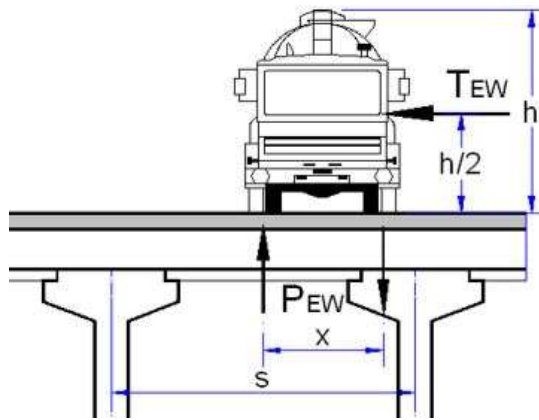
$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bentang (L)} &= 40,6 \text{ m} \\
 \text{Tinggi bidang samping (} h_a \text{)} &= 4,62 \text{ m} \\
 \text{Luas bidang samping (} A_{b,y} \text{)} &= L \times h_a \\
 &= 40,6 \times 4,62 \\
 &= 187,572 \text{ m}^2 \\
 \text{Beban angin struktur atas (} T_{EW_1} \text{)} &= P_D \times (A \times 10^{-6}) \\
 &= 0,00673 \times (187,572 \times 10^{-6}) \\
 &= 1262,730 \text{ kN} \\
 \text{Lengan terhadap kolom pilar (} y'_{EW_1} \text{)} &= L_c + a + h_a/2 \\
 &= 5,5 + 4,2 + 4,62/2 \\
 &= 12,01 \text{ m} \\
 \text{Momen pada kolom pilar (} M_{EW_1} \text{)} &= T_{EW_1} \times y'_{EW_1} \\
 &= 1262,730 \times 12,01 \\
 &= 15165,333 \text{ kNm} \\
 \text{Tinggi bidang struktur bawah (} h_{a_2} \text{)} &= L_c + a \\
 &= 5,5 + 4,2 \\
 &= 9,70 \text{ m} \\
 \text{Luas bidang struktur bawah (} A_{b_2} \text{)} &= D \times (L_c + a) \\
 &= 4,2 \times (5,5 + 4,2) \\
 &= 40,74 \text{ m}^2 \\
 \text{Beban angin struktur bawah (} T_{EW_2} \text{)} &= P_D \times (A \times 10^{-6}) \\
 &= 0,0019 \times (40,74 \times 10^{-6}) \\
 &= 77,406 \text{ kN} \\
 \text{Lengan terhadap kolom pilar (} y'_{EW_2} \text{)} &= (L_c + a)/2 \\
 &= \frac{5,5+4,2}{2} \\
 &= 4,85 \text{ m} \\
 \text{Momen pada kolom pilar (} M_{EW_2} \text{)} &= T_{EW_2} \times y'_{EW_2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 77,406 \times 4,85 \\
 &= 375,419 \text{ kNm} \\
 \text{Total gaya beban angin } (T_{EW}) &= T_{EW_1} + T_{EW_2} \\
 &= 1262,730 + 77,406 \\
 &= 1340,131 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total momen pada kolom pilar } (M_{EW}) &= M_{EW_1} + M_{EW_2} \\
 &= 15165,333 + 375,419 \\
 &= 15540,753 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Jika kendaraan berada diatas lantai jembatan, maka beban merata tambahan arah horizontal harus diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_{EW} &= 1,46 \times L \\
 &= 1,46 \times 40,6 \\
 &= 59276 \text{ N}
 \end{aligned}$$



**Gambar 5.11 Bidang Angin pada Kendaraan**

Berdasarkan gambar 5.11 diatas, maka gaya pada pilar jembatan akibat transfer beban angin ke lantai jembatan dapat dihitung:

$$\text{Tinggi bidang samping kendaraan } (h) = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar roda kendaraan } (x) = 1,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya pada pilar akibat } \textit{transfer} \text{ beban } P_{EW} &= (T_{EW} \times 1800) / x \\
 &= (59276 \times 1800) / 1750 \\
 &= 121939,2 \text{ N} = 121,939 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Beban angin arah X (memanjang jembatan)

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bidang pilar ditiup angin (h)} &= L_c + a \\
 &= 5,5 + 4,2 \\
 &= 9,7 \text{ m} \\
 \text{Lebar bidang pilar ditiup angin (b)} &= 2 \times D \\
 &= 2 \times 2,1 \\
 &= 4,2 \text{ m} \\
 \text{Luas bidang pilar ditiup angin (A}_b\text{)} &= h \times b \\
 &= 9,7 \times 4,2 \\
 &= 40,74 \text{ m}^2 \\
 \text{Beban angin (T}_{EW}\text{)} &= P_D \times (A \times 10^{-6}) \\
 &= 0,00673 \times (40,74 \times 10^{-6}) \\
 &= 548519 \text{ N} \\
 &= 548,519 \text{ kN} \\
 \text{Lengan terhadap kolom pilar (y'}_{EW}\text{)} &= (L_c + a)/2 \\
 &= (5,5 + 4,2)/2 \\
 &= 4,85 \text{ m} \\
 \text{Momen pada kolom pilar (M}_{EW}\text{)} &= T_{EW} \times y'_{EW} \\
 &= 548,519 \times 4,85 \\
 &= 2660,319 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Beban gempa (EQ)

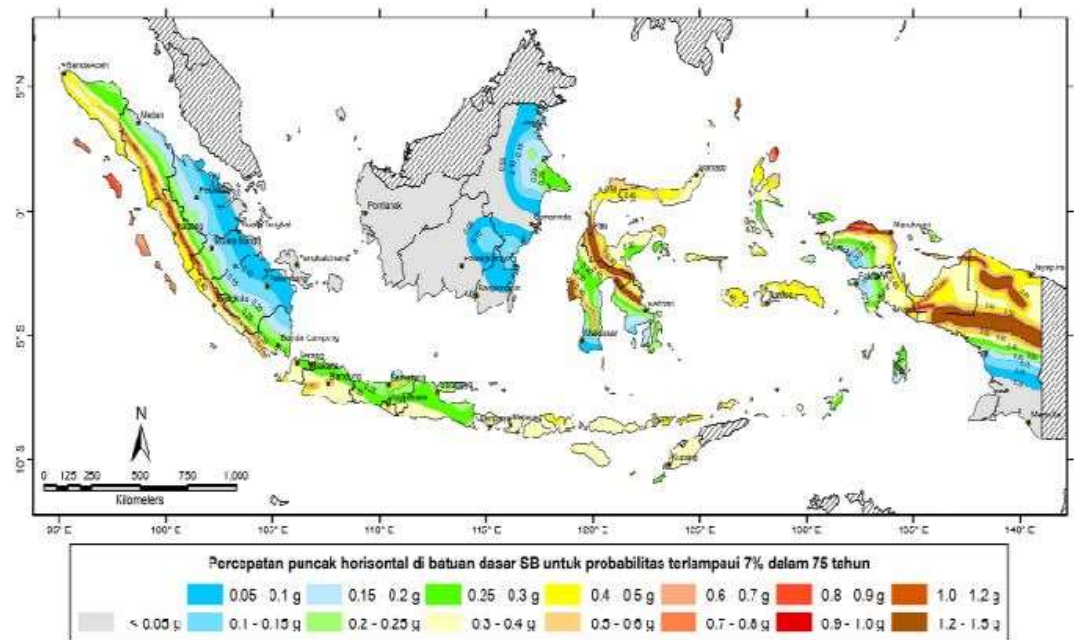
a. Beban gempa arah X (memanjang jembatan)

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang kolom pilar (A)} &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \\
 &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 2,1^2\right) \\
 &= 6,927 \text{ m}^2 \\
 \text{Tinggi kolom pilar (L}_c\text{)} &= 5,5 \text{ m} \\
 \text{Inersia penampang kolom pilar (I}_c\text{)} &= 2 \times \frac{1}{64} \times D^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times \frac{1}{64} \times 2,1^4 \\
 &= 1,91 \text{ m}^4 \\
 \text{Mutu beton (fc')} &= 30 \text{ Mpa} \\
 \text{Modulus elastisitas beton (} E_c \text{)} &= 4700 \times \sqrt{fc'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Mpa} \\
 &= 2574296,2 \text{ kPa} \\
 \text{Nilai kekakuan kolom pilar (} K_p \text{)} &= \frac{12 \times E \times I_c}{L_c^3} \\
 &= \frac{12 \times 2574296,2 \times 1,91}{5,5^3} \\
 &= 1292503,112 \text{ kN/m} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,81 \text{ m/det}^2 \\
 \text{Berat sendiri struktur atas (} P_{MS} \text{)} &= 16704,552 \text{ kN} \\
 \text{Beban mati tambahan (} P_{MA} \text{)} &= 1130,304 \text{ kN} \\
 \text{Berat total struktur atas (} W_t \text{)} &= P_{MS} + P_{MA} \\
 &= 16704,552 + 1130,304 \\
 &= 17834,856 \text{ kN} \\
 \text{Waktu getar alami struktur (T)} &= 2 \times \pi \times \frac{W_t}{\sqrt{g \times K_p}} \\
 &= 2 \times \pi \times \frac{17834,856}{\sqrt{9,81 \times 1292503,112}} \\
 &= 0,235 \text{ detik} \\
 \text{Kondisi tanah dasar} &= \text{tanah keras} \\
 \text{Wilayah gempa} &= 3
 \end{aligned}$$

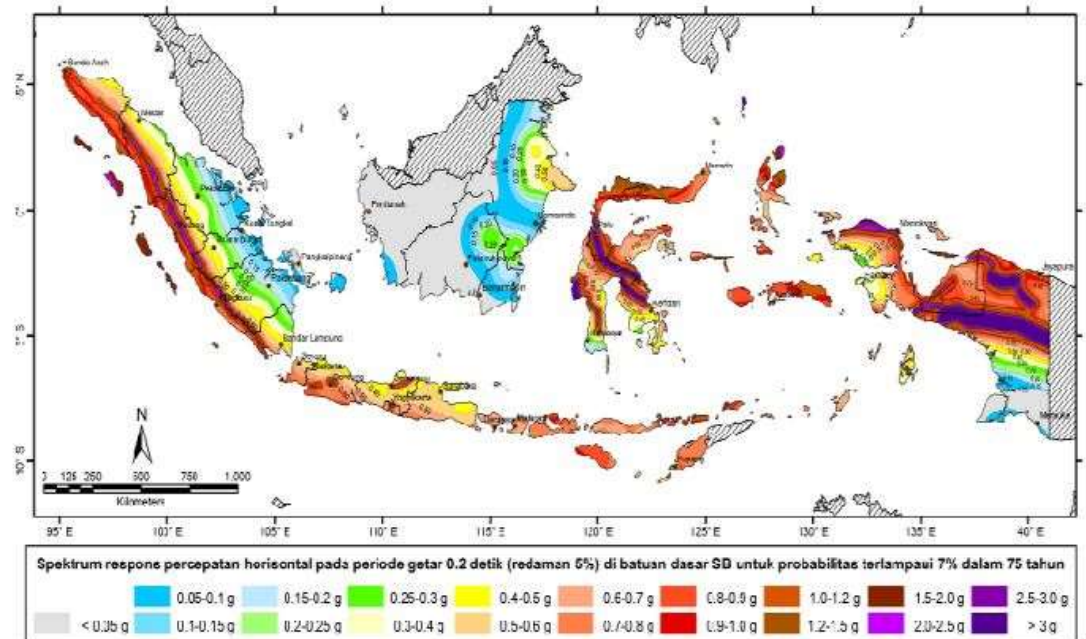
Proyek pembangunan Jembatan Tawang terletak di Kabupaten Gunung Kidul dengan jenis tanah keras. Berdasarkan peta gempa SNI-2833-2016 didapatkan nilai koefisien beban gempa:

$$\text{PGA} = 0,367\text{g} \text{ (nilai tersebut didapatkan dari peta gempa Gambar 5.11)}$$



**Gambar 5.12 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar**  
(Sumber : SNI 2833-2016)

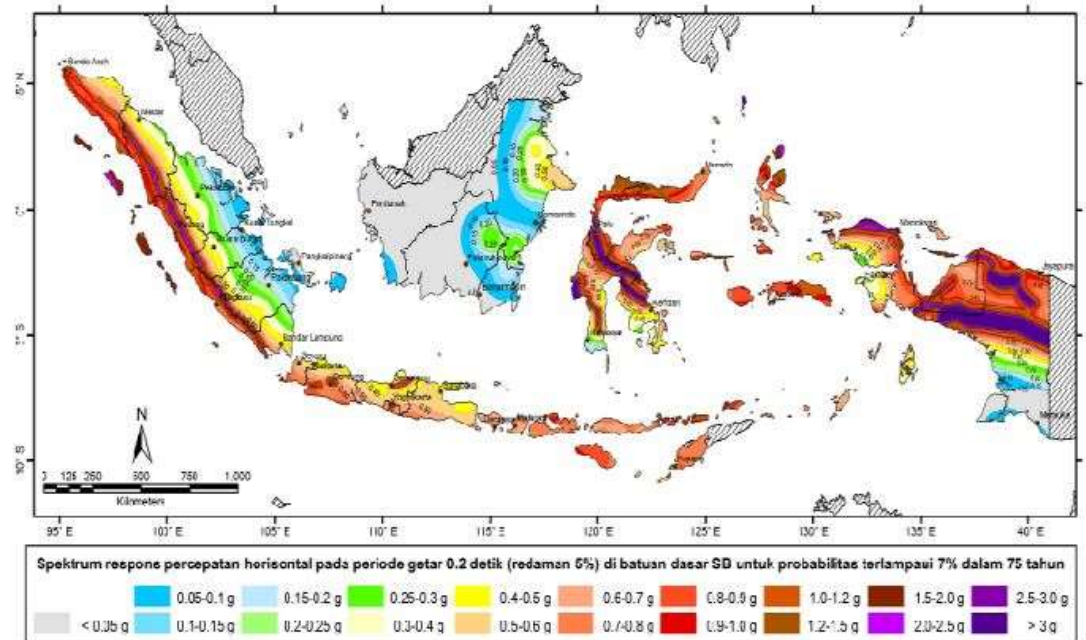
$S_s = 0,810g$  (nilai tersebut didapatkan dari peta gempa Gambar 5.12)



### Gambar 5.13 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar (SS)

(Sumber: SNI 2833-2016)

$S_1 = 0,35g$  (nilai tersebut didapatkan dari peta gempa Gambar 5.13)



### Gambar 5.14 Peta Respons Spektra Percepatan 1 Detik (S1) di Batuan Dasar

(Sumber: SNI 2833-2016)

Dalam penentuan respons spektra diperlukan nilai faktor amplifikasi untuk periode 0 detik, periode pendek (0,2 detik), dan periode 1 detik. Untuk menentukan nilai faktor amplifikasi tersebut, dapat dilihat pada Tabel 5. 6 dan Tabel 5.7 berikut ini.

**Tabel 5.6 Nilai F<sub>PGA</sub> dan F<sub>A</sub>**

Kelas Situs	PGA ≤ 0,12	PGA ≤ 0,2	PGA ≤ 0,3	PGA ≤ 0,4	PGA ≥ 0,2
	S <sub>s</sub> ≤ 0,25	S <sub>s</sub> = 0,5	S <sub>s</sub> = 0,75	S <sub>s</sub> = 1,0	S <sub>s</sub> ≥ 1,25
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: SNI 2833-2016)

Nilai F<sub>PGA</sub> dan F<sub>A</sub> dihitung dengan menggunakan cara interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{0,367-0,3}{F_{PGA}-1,1} = \frac{0,4-0,3}{1-1,1}$$

$$\frac{0,067}{F_{PGA}-1,1} = \frac{0,1}{-0,1}$$

$$\frac{0,067x(-0,1)}{0,1} = F_{PGA} - 1,1$$

$$F_{PGA} = 1,1 - 0,067 \\ = 1,033$$

$$\frac{0,810-0,75}{F_A-1,1} = \frac{1-0,75}{1-1,1}$$

$$\frac{0,06}{F_A-1,1} = \frac{0,25}{-0,1}$$

$$\frac{0,06x(-0,1)}{0,25} = F_A - 1,1$$

$$F_A = 1,1 - 0,024 \\ = 1,076$$

**Tabel 5.7 Nilai F<sub>v</sub>**

Kelas Situs	S <sub>1</sub> ≤ 0,1	S <sub>1</sub> = 0,2	S <sub>1</sub> ≤ 0,3	S <sub>1</sub> ≤ 0,4	S <sub>1</sub> ≤ 0,5
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: SNI 2833-2016)

Interpolasi nilai  $F_V$  adalah sebagai berikut:

$$\frac{0,35-0,3}{F_V-1,5} = \frac{0,4-0,3}{1,4-1,5}$$

$$\frac{0,05}{F_V-1,5} = \frac{0,1}{-0,1}$$

$$\frac{0,05 (-0,1)}{0,1} = F_V - 1,5$$

$$\begin{aligned} F_V &= 1,5 - 0,05 \\ &= 1,45 \end{aligned}$$

Sehingga perhitungan respons spektra sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_s &= F_{PGA} \times PGA \\ &= 1,033 \times 0,367 \\ &= 0,379 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= F_A \times S_s \\ &= 1,076 \times 0,81 \\ &= 0,871 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= F_V \times S_1 \\ &= 1,45 \times 0,35 \\ &= 0,507 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,507}{0,871} \\ &= 0,582 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_o &= 0,2 \times T_s \\ &= 0,2 \times 0,582 \\ &= 0,116 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{sm} &= S_{DS} \\ &= 0,871 \end{aligned}$$

**Tabel 5.8 Faktor Modifikasi Respon (R)**

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

(Sumber: SNI 2833-2016)

Berdasarkan Tabel 5.8 diatas, Jembatan Tawang termasuk dalam kategori penting dan memiliki tiang kolom beton vertikal. Sehingga, didapatkan nilai:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor modifikasi respon (R)} &= 3,5 \\
 \text{Gaya gempa } (T_{EQ}) &= \frac{C_{SM}}{R} \times W_t \\
 &= \frac{0,871}{3,5} \times 16704,552 \\
 &= 415720 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.9 Distribusi Beban Gempa Arah X pada Pilar**

No	Jenis Beban Mati	W (kN)	$T_{EQ}$ (kN)
1	Berat sendiri struktur atas	16704,552	4159,720
2	Beban mati tambahan	1130,304	281,465
3	Berat sendiri kepala pilar	2193,800	546,294
4	Berat sendiri kolom pilar	952,492	237,187
Total gaya gempa ( $T_{EQ}$ )			5224,665

b. Beban gempa arah Y (melintang jembatan)

**Tabel 5.10 Distribusi Beban Gempa Arah Y pada Pilar Jembatan**

No	Jenis Beban Mati	W (kN)	$T_{EQ}$ (kN)
1	Berat sendiri struktur atas	16704,552	4159,720
2	Beban mati tambahan	1130,304	281,465
3	Berat sendiri kepala pilar	2193,800	546,294
4	Berat sendiri kolom pilar	952,492	237,187
Total gaya gempa ( $T_{EQ}$ )			5224,665

$$\begin{aligned}
 \text{Momen pada kolom pilar } (M_{EQ}) &= T_{EQ} \times (L_c + a) \\
 &= 5224,665 \times (5,5 + 4,2) \\
 &= 50679,250 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

8. Aliran air, hanyutan, dan tumbukan dengan kayu

Pada perhitungan ini beban akibat aliran air, hanyutan, dan tumbukan dengan kayu tidak diperhitungkan, karena tidak ada aliran sungai dibawah jembatan.

9. Gaya gesek (FB) dan pengaruh temperatur (ET)

Gaya gesek pada perletakan bergerak maupub gaya yang ditimbulkan oleh perbedaan temperatur, mengakibatkan gayanya = 0 (saling meniadakan). Sehingga, diperhitungkan dalam analisis pilar.

10. Kombinasi beban ulimit kolom pilar

a. Rekap kombinasi beban kerja pada pilar

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Beban Kerja pada Pilar Jembatan**

No	Aksi Beban	Kode	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kN)	$M_y$ (kN)
<b>Aksi Tetap</b>							
1	Berat sendiri	MS	19850,844				
2	Beban mati tambahan	MA	1130,304				
<b>Beban Lalu Lintas</b>							
3	Beban lajur "D"	TD	2698,400				
4	Beban pedestrian	TP	406				
5	Gaya rem	TB		152,08		1794,544	
<b>Aksi Lingkungan</b>							
6	Beban angin	EW	121,939	274,260	1340,132	1330,160	15540,753
7	Beban gempa	EQ		5224,665	5224,665	50679,255	50679,255

## b. Kuat I

**Tabel 5.12 Kombinasi Pembebanan Kuat I**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	$P_u$ (kN)	$T_{ux}$ (kN)	$T_{uy}$ (kN)	$M_{ux}$ (kNm)	$M_{uy}$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	25806,097				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"	1,8	4857,120				
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem	1,8		273,744		3230,1792	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
<b>Total Beban</b>			32923,825	273,744	-	3230,179	-

## c. Kuat II

**Tabel 5.13 Kombinasi Pembebanan Kuat II**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	$P_u$ (kN)	$T_{ux}$ (kN)	$T_{uy}$ (kN)	$M_{ux}$ (kNm)	$M_{uy}$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	25806,097				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"	1,4	3777,760				
4	Beban pedestrian	1,4	568,400				
5	Gaya rem	1,4		212,912		2512,361	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
<b>Total Beban</b>			32412,865	212,912	-	2512,362	-

## d. Kuat III

**Tabel 5.14 Kombinasi Pembebanan Kuat III**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	$P_u$ (kN)	$T_{ux}$ (kN)	$T_{uy}$ (kN)	$M_{ux}$ (kNm)	$M_{uy}$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	25806,097				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem						
6	Beban angin	1,4	170,715	383,964	1876,184	1862,223	21757,054
7	Beban gempa						
<b>Total Beban</b>			28237,420	383,964	1876,184	1862,223	21757,054

## e. Kuat IV

**Tabel 5.15 Kombinasi Pembebanan Kuat IV**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	$P_u$ (kN)	$T_{ux}$ (kN)	$T_{uy}$ (kN)	$M_{ux}$ (kNm)	$M_{uy}$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	256806,097				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem						
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
<b>Total Beban</b>			28066,705	-	-	-	-

f. Ekstrem I

**Tabel 5.16 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	$P_u$ (kN)	$T_{u_x}$ (kN)	$T_{u_y}$ (kN)	$M_{u_x}$ (kNm)	$M_{u_y}$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	25806,097				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"	0,3	809,520				
4	Beban pedestrian	0,3	121,800				
5	Gaya rem	0,3		45,624		538,363	
6	Beban angin						
7	Beban gempa	1		5224,665	5224,665	50679,255	50679,255
<b>Total Beban</b>			28998,025	5270,289	5224,665	51217,618	50679,255

g. Layan I

**Tabel 5.17 Kombinasi Pembebanan Layan I Pilar Ganda**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	19850,844				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"	1	2698,304				
4	Beban pedestrian	1	406				
5	Gaya rem	1		152,080		1794,544	
6	Beban angin	1	121,939	274,260	1340,132	1330,160	15540,753
7	Beban gempa						
<b>Total Beban</b>			24207,487	426,340	1340,132	3124,704	15540,753

## h. Layan II

**Tabel 5.18 Kombinasi Pembebanan Layan II Pilar Ganda**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	19850,844				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"	1,3	3507,920				
4	Beban pedestrian	1,3	527,800				
5	Gaya rem	1,3		197,704		2332,907	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			25016,868	197,704	-	2332,907	-

## i. Layan III

**Tabel 5.19 Kombinasi Pembebanan Layan III Pilar Ganda**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	19850,844				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"	0,8	2158,720				
4	Beban pedestrian	0,8	324,800				
5	Gaya rem	0,8		121,660		1435,635	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			23464,668	121,664	-	1435,635	-

j. Layan IV

**Tabel 5.20 Kombinasi Pembebanan Layan IV Pilar Ganda**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	19850,844				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem						
6	Beban angin	0,7	85,357	191,982	938,092	931,112	10878,527
7	Beban gempa						
Total Beban			21066,505	191,982	938,092	931,112	10878,527

k. Rekap kombinasi pembebanan ultimit kolom pilar

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Pembebanan Ultimit Kolom Pilar**

No	Kombinasi Pembebanan	$P_u$ (kN)	$T_{ux}$ (kN)	$T_{uy}$ (kN)	$M_{ux}$ (kNm)	$M_{uy}$ (kNm)
1	Kuat I	32923,825	273,744	-	3230,179	-
2	Kuat II	32412,865	212,912	-	2512,362	-
3	Kuat II	28237,420	383,964	1876,184	1862,223	21757,054
4	Kuat IV	28066,705	-	-	-	-
5	Ekstrem I	28998,025	5270,289	5224,665	51217,618	50679,255
6	Layan I	24207,487	426,340	1340,132	3124,704	15540,753
7	Layan II	25016,868	197,704	-	2332,907	-
8	Layan III	23464,668	121,664	-	1435,635	-
9	Layan IV	21066,505	191,982	938,092	931,112	10878,527

### 5.2.3 Analisis Struktur Pilar Kolom Ganda

Dalam analisis ini, pilar ditinjau arah memanjang jembatan (X) .

#### 1. Kontrol pengaruh P – Delta ( $\Delta$ )

Gaya aksial ultimit pilar ( $P_u$ ) = 24207,488 kN

$$\begin{aligned}
 \text{Momen ultimit pilar } (M_u) &= 3124,704 \text{ kNm} \\
 \text{Inersia penampang kolom pilar } (I_c) &= 2 \times \frac{1}{64} \times \pi \times D^4 \\
 &= 2 \times \frac{1}{64} \times \pi \times 2,1^4 \\
 &= 1,91 \text{ m}^4 \\
 \text{Mutu beton } (f_c') &= 30 \text{ Mpa} \\
 \text{Modulus elastisitas beton } (E_c) &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \\
 &= 25742,960 \text{ Mpa} \\
 &= 25742960,2 \text{ kPa} \\
 \text{Tinggi kolom pilar } (L_c) &= 5,5 \text{ m} \\
 \text{Perpindahan elastis } (\Delta_e) &= \frac{M_u \cdot L_c^2}{E_c \cdot I_c} \\
 &= \frac{3124,704 \times 5,5^2}{25742960,2 \times 1,91} \\
 &= 0,00192 \text{ m} \\
 \text{Faktor modifikasi respons } (R) &= 3,5 \\
 \text{Waktu getar struktur } (T) &= 0,235 \\
 \text{Periode Panjang } (T_s) &= 0,582 \\
 1,25 \times T_s &= 0,727 \\
 \text{Karena nilai } T < 1,25 T_s, \text{ maka nilai } R_d \text{ dapat dihitung:} \\
 R_d &= \left(1 - \frac{1}{R}\right) \times \frac{1,25 \cdot T_s}{T} + \frac{1}{R} \\
 &= \left(1 - \frac{1}{3,5}\right) \times 0,727 + \frac{1}{3,5} \\
 &= 2,706 \\
 \text{Perpindahan kolom pilar } (\Delta) &= R_D \times \Delta_e \\
 &= 2,706 \times 0,00192 \\
 &= 0,00520 \text{ m} \\
 \text{Cek} &= \Delta P_u \leq 0,25 \phi M_n \\
 &= 125,985 \leq 7500 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

2. Pengaruh *buckling*

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi kolom pilar } (L_c) &= 5,5 \text{ m} \\
 \text{Inersia penampang kolom pilar } (I_c) &= I_c/2 \\
 &= 1,91/2 \\
 &= 0,95 \\
 \text{Luas penampang kolom pilar } (A) &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,1^2 \\
 &= 3,464 \text{ m}^2 \\
 \text{Jari – jari inersia kolom pilar } (r) &= \sqrt{\frac{I_c}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,95}{3,464}} \\
 &= 0,525 \text{ m} \\
 \text{Faktor panjang tekuk } (K) &= 2,2 \\
 \text{Angka kelangsingan} &= \frac{K \times L_c}{r} \leq 22 \\
 &= \frac{2,2 \times 5,5}{0,525} \leq 22 \\
 &= 20,952 < 22
 \end{aligned}$$

Karena nilai angka kelangsingan  $\leq 22$ , maka faktor tekuk tidak berpengaruh terhadap perencanaan kolom. Sehingga, pengaruh *buckling* tidak perlu diperhitungkan dan tidak ada perbesaran momen ultimit.

## 3. Analisis kekuatan aksial dan lentur pilar

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar kolom pilar } (b=D) &= 2100 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi kolom pilar } (L_c) &= 5500 \text{ mm} \\
 \text{Mutu beton } (f_c') &= 30 \text{ Mpa} \\
 \text{Mutu baja tulangan } (f_y) &= 420 \text{ Mpa} \\
 \text{Modulus elastisitas baja } (E_s) &= 200000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \times (f_c' - 28)\right) \\
&= 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \times (40 - 28)\right) \\
&= 0,836 \\
\text{Tulangan pokok } (D_{pokok}) &= 32 \text{ mm} \\
\text{Tulangan sengkang } (D_{sengkang}) &= 16 \text{ mm} \\
\text{Selimut beton } (P_b) &= 80 \text{ mm} \\
\text{Jumlah tulangan} &= 54 \text{ buah} \\
\text{Faktor reduksi } (\phi) &= 0,75 \\
\text{Luas penampang kolom pilar } (A_g) &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 2100^2 \\
&= 3463606 \text{ mm}^2 \\
\text{Luas tulangan kolom pilar } (A_{st}) &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D_{pokok}^2\right) \times \text{jumlah tulangan} \\
&= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 32^2\right) \times 54 \\
&= 43429,377 \text{ mm}^2 \\
d' = ds &= P_b + D_{sengkang} + (D_{pokok}/2) \\
&= 80 + 16 + (32/2) \\
&= 112 \text{ mm} \\
d'' &= (h - ds - d')/2 \\
&= (2100 - 112 - 112)/2 \\
&= 938 \text{ mm} \\
d &= h - ds \\
&= 2100 - 112 \\
&= 1988 \text{ mm} \\
\text{a. Kondisi kuat tekan murni} \\
P_{no} &= 2 \times (0,85 \times \phi \times (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + (A_{st} + \\
&= f_y))
\end{aligned}$$

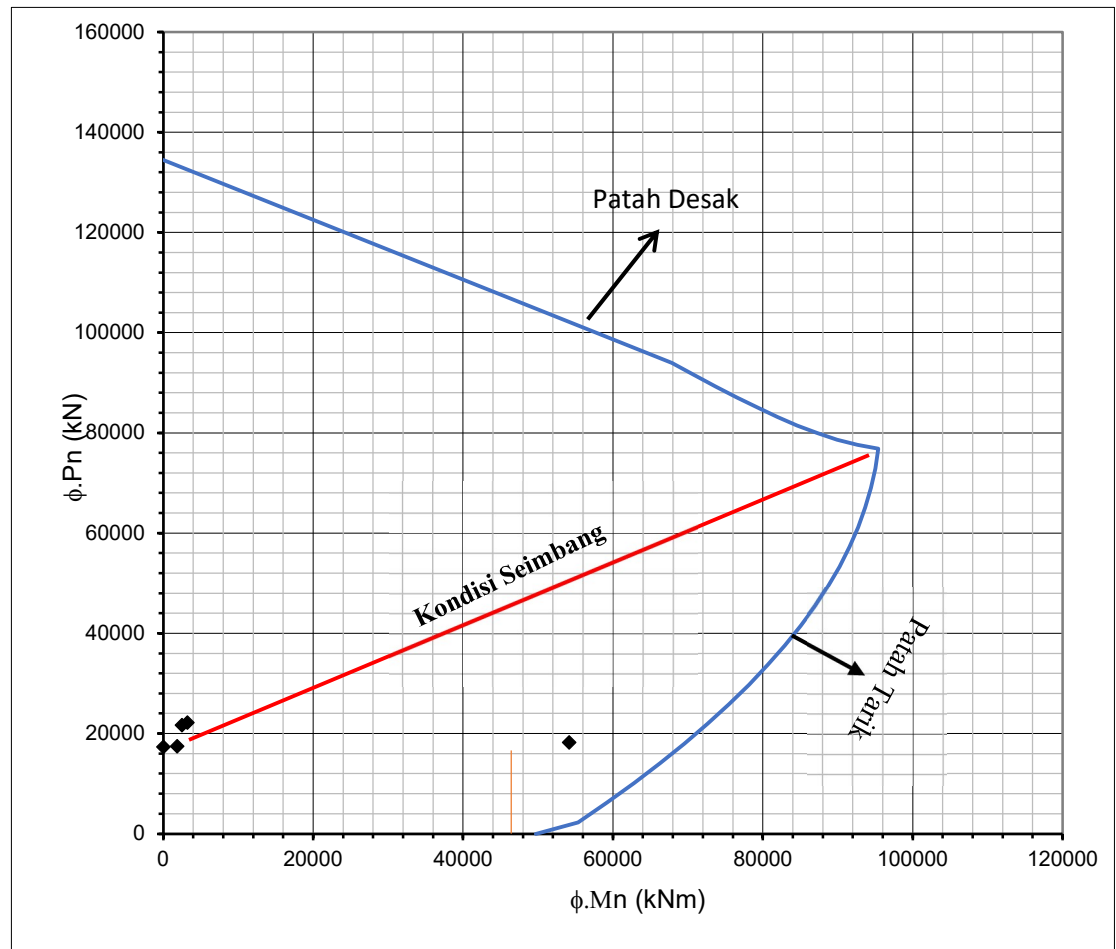
$$\begin{aligned}
&= 2 \times 0,85 \times 0,75 \times (0,85 \times 30 \times (3463606 - 43429,377) + (3464606 + 420)) \times 10^{-3} \\
&= 179273,227 \text{ kN} \\
M_n &= 0 \text{ kNm} \\
\text{b. Kondisi seimbang} \\
C_b &= \frac{600}{600+f_y} \times d \\
&= \frac{600}{600+4} \times 1988 \\
&= 1169,411 \text{ mm} \\
a_b &= \beta_1 \times C_b \\
&= 0,836 \times 1169,411 \\
&= 977,294 \text{ mm} \\
\varepsilon_c &= 0,003 \\
\varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
&= \frac{420}{200000} \\
&= 0,0021 \\
\varepsilon_s &= \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon_c \\
&= \frac{1169,411-1}{1169,411} \times 0,003 \\
&= 0,00271 > \varepsilon_y \text{ (tulangan tekan leleh)} \\
f_s &= 600 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \\
&= 600 \times \left(\frac{3888-1169,411}{1169,411}\right) \\
&= 420 \leq f_y \text{ (OK)} \\
P_{nb} &= 2 \times \phi \times (0,85 \times f_c' \times b \times a_b + A_s \times f_s - A_s \times f_y) \\
&= 2 \times 0,75 \times (0,85 \times 30 \times 2100 \times 977,294 + 3463606 \times 420 - 3463606 \times 420) \times 10^{-3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nb} &= 76839,9976 \text{ kN} \\
&= 2 \times \phi \times (0,85 \times f_c' \times b \times a_b \times (d - \frac{a_b}{2} - d'') + A_s \\
&\quad \times F_s \times (d - d' - d'') + A_s \times f_y \times d'') \\
&= 2 \times 0,75 \times (0,85 \times 30 \times 4200 \times 2009,65 \times \\
&\quad (1988 - \frac{2009,65}{2} - 938) + 43429,377 \times 420 \times \\
&\quad (1988 - 112 - 938) + 43429,377 \times 420 \times 938) \times \\
&\quad 10^{-6} \\
&= 95395,163 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Hasil analisis kekuatan aksial dan lentur kolom pilar pada kondisi tekan murni, patah desak, kondisi seimbang, patah tarik, dan lentur murni dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Gambar 5.14 berikut ini.

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan Aksial dan Lentur Pilar Kolom Ganda**

C	$\epsilon_s$	Cek	fs	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kNm)
Tekan Murni				67227,46	0
Kondisi Patah Desak					
1754,117	0,00281	Baja tekan leleh	80	93941,569	67883,327
1695,647	0,00280	Baja tekan leleh	103,448	91544,027	70852,831
1637,176	0,00279	Baja tekan leleh	128,571	89255,594	73732,883
1578,706	0,00279	Baja tekan leleh	155,556	87088,393	76534,853
1520,235	0,00278	Baja tekan leleh	184,615	85056,411	79271,862
1461,765	0,00277	Baja tekan leleh	216	83175,875	81959,130
1403,294	0,00276	Baja tekan leleh	250	81465,715	84614,416
1344,824	0,00275	Baja tekan leleh	286,957	79948,155	87258,563
1286,353	0,00274	Baja tekan leleh	327,273	78649,469	89916,207
1227,882	0,00273	Baja tekan leleh	371,429	77600,8935	92616,676
Kondisi Seimbang					
1169,412	0,00271	Baja tekan leleh	420	76839,976	95395,163
Kondisi Patah Tarik					
1110,941	0,00270	Baja tekan leleh	420	72914,918	95013,890
1052,471	0,00268	Baja tekan leleh	420	689899,861	94440,820
994	0,00266	Baja tekan leleh	420	65064,803	93675,954
935,529	0,00264	Baja tekan leleh	420	61139,746	92719,290
877,058	0,00262	Baja tekan leleh	420	57214,688	91570,830
818,588	0,00259	Baja tekan leleh	420	53289,631	90230,573
760,117	0,00256	Baja tekan leleh	420	49364,573	886698,519
701,647	0,00252	Baja tekan leleh	420	45439,516	86974,668
643,176	0,00248	Baja tekan leleh	420	41514,458	85059,021
584,705	0,00243	Baja tekan leleh	420	37589,401	82951,577
Lentur Murni				0	49732,886



**Gambar 5.15 Diagram Interaksi Pilar Kolom Ganda**

4. Kekuatan geser kolom pilar

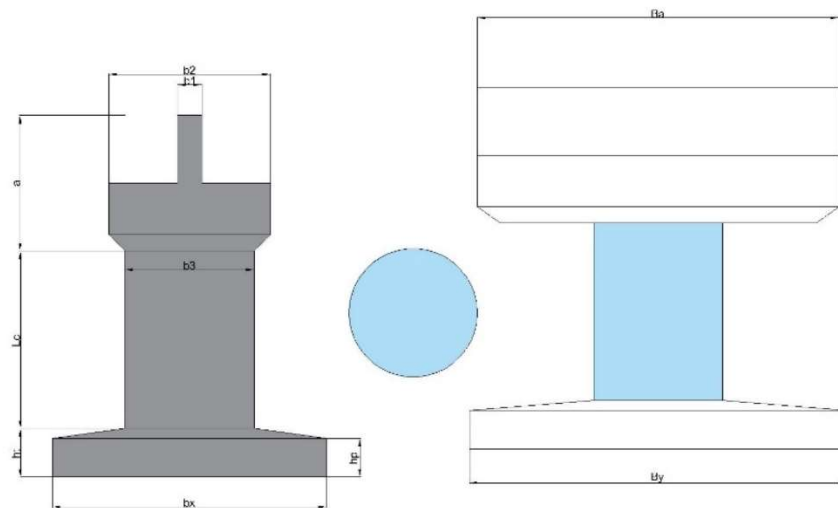
$$\begin{aligned}
 \text{Gaya aksial ultimit rencana } (P_u) &= 18236,694/2 \\
 &= 9118,347 \text{ kN} \\
 &= 9118346,955 \text{ N} \\
 \text{Gaya geser ulimit } (V_u) &= 5573803,41 \text{ N} \\
 \text{Mutu beton } (f_c') &= 30 \text{ Mpa} \\
 \text{Mutu baja tulangan } (f_y) &= 420 \text{ Mpa} \\
 \text{Diameter kolom pilar } (B=D) &= 2100 \text{ mm} \\
 \text{Faktor reduksi geser } (\phi) &= 0,75 \\
 d' &= 112 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi kolom pilar ( $L_c$ )	= 5500 mm
d	= h – ds
	= 2100 – 112
	= 1988 mm
Nilai geser beton ( $V_c$ )	= $\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6}\right) \times b \times d \times 2$
	= $\left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) \times 2100 \times 1988 \times 2$
	= 7622107,110 N
	= 7622,107 kN
$V_s$	= $V_u - V_c$
	= 5573803,410 – 7622107,110
	= 1690187,057 N
Diameter tulangan sengkang	= 16 mm
Luas tulangan geser ( $A_v$ )	= $\frac{1}{4} \times \pi \times D_{sengkang}^2 \times n$ kaki
	= $\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 2$
	= 402,123 mm <sup>2</sup>
Jarak tulangan geser perlu	= $\frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$
	= $\frac{402,123 \times 420 \times 1988}{1690187,057}$
	= 567,574 mm
Jarak tulangan geser pakai (S)	= 250 mm
Cek	= $0,5^\phi V_c \leq V_u$
	= 2858290,166 ≤ 557803,410 (OK)
5. Daktilitas kolom pilar ( $\rho_s$ )	
Luas penampang kolom pilar ( $A_g$ )	= 6927211,801 mm <sup>2</sup>
Jarak tulangan geser (S)	= 250 mm
Selimut beton ( $P_b$ )	= 80 mm
Diameter kolom pilar (D)	= 2100 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter inti kolom pilar } (d_c) &= D - (2 \times P_b) - D_{sengakang} \\
 &= 2100 - (2 \times 80) - 16 \\
 &= 1924 \text{ mm} \\
 \text{Luas tulangan geser } (A_{sp}) &= 402,123 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas inti kolom pilar } (A_c) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d_c^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 1924^2 \\
 &= 2907368,072 \text{ mm}^2 \\
 \text{Daktilitas } (\rho_s) &= \frac{4 \times A_{sp}}{d_c \times S} \times 2 \\
 &= \frac{4 \times 402,123}{1924 \times 250} \times 2 \\
 &= 0,00663 \\
 \text{Cek 2} &= \rho_s \geq 0,45 \times \left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right) \times \frac{f_c'}{f_y} \\
 &= 0,01598 \geq 0,45 \times \left(\frac{3463605,901}{2907368,072} - 1\right) \times \frac{30}{420} \\
 &= 0,00663 \geq 0,00552 \text{ (Oke)}
 \end{aligned}$$

### 5.3 Pilar Kolom Tunggal

#### 5.3.1 Data Struktur Pilar



**Gambar 5.16 Keterangan Notasi Struktur Pilar Kolom Tunggal**

1. Kepala pilar (*pier head*)

$b_1$	= 0,75 m	$h_1$	= 2,1 m
$b_2$	= 3,97 m	$h_2$	= 1,6 m
$b_3$	= 2,97 m	$h_3$	= 0,5 m
$b_a$	= 11,2 m	a	= 4,2 m

## 2. Kolom pilar

D	= 2,97 m
$L_c$	= 5,5 m

3. *Pile cap*

$h_p$	= 1,2 m
$h_t$	= 1,5 m
$B_x$	= 8,5 m
$B_y$	= 11,7 m

## 5.3.2 Analisis Beban Kerja Pilar Kolom Tunggal

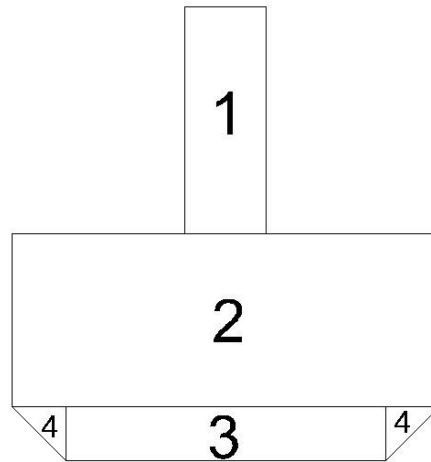
## 1. Berat sendiri (MS)

## a. Berat sendiri struktur atas

Pada analisis berat sendiri struktur atas pilar kolom tunggal, nilainya sama dengan analisis berat sendiri struktur pilar kolom ganda.

## b. Berat sendiri struktur bawah

## 1) Berat kepala pilar



**Gambar 5.17 Kode Bangun Kepala Pilar Kolom Tunggal**

Berat bangun 1 ( $W_1$ )

Lebar (b) = 0,75 m

Tinggi (h) = 2,1 m

Panjang (L) = 11,2 m

*Shape* = 1

$$W_1 = b \times h \times L \times \text{shape} \times B_j. \text{ Beton bertulang}$$

$$= 0,75 \times 2,1 \times 11,2 \times 1 \times 25$$

$$= 441 \text{ kN}$$

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Perhitungan Berat Kepala Pilar Kolom Tunggal**

No	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)
	b (m)	h (m)	L (m)	<i>shape</i>	
1	0,75	2,1	11,2	1	441
2	3,97	1,6	11,2	1	1778,560
3	2,97	0,5	11,2	1	415,80
4	0,5	0,5	11,2	0,5	35
Total Berat Kepala Pilar ( $W_h$ )					2670,360

## 2) Berat kolom pilar

**Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Berat Kolom Pilar Tunggal**

No	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)
	b (m)	h (m)	L (m)	shape	
1	2,97		5,5	$\frac{\pi}{4} \times h^2$	952,588
Total Berat Kolom Pilar ( $W_c$ )					952,588

3) Berat *pile cap***Tabel 5.25 Rekapitulasi Perhitungan Berat *Pile Cap* Pilar Kolom Tunggal**

No	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)
	b (m)	h (m)	L (m)	shape	
1	8,5	1,2	11,7	1	2983,5
2	2,97	0,3	11,7	1	260,617
3	2,765	0,3	11,7	0,5	121,314
Total Berat Kepala Pilar ( $W_p$ )					3365,432

## 4) Rekapitulasi total berat sendiri

**Tabel 5.26 Rekapitulasi Perhitungan Berat Sendiri**

No	Jenis Berat Sendiri	Berat (kN)
1	Struktur atas	16704,552
2	Struktur bawah	6988,381
Beban Berat Sendiri pada Kolom Pilar		20327,500

## 2. Beban mati tambahan (MA)

Nilai beban mati tambahan (MA) pada analisis beban pilar kolom tunggal sama dengan pilar kolom ganda, yaitu sebesar 1130,304 kN.

## 3. Beban lajur "D" (TD)

Nilai beban lajur "D" pada analisis beban pilar kolom tunggal sama dengan pilar kolom ganda, yaitu sebesar 2698,4 kN.

## 4. Beban pedestrian (TP)

Nilai beban pada pilar akibat pedestrian sama dengan perhitungan pilar ganda, yaitu sebesar 406 kN.

## 5. Gaya rem (TB)

Nilai gaya rem ( $T_{TB}$ ) dan momen pada kolom pilar ( $M_{TB}$ ) sama dengan perhitungan analisis beban pilar kolom ganda, yaitu sebesar 152,080 kN dan 1794,544 kNm.

## 6. Beban angin (EW)

## a. Beban angin arah Y (melintang jembatan)

$$\text{Panjang bentang (L)} = 40,6 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bidang samping (} h_a \text{)} = 4,62 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang samping (} A_{b_y} \text{)} &= L \times h_a \\ &= 40,6 \times 4,62 \\ &= 187,572 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban angin struktur atas (} T_{EW_1} \text{)} &= P_D \times (A \times 10^{-6}) \\ &= 0,00673 \times (187,572 \times 10^{-6}) \\ &= 1262,726 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan terhadap kolom pilar (} y'_{EW_1} \text{)} &= L_c + a + h_a/2 \\ &= 5,5 + 4,2 + 4,62/2 \\ &= 12,01 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen pada kolom pilar (} M_{EW_1} \text{)} &= T_{EW_1} \times y'_{EW_1} \\ &= 1262,730 \times 12,01 \\ &= 15165,333 \text{ kNm} \end{aligned}$$

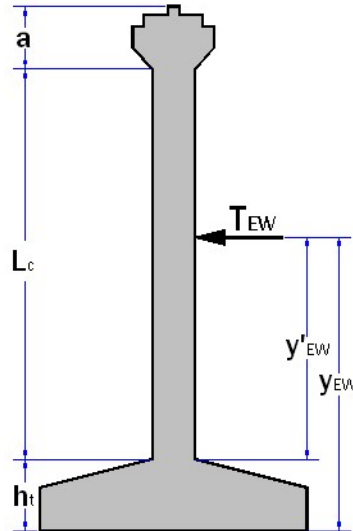
$$\begin{aligned} \text{Tinggi bidang struktur bawah (} h_{a_2} \text{)} &= L_c + a \\ &= 5,5 + 4 \\ &= 9,7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang struktur bawah (} A_{b_2} \text{)} &= D \times (L_c + a) \\ &= 2,97 \times (5,5 + 4,2) \\ &= 28,809 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban angin struktur bawah (} T_{EW_2} \text{)} = P_D \times (A \times 10^{-6})$$

$$\begin{aligned}
&= 0,0019 \times (28,809 \times 10^{-6}) \\
&= 54,731 \text{ kN} \\
\text{Lengan terhadap kolom pilar } (y'_{EW_2}) &= (L_c + a)/2 \\
&= \frac{5,5+4,2}{2} \\
&= 4,85 \text{ m} \\
\text{Momen pada kolom pilar } (M_{EW_2}) &= T_{EW_2} \times y'_{EW_2} \\
&= 54,731 \times 4,85 \\
&= 265,474 \text{ kNm} \\
\text{Total gaya beban angin } (T_{EW}) &= T_{EW_1} + T_{EW_2} \\
&= 1262,726 + 54,731 \\
&= 1317,457 \text{ kN} \\
\text{Total momen pada kolom pilar } (M_{EW}) &= M_{EW_1} + M_{EW_2} \\
&= 15165,334 + 265,468 \\
&= 15430,808 \text{ kNm} \\
\text{Beban garis merata tambahan arah horisontal pada permukaan lantai} \\
\text{jembatan dapat dihitung sebagai berikut.} \\
\text{Tinggi bidang samping kendaraan } (h) &= 1,8 \text{ m} \\
\text{Jarak antar roda } (x) &= 1,75 \text{ m} \\
\text{Beban angin merata tambahan } (T_{EW}) &= 1,46 \times L \\
&= 1,46 \times 40600 \\
&= 59276 \text{ N} \\
\text{Gaya pada pilar } (P_{EW}) &= (T_{EW} \times 1800)/x \\
&= (59276 \times 1800)/1750 \\
&= 121939,2 \text{ N} \\
&= 121,939 \text{ kN}
\end{aligned}$$

b. Beban angin arah X (memanjang jembatan)



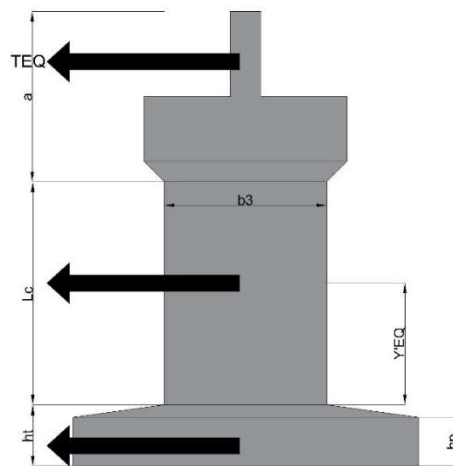
**Gambar 5.18 Notasi Beban Angin pada Pilar Arah Memanjang Jembatan**

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bidang pilar terkena angin (h)} &= L_c + a \\
 &= 5,5 + 4,2 \\
 &= 9,7 \text{ m} \\
 \\
 \text{Lebar bidang pilar terkena angin (b)} &= D \\
 &= 2,97 \\
 &= 2,97 \text{ m} \\
 \\
 \text{Luas bidang pilar terkena angin (A}_b\text{)} &= h \times b \\
 &= 9,7 \times 2,97 \\
 &= 28,809 \text{ m} \\
 \\
 \text{Beban angin (T}_{EW}\text{)} &= P_D \times (A \times 10^6) \\
 &= 0,00673 \times (28,809 \times 10^6) \\
 &= 193491 \text{ N} \\
 &= 194,941 \text{ kN} \\
 \\
 \text{Lengan terhadap kolom pilar (Y}'_{EW}\text{)} &= (L_c + a)/2 \\
 &= (5 + 4,2)/2 \\
 &= 4,85 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen pada kolom pilar } (M'_{EW}) &= T_{EW} \times Y'_{EW} \\
 &= 194,941 \times 4,85 \\
 &= 940,612 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 7. Beban gempa (EQ)

### a. Beban gempa arah X (memanjang jembatan)



**Gambar 5.19 Notasi Beban Gempa Arah Memanjang Jembatan pada Pilar Kolom Tunggal**

**Tabel 5.27 Distribusi Beban Gempa Arah Memanjang (X) Jembatan pada Pilar Kolom Tunggal**

No	Jenis Beban Mati	W (kN)	$T_{EQ}$ (kN)
1	Berat sendiri struktur atas	16704,552	7279,510
2	Beban mati tambahan	1130,304	492,564
3	Berat sendiri kepala pilar	2670	1163,689
4	Berat sendiri kolom pilar	952,589	415,119
Total Beban Gempa ( $T_{EQ}$ )			9350,882

$$\begin{aligned}
 \text{Momen pada kolom pilar } (M_{EQ}) &= T_{EQ} \times (L_c + a) \\
 &= 9350,882 \times (5,5 + 4,2) \\
 &= 90703,557 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## b. Beban gempa arah Y (melintang jembatan)

**Tabel 5.28 Distribusi Beban Gempa Arah Melintang (Y) Jembatan pada Pilar Kolom Tunggal**

No	Jenis Beban Mati	W (kN)	$T_{EQ}$ (kN)
1	Berat sendiri struktur atas	16704,552	7279,510
2	Beban mati tambahan	1130,304	492,564
3	Berat sendiri kepala pilar	2670	1163,689
4	Berat sendiri kolom pilar	952,589	415,119
Total Beban Gempa ( $T_{EQ}$ )			9350,882

$$\begin{aligned}
 \text{Momen pada kolom pilar } (M_{EQ}) &= T_{EQ} \times (L_c + a) \\
 &= 9350,882 \times (5,5 + 4,2) \\
 &= 90703,557 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 8. Kombinasi beban ultimit kolom pilar

## a. Rekapitulasi beban kerja pada pilar tunggal

**Tabel 5.29 Rekapitulasi Beban Kerja pada Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Kode	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
<b>Aksi Tetap</b>							
1	Berat sendiri	MS	20327,500				
2	Beban mati tambahan	MA	1130,304				
<b>Beban Lalu Lintas</b>							
3	Beban lajur "D"	TD	1349,200				
4	Beban pedestrian	TP	406				
5	Gaya rem	TB		152,080		1794,544	
<b>Aksi Lingkungan</b>							
6	Beban angin	EW	121,939	193,940	1317,462	940,612	17407,003
7	Beban gempa	EQ		9350,882	9350,882	90703,557	90753,557

## 9. Analisis kombinasi beban ultimit pada pilar tunggal

## a. Kuat I

**Tabel 5.30 Kombinasi Pembebanan Kuat I**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	26425,751				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"	1,8	4857,120				
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem	1,8		273,744		3230,179	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			33543,479	273,744	-	3230,179	-

## b. Kuat II

**Tabel 5.31 Kombinasi Pembebanan Kuat II Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	26425,751				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"	1,4	3777,760				
4	Beban pedestrian	1,4	568,400				
5	Gaya rem	1,4		212,912		2512,361	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			33032,519	212,912	-	2512,361	-

## c. Kuat III

**Tabel 5.32 Kombinasi Pembebanan Kuat III Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	26425,751				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem						
6	Beban angin	1,4	170,715	271,517	1844,448	1316,858	21603,132
7	Beban gempa						
Total Beban			28857,074	271,517	1844,448	1316,858	21603,132

## d. Kuat IV

**Tabel 5.33 Kombinasi Pembebanan Kuat IV Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	26425,751				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem						
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			28686,359	-	-	-	-

## e. Ekstrem I

**Tabel 5.34 Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1,3	26425,751				
2	Beban mati tambahan	2	2260,608				
3	Beban lajur "D"	0,3	809,520				
4	Beban pedestrian	0,3	121,800				
5	Gaya rem	0,3		45,624		538,363	
6	Beban angin						
7	Beban gempa	1		9350,882	9350,882	90703,557	90703,557
Total Beban			29617,679	9396,506	9350,882	91241,920	90703,557

## f. Layan I

**Tabel 5.35 Kombinasi Pembebanan Layan I Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	20327,501				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"	1	2698,4				
4	Beban pedestrian	1	406				
5	Gaya rem	1		152,08		1794,544	
6	Beban angin	1	121,939	193,941	1317,463	940,612	15430,809
7	Beban gempa						
Total Beban			24684,144	346,021	1317,463	2735,157	15430,809

## g. Layan II

**Tabel 5.36 Kombinasi Pembebanan Layan II Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	20327,501				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"	1,3	3507,920				
4	Beban pedestrian	1,3	527,8				
5	Gaya rem	1,3		197,704		2332,907	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			25493,525	197,704	-	2332,907	-

## h. Layan III

**Tabel 5.37 Kombinasi Pembebanan Layan III Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	20327,501				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"	0,8	2158,720				
4	Beban pedestrian	0,8	324,800				
5	Gaya rem	0,8		121,664		1435,635	
6	Beban angin						
7	Beban gempa						
Total Beban			23941,325	121,664	-	1435,635	-

## i. Layan IV

**Tabel 5.38 Kombinasi Pembebanan Layan IV Pilar Tunggal**

No	Aksi Beban	Faktor Beban	P (kN)	$T_x$ (kN)	$T_y$ (kN)	$M_x$ (kNm)	$M_y$ (kNm)
1	Berat sendiri	1	20327,501				
2	Beban mati tambahan	1	1130,304				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya rem						
6	Beban angin	0,7	85,357	135,759	922,224	658,429	10801,566
7	Beban gempa						
Total Beban			21543,162	135,759	922,224	658,429	10801,566

## j. Rekapitulasi beban ultimit kolom pilar

**Tabel 5.39 Rekapitulasi Kombinasi Beban Ultimit Pilar Tunggal**

No	Kombinasi Beban	$P_u$ (kN)	$T_{ux}$ (kN)	$T_{uy}$ (kN)	$M_{ux}$ (kNm)	$M_{uy}$ (kNm)
1	Kuat I	33543,479	273,744	-	3230,179	-
2	Kuat II	33032,519	212,912	-	2512,362	-
3	Kuat II	28857,074	271,517	1844,448	1316,858	21603,132
4	Kuat IV	28686,359	-	-	-	-
5	Ekstrem I	29617,679	9396,506	9350,882	91241,920	90703,557
6	Layan I	24684,144	346,021	1317,463	2735,157	15430,809
7	Layan II	25493,525	197,704	-	2332,907	-
8	Layan III	23491,325	121,664	-	1435,635	-
9	Layan IV	21543,162	135,759	922,224	658,429	10801,566

## 5.3.3 Analisis Struktur Pilar Kolom Tunggal

1. Pengaruh P - Delta ( $\Delta$ )

$$\text{Gaya aksial ultimit pilar } (P_u) = 24684,144 \text{ kN}$$

$$\text{Momen ultimit pilar } (M_u) = 2735,157 \text{ kN}$$

$$\text{Momen nominal } (\phi M_n) = 56000 \text{ kNm (diagram interaksi)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter kolom pilar (D)} &= 2,97 \text{ m} \\
 \text{Tinggi kolom pilar (L}_c\text{)} &= 5,5 \text{ m} \\
 \text{Inersia penampang kolom pilar (I}_c\text{)} &= \frac{1}{64} \times \pi \times D^4 \\
 &= \frac{1}{64} \times \pi \times 2,97^4 \\
 &= 3,819 \text{ m}^4 \\
 \text{Mutu beton (f}_c'\text{)} &= 30 \text{ Mpa} \\
 \text{Modulus elastisitas beton (E}_c\text{)} &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \\
 &= 25742,960 \text{ MPa} \\
 &= 25742960 \text{ kPa} \\
 \text{Perpindahan elastis (}\Delta_e\text{)} &= \frac{M_u \times L_c^2}{E_c \times I_c} \\
 &= \frac{2735,157 \times 5,5^2}{25742960 \times 3,819} \\
 &= 0,000841 \text{ m} \\
 T_s &= 0,582 \\
 \text{Waktu getar (T)} &= 0,235 \\
 1,25 \times T_s &= 1,25 \times 0,582 \\
 &= 0,727 \\
 \text{Karena nilai } T < 1,25T_s, \text{ maka nilai } R_d \text{ dihitung:} \\
 R_d &= \left(1 - \frac{1}{R}\right) \times \frac{1,25T_s}{T} + \frac{1}{R} \\
 &= \left(1 - \frac{1}{2}\right) \times \frac{0,727}{0,235} + \frac{1}{2} \\
 &= 2,043 \\
 \text{Perpindahan titik kolom (}\Delta\text{)} &= R_d \times \Delta_e \\
 &= 2,043 \times 0,000841 \\
 &= 0,00171 \text{ m} \\
 \text{Cek} &= \Delta P_u \leq 0,25 \phi M_n \\
 &= 0,0268 \times 29617,679 \leq 0,25 \times 92000
 \end{aligned}$$

$$= 42,452 \leq 23000 \text{ kNm (OKE)}$$

## 2. Pengaruh *buckling*

$$\text{Tinggi kolom pilar } (L_c) = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Inersia penampang kolom pilar } (I_c) = 3,819 \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang kolom pilar } (A) &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,97^2 \\ &= 6,928 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari – jari inersia penampang kolom } (r) &= \sqrt{\frac{I_c}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{3,819}{6,928}} \\ &= 0,742 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor panjang tekuk } (K) = 2,2$$

$$\begin{aligned} \text{Angka kelangsingan} &= K \times \frac{L_c}{r} \leq 22 \\ &= 2,2 \times \frac{5,5}{0,742} \leq 22 \\ &= 14,815 \leq 22 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

Karena nilai angka kelangsingan  $\leq 22$ , maka faktor tekuk tidak berpengaruh terhadap perencanaan pilar kolom tunggal. Sehingga, pengaruh *buckling* tidak perlu diperhitungkan dan tidak ada perbesaran momen ultimit.

## 3. Pembesian kolom pilar

$$\text{Mutu beton } (f_c') = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja tulangan } (f_y) = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter kolom pilar } (D) = 2970 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang kolom pilar } (A_g) &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2970^2 \\ &= 6927919,660 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal selimut beton } (P_b) = 80 \text{ mm}$$

Diameter tulangan pokok ( $D_{pokok}$ ) = 32 mm

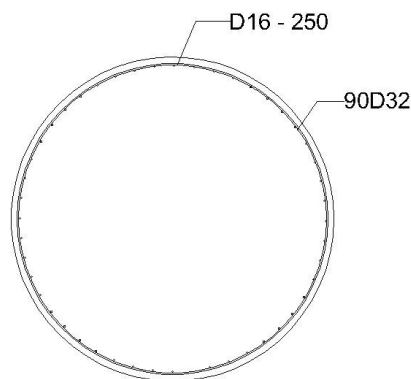
Rasio tulangan diasumsikan terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengecekan pada diagram interaksi kolom. Jika beban ultimit berada didalam diagram interaksi maka rasio tulangan pakai sesuai dengan asumsi.

Rasio tulangan diperlukan ( $\rho$ ) = 1 %

Luas tulangan diperlukan ( $A_s$ ) =  $A_g \times \rho$   
 =  $6927918,660 \times 1\%$   
 =  $69279,186 \text{ mm}^2$

Luas 1 tulangan ( $A_{s1D}$ ) =  $\frac{1}{4} \times \pi \times D_{pokok}^2$   
 =  $\frac{1}{4} \times \pi \times 32^2$   
 =  $804,247 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan diperlukan (n) =  $\frac{A_s}{A_{s1D}}$   
 =  $\frac{69279,186}{804,247}$   
 = 86,141  
 = 90 buah



**Gambar 5.20 Detail Tulangan Kolom Pilar Tunggal**

4. Analisis kekuatan aksial dan lentur kolom pilar

Diameter kolom pilar ( $b=D$ ) = 2970 mm

Tinggi kolom pilar ( $L_c$ )	= 5500 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 Mpa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	= 420 Mpa
Modulus elastisitas baja ( $E_s$ )	= 200000 MPa
$\beta_1$	$= 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \times (f_c' - 28)\right)$ $= 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \times (40 - 28)\right)$ $= 0,836$
Tulangan pokok ( $D_{pokok}$ )	= 32 mm
Tulangan sengkang ( $D_{sengkang}$ )	= 16 mm
Selimut beton ( $P_b$ )	= 80 mm
Jumlah tulangan	= 90 buah
Faktor reduksi ( $\phi$ )	= 0,75
Luas penampang kolom pilar ( $A_g$ )	$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 2970^2$ $= 6927918,660 \text{ mm}^2$
Luas tulangan kolom pilar ( $A_{st}$ )	$= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D_{pokok}^2\right) \times \text{jumlah tulangan}$ $= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 32^2\right) \times 90$ $= 72382,294 \text{ mm}^2$
$d' = ds$	$= P_b + D_{sengkang} + (D_{pokok}/2)$ $= 80 + 16 + (32/2)$ $= 112 \text{ mm}$
$d''$	$= (h - ds - d')/2$ $= (2970 - 112 - 112)/2$ $= 1373 \text{ mm}$
$d$	$= h - ds$ $= 2970 - 112$

$$= 2858 \text{ mm}$$

a. Kondisi kuat tekan murni

$$\begin{aligned} P_{no} &= 0,85 \times \phi \times (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + (A_{st} \times f_y)) \\ &= 0,85 \times 0,75 \times (0,85 \times 30 \times (6927918,660 - \\ &\quad 72382,294) + (72382,294 + 420)) \times 10^{-3} \\ &= 130825,672 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_n = 0 \text{ kNm}$$

b. Kondisi seimbang

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{600}{600+f} \times d \\ &= \frac{600}{600+4} \times 2858 \\ &= 1681,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \times C_b \\ &= 0,836 \times 1681,176 \\ &= 1404,980 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = 0,003$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{1404,980-1}{1404,980} \times 0,003 \\ &= 0,00280 > \varepsilon_y \text{ (tulangan tekan leleh)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= 600 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \\ &= 600 \times \left(\frac{3888-1404,980}{1404,980}\right) \\ &= 420 \leq f_y \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$P_{nb} = \phi \times (0,85 \times f_c' \times b \times a_b + A_s \times f_s - A_s \times f_y)$$

$$\begin{aligned}
&= 0,75 \times (0,85 \times 30 \times 2970 \times 1404,980 + \\
&\quad 72382,294 \times 420 - 72382,294 \times 420) \times 10^{-3} \\
&= 78420,490 \text{ kN} \\
M_{nb} &= \phi \times (0,85 \times f_c' \times b \times a_b \times (d - \frac{a_b}{2} - d'') + A_s \times \\
&\quad F_s \times (d - d' - d'') + A_s \times f_y \times d'') \\
&= 0,75 \times (0,85 \times 30 \times 2970 \times 1404,980 \times (2858 - \\
&\quad \frac{1404,980}{2} - 1373) + 72382,294 \times 420 \times (2858 - \\
&\quad 112 - 1373) + 72382,294 \times 420 \times 1373) \times \\
&\quad 10^{-6} \\
&= 123157,229 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

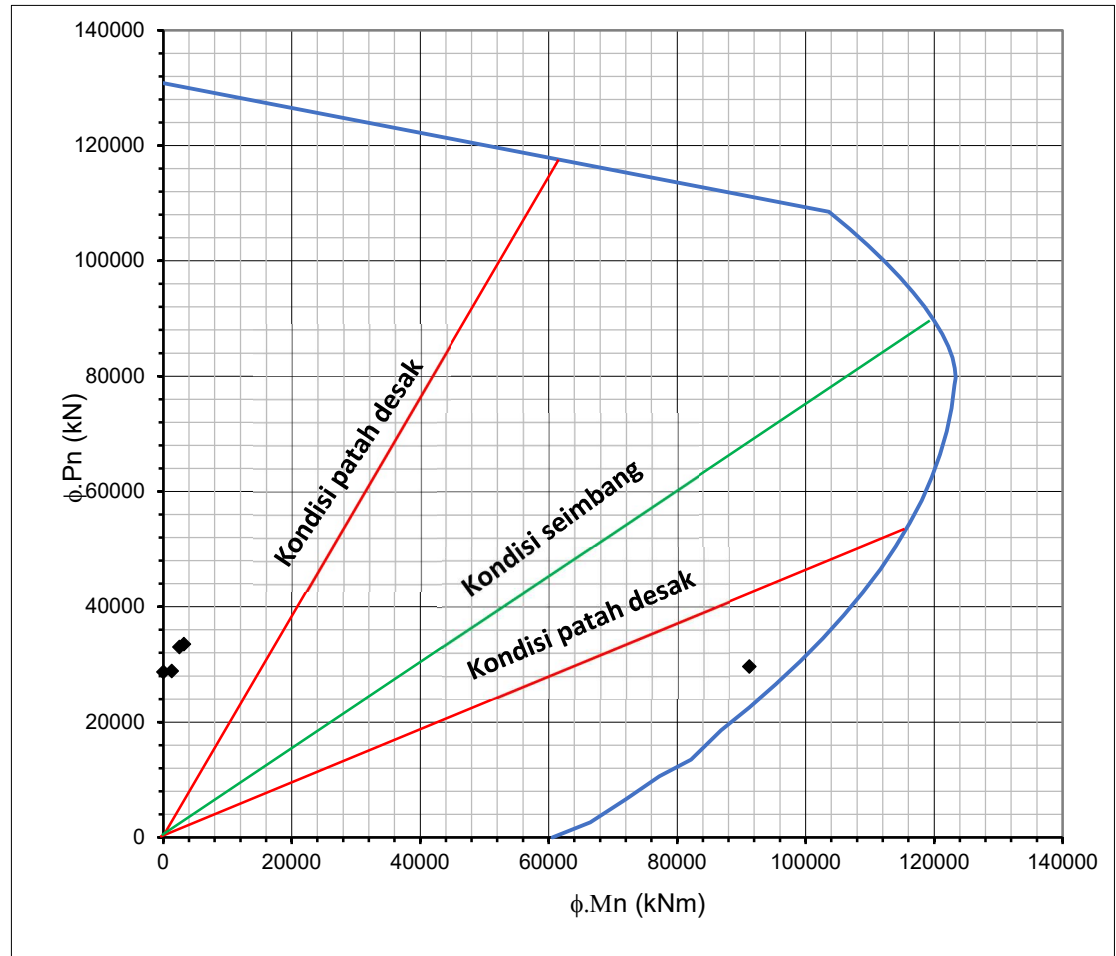
c. Lentur murni

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} \\
&= \frac{72382,294 \times 420}{0,85 \times 2970 \times 30} \\
&= 401,407 \text{ mm} \\
M_{no} &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
&= 0,75 \times 72382,294 \times 420 \times (2858 - \frac{401,407}{2}) \\
&= 60587,483 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Hasil analisis diagram interaksi kolom pilar Tabel 5.38 dan Gambar 5.21 berikut ini.

**Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Analisis Kekuatan Aksial dan Lentur Pilar Kolom Tunggal**

C	$\epsilon_s$	Cek	fs	$\phi P_n$ (kN)	$\phi M_n$ (kNm)
Tekan Murni				130825,672	0
Kondisi Patah Desak					
3773,647	0,00291	Baja tekan leleh	18,181	108480,220	103621,670
3659,294	0,00290	Baja tekan leleh	37,5	105538,7	106806,272
3544,941	0,00290	Baja tekan leleh	58,064	102664,840	109710,562
3430,588	0,00290	Baja tekan leleh	80	99865,405	112334,542
3316,235	0,00289	Baja tekan leleh	103,448	97148,096	114678,210
3201,882	0,00289	Baja tekan leleh	128,571	94521,709	116741,567
3087,529	0,00289	Baja tekan leleh	155,556	91996,349	118524,614
2973,176	0,00288	Baja tekan leleh	184,615	89583,671	120027,349
2858,824	0,00288	Baja tekan leleh	216	87297,199	121249,773
2744,471	0,00287	Baja tekan leleh	250	85152,708	122191,886
Kondisi Seimbang					
2287,059	0,00285	Baja tekan leleh	420	78420,490	123157,229
Kondisi Patah Tarik					
2172,706	0,00284	Baja tekan leleh	420	74430,250	122697,788
1944	0,00282	Baja tekan leleh	420	70440,010	121958,035
1829,647	0,00281	Baja tekan leleh	420	66449,770	120937,971
1715,294	0,00280	Baja tekan leleh	420	62459,529	119637,596
1600,941	0,00279	Baja tekan leleh	420	58469,289	118056,910
1486,588	0,00277	Baja tekan leleh	420	54479,0497	116195,914
1372,235	0,00275	Baja tekan leleh	420	50488,809	114054,606
Lentur Murni				0	60587,483



**Gambar 5.21 Diagram Interaksi Pilar Kolom Tunggal**

5. Nilai geser beton kolom pilar

Gaya aksial ultimit rencana ( $P_u$ )	= 29617,679 kN
	= 29617679,06 N
Momen ultimit rencana ( $M_u$ )	= 91241,920 kNm
	= 91241920371 Nmm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 Mpa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	= 420 Mpa
Diameter kolom ( $B=D$ )	= 2970 mm
Faktor reduksi geser ( $\phi$ )	= 0,75

$$\begin{aligned}
 d' &= 112 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi kolom pilar } (L_c) &= 5500 \text{ mm} \\
 \text{Gaya geser ultimit akibat momen} &= \frac{M_u}{L} \\
 &= \frac{91241920371}{5500} \\
 &= 1658440,07 \text{ N} \\
 \text{Gaya geser ultimit akibat lateral} &= \frac{T_{u_x}}{n \text{ kolom}} \\
 &= \frac{9396505,183}{1} \\
 &= 9396506,183 \text{ N} \\
 \text{Gaya geser ultimit pakai } (V_u) &= 1658440,07 \text{ N} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 2970 - 112 \\
 &= 2858 \text{ mm} \\
 \text{Nilai geser beton } (V_c) &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c'} \times b_v \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 2970 \times 2858 \\
 &= 7748685,793 \text{ N} \\
 V_s &= V_u - V_c \\
 &= 1658440,07 - 7748685,793 \\
 &= 8840753,274 \text{ N} \\
 0,5 \times \phi V_c &= 0,5 \times 0,75 \times 7748685,793 \\
 &= 2905757,172 \text{ N} \\
 \text{Diameter tulangan sengkang} &= 16 \text{ mm} \\
 \text{Luas tulangan geser } (A_v) &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{sengkang}^2 \times n \text{ kaki} \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 2 \\
 &= 402,123 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jarak tulangan geser perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{402,123 \times 420 \times 2858}{8840754,274}$$

$$= 559,428 \text{ mm}$$

Jarak tulangan geser pakai (S) = 250 mm

Cek =  $0,5 \phi V_c \leq V_u$

$$= 2905757,172 \leq 1658440,07 \text{ (OK)}$$

6. Daktilitas kolom pilar ( $\rho_s$ )

Luas penampang kolom pilar ( $A_g$ ) = 6927918,66 mm<sup>2</sup>

Jarak tulangan geser (S) = 200 mm

Selimit beton ( $P_b$ ) = 80 mm

Diameter kolom pilar (D) = 2970 mm

Diameter inti kolom pilar ( $d_c$ ) =  $D - (2 \times P_b)$

$$= 2970 - (2 \times 80)$$

$$= 2810 \text{ mm}$$

Luas tulangan geser ( $A_{sp}$ ) = 402,123 mm<sup>2</sup>

Luas inti kolom pilar ( $A_c$ ) =  $\frac{1}{4} \times \pi \times d_c^2$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 2810^2$$

$$= 6201582,438 \text{ mm}^2$$

Daktilitas ( $\rho_s$ ) =  $\frac{4 \times A_{sp}}{d_c \times S}$

$$= \frac{4 \times 402,123}{2810 \times 200}$$

$$= 0,00457$$

Cek =  $\rho_s \geq 0,45 \times \left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right) \times \frac{f_c'}{f_y}$

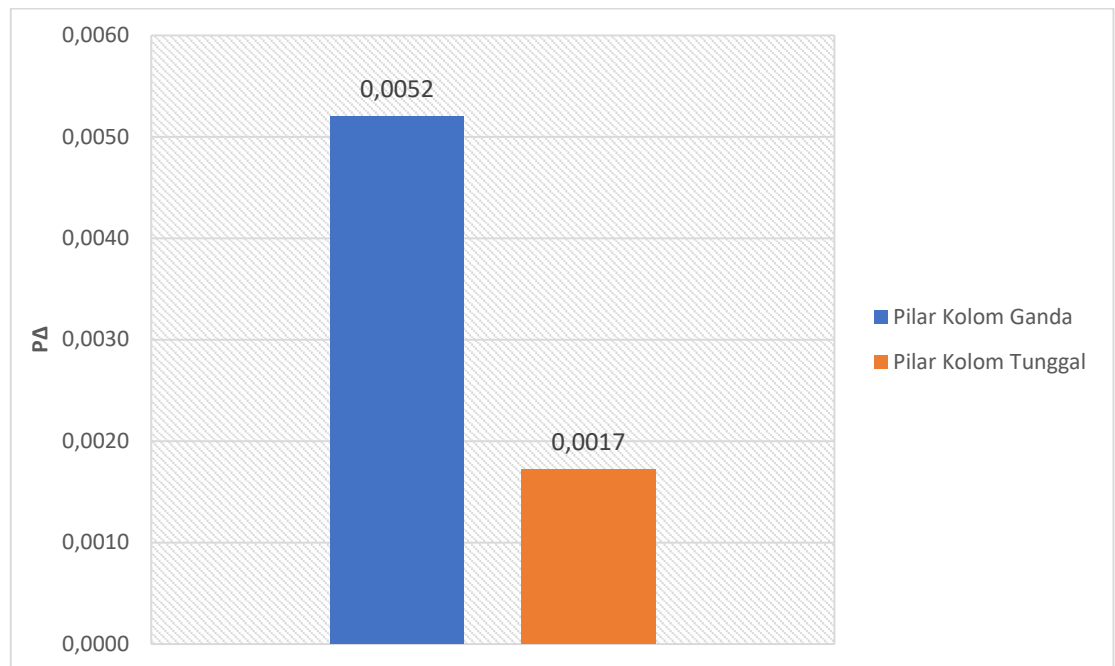
$$= 0,00457 \geq 0,45 \times \left(\frac{6927918,66}{6201582,438} - 1\right) \times \frac{30}{420}$$

$$= 0,00457 \geq 0,00376 \text{ (Oke)}$$

#### 5.4 Hasil Pembahasan

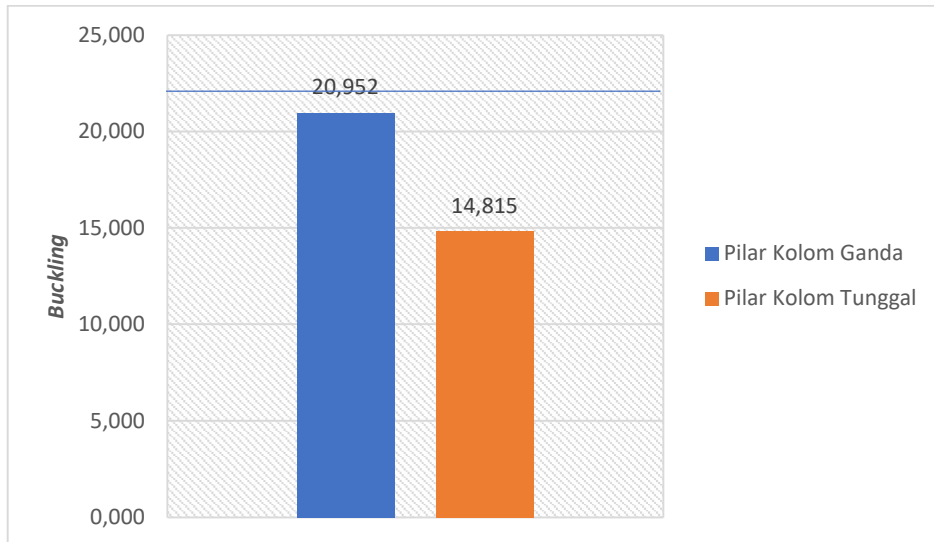
Pada sub bab diatas telah dilakukan analisis struktur pilar ganda dan pilar tunggal. Hasil perbandingan analisis struktur pada kedua jenis pilar adalah sebagai berikut.

##### 1. Perbandingan pengaruh P-delta



**Gambar 5.22 Perbandingan Pengaruh P-delta**

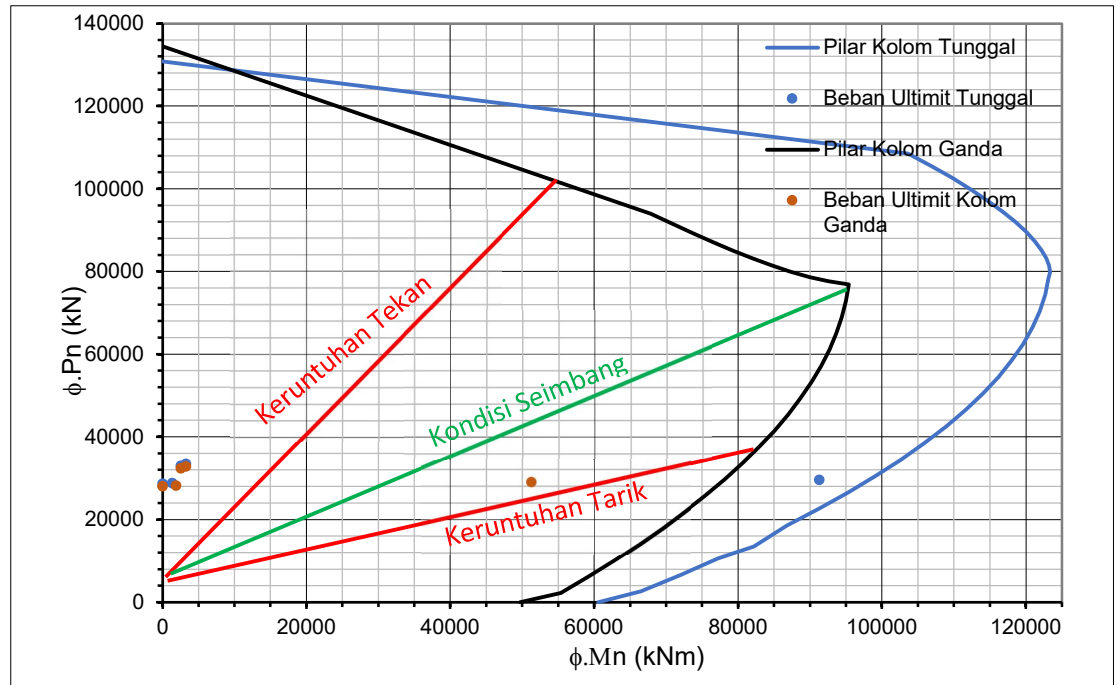
## 2. Perbandingan pengaruh *buckling*



**Gambar 5.23 Pengaruh *Buckling***

Pada analisis pengaruh *buckling*, digunakan rumus  $\frac{KL}{r} \leq 22$ , dapat dilihat pada Gambar diatas bahwa kedua buah pilar memiliki nilai pengaruh *buckling* dibawah 22. Tetapi, untuk pilar ganda nilainya lebih besar dibanding pilar tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa pilar ganda lebih langsing dibanding pilar tunggal.

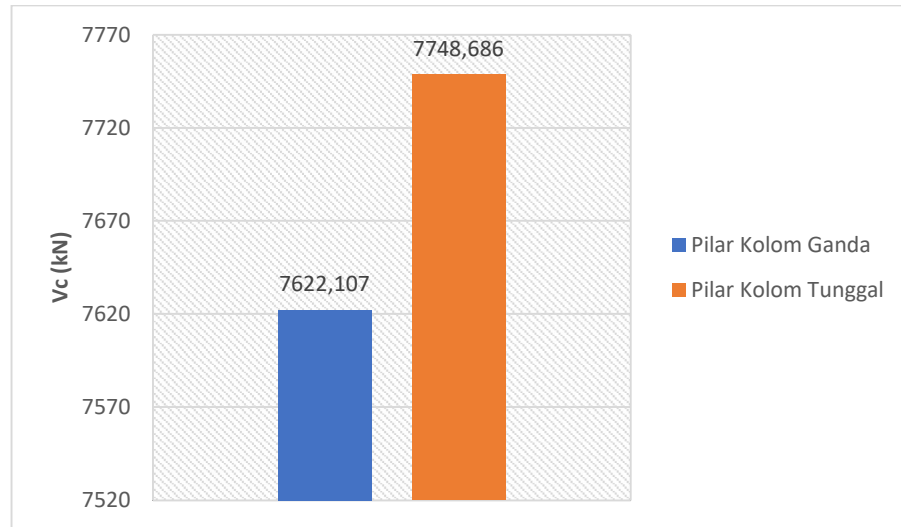
### 3. Kekuatan aksial dan lentur kolom pilar



**Gambar 5.24 Perbandingan Diagram Interaksi Kolom Pilar**

### 4. Nilai geser beton pilar

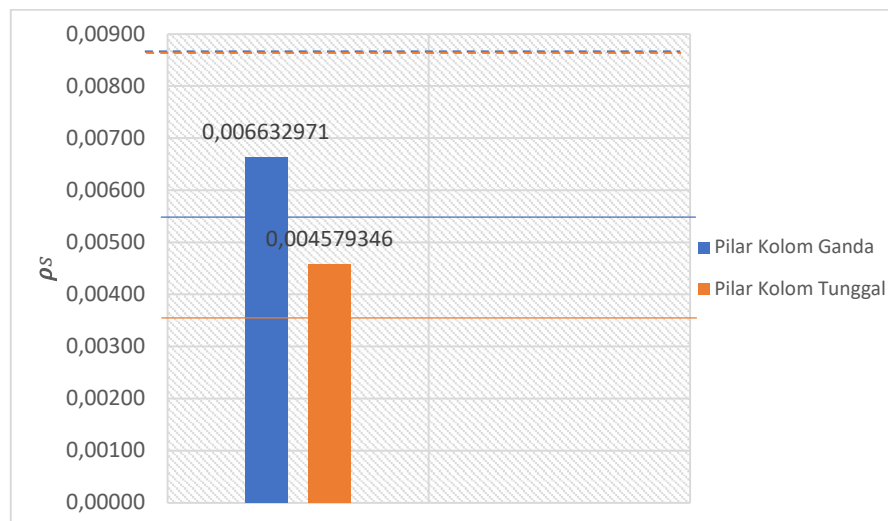
Dari hasil perhitungan nilai geser beton ( $V_c$ ) antara kedua jenis pilar didapatkan hasil untuk pilar ganda sebesar 7622,107 kN dan untuk pilar kolom tunggal sebesar 7748,686. Berikut merupakan grafik hasil perbandingan kekuatan geser antara kedua jenis pilar.



**Gambar 5.25 Grafik Perbandingan Nilai Geser**

#### 5. Daktilitas kolom pilar

Dari hasil analisis yang sudah dilakukan pada sub bab diatas, didapatkan nilai daktilitas pilar ganda dan pilar tunggal sebesar 0,00663 dan 0,00457.



**Gambar 5.26 Grafik Perbandingan Daktilitas Pilar Jembatan**

Sesuai pada perhitungan pada sub – bab diatas, daktilitas kolom pilar dihitung dan dilakukan pengecekan dengan rumus  $0,12 \times \frac{f'c}{f_y}$  (garis putus-putus) dan 0,45

$\times \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_y}$  (garis tegas lurus). Masing – masing hasil perhitungan tersebut mendapatkan nilai 0,00857, 0,00552 (pilar ganda), dan 0,00376 (pilar tunggal).

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur pilar jembatan kolom ganda dan pilar jembatan kolom tunggal pada studi kasus Jembatan Tawang berdasarkan tujuan penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan dari hasil perhitungan pengaruh P-delta menunjukkan bahwa pilar ganda memiliki nilai perpindahan titik kolom yang lebih besar dibandingkan pilar tunggal.
2. Berdasarkan dari hasil perhitungan pengaruh *buckling* menunjukkan bahwa angka kelangsingan pada pada pilar ganda lebih besar dibandingkan pilar tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa pilar ganda mengalami tekukan yang lebih besar.
3. Berdasarkan dari diagram interaksi kolom Mn – Pn menunjukan bahwa pada kondisi tekan sentris pilar ganda lebih besar. Tetapi, pada kondisi keruntuhan tekan, kondisi seimbang, dan keruntuhan tarik pilar tunggal lebih besar.
4. Hasil perhitungan kuat geser beton pada pilar ganda dan pilar tunggal masing – masing sebesar 7622,107 kN dan 7748,686 kN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pilar tunggal memiliki nilai geser beton yang lebih besar dengan selisih 1,64%.
5. Hasil perhitungan daktilitas kolom pada pilar kolom ganda menunjukkan bahwa nilai  $\rho_s$  sebesar 0,00663, dan hasil perhitungan pada pilar kolom tunggal menunjukkan bahwa nilai  $\rho_s$  sebesar 0,00457. Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pilar tunggal lebih daktail.

### 6.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian diatas, penulis dapat menyarankan untuk melakukan penelitian untuk selanjutnya sebagai berikut.

1. Melakukan perbandingan pilar jembatan kolom tunggal dan pilar jembatan kolom ganda dengan variabel lain, misalnya perhitungan volume, *serviceability* pilar

dengan menggunakan metode *performance based design*, dan penampang pilar diubah menjadi persegi.

2. Melakukan perbandingan dengan tipe pilar lain, misalnya pilar tembok (*pier wall*), pilar jembatan portal, pilar jembatan dengan kolom lebih dari 2, dan pilar jembatan dengan kolom baja.
3. Melakukan pembahasan perbandingan metode pelaksanaan pembangunan pilar jembatan kolom tunggal dengan pilar jembatan kolom ganda.

## DAFTAR PUSTAKA

Ade A. 2022. Pengaruh Gempa pada Penggunaan Tipe *Pier* Jembatan Kereta Api BH 38 Tebing Tinggi – Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Sumatera Utara.

Astrid T. 2022. Evaluasi Kapasitas Pilar pada Jembatan Integral terhadap Pengaruh Beban Lalu Lintas dan Beban Gempa Vertikal. *Tugas Akhir*. Politeknik Negeri Jakarta. D.K.I Jakarta.

Dwi G, dan Dian S. 2021. Analisis Pilar Beton Bertulang dengan Pembebanan Gempa Berdasarkan Peta Gempa SNI 1726-2019 dan Peta Gempa Indonesia 2017 dengan SAP2000. *Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Farah A, M. Riyansyah, Aris A, dan Erwin L. 2023. Evaluasi Kinerja Jembatan Lemah Ireng II berdasarkan *Performance Based Seismic Design*. *Jurnal Teknisia*. Vol. 28 No.1: 1-70. Yogyakarta.

Habibi A, dan Arief R. 2021. Perencanaan Struktur Pilar (P1) Jembatan Beton Bertulang Sungai Pepe Kabupaten Boyolali Jawa Tengah. *STIMA 5.0 Kebangkitan Nasional Digital Era Industri 4.0*. Vol 5. Jawa Barat.

Hamdeni M, Jafril T, dan Oscar F. 2015. Evaluasi Kinerja Struktur Pilar Jembatan Purus pada saat Gempa Kuat dengan Metode Elemen Hingga Non Linier Tiga Dimensi. *Jurnal Momentum*. Vol17, No 2. Sumatera Barat.

Ockto P, Zulfikar, dan Alex. 2015. Perbandingan Kinerja Pilar Jembatan menggunakan Metode *Dirrect Displacement Based Design* dan *Capacity Spectrum Method*. *Tugas Akhir*. Universitas Riau. Riau.

Pedoman Praktis Perencanaan Teknik Jembatan Bina Marga. 2021. Direktorat Jenderal Bina Marga.

Rahai A. 2004. *Effect of Earthquake Vertical Motion on RC Bridge Piers*. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering. Canada. Agustus 1-6:3192.

RSNI – T02 – 2005. *Pembebanan pada Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.

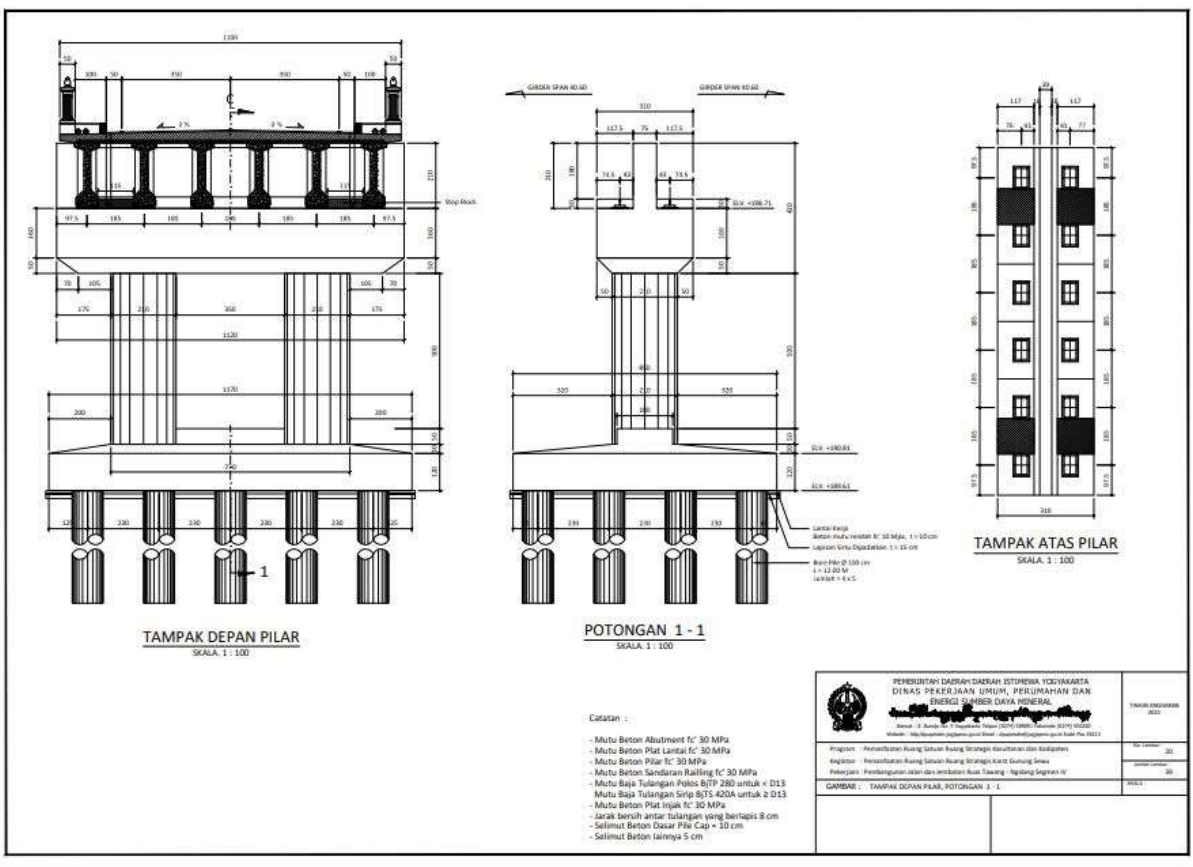
SNI 1726-2016. *Pembebanan pada Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 2833-2008. *Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa*. Badan Standarisasi Nasional.

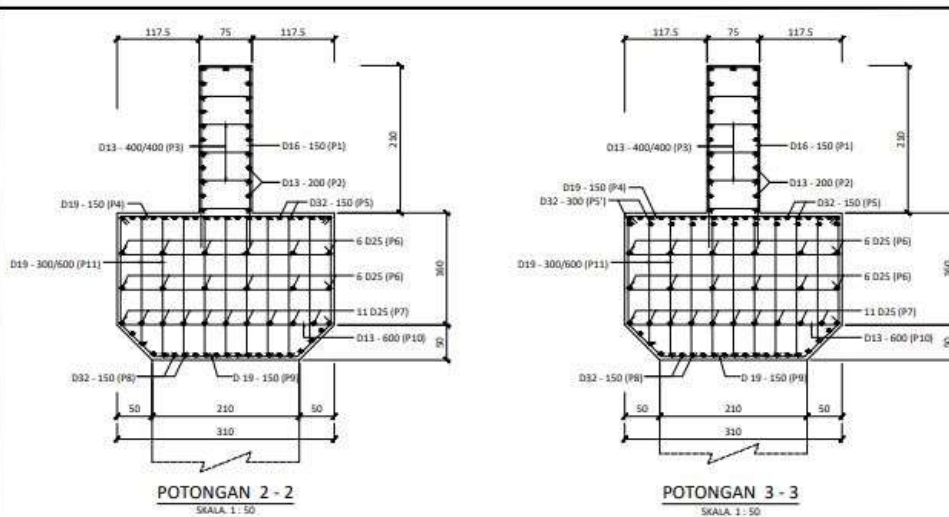
Yufrizal E, Ade F, dan Daniel R. Evaluasi Simpangan Horizontal Pilar Jembatan Beton Bertulang. *Tesis*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Sumatera Utara.

Zasly M, dan Eka F. 2020. Kinerja Struktur Pilar Jembatan *Steel Box Girder* akibat Gempa dengan Metode Pendekatan *Pushover Analysis*. *Tugas Akhir*. Universitas Teknologi Yogyakarta. Yogyakarta.

# LAMPIRAN



 PEKERJAAN DASAR DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DINAS PEKERJAAN UMUM, PERUMAHAN DAN ENERGI SUDIRMANOVA INDONESIA		TITIK 2021
Program : Perencanaan Ruang Sektoral Ruang Strategis Kabupaten dan Kota Kegiatan : Perencanaan Ruang Sektoral Ruang Strategis Kota Gunung Sawa Pekerjaan : Perencanaan Jalan dan jembatan Rute Towring - Ngabang Segitiga II	No. Dokumen : 001 Revisi : 00	No. 001 No. 001
GAMBAR : TAMPAK DEPAN PILAR, POTONGAN 1 - 1		No. 001



DAFTAR TULANGAN KEPALA PILAR JEMBATAN NGALANG IV

KETERANGAN	DIMETER D / Ø	UKURAN ( Cm )					2 X Kait 2 x 40	PANJANG M	JUMLAH 1	JUMLAH 2	JUMLAH TOTAL	TOTAL PANJANG ( m )	BERAT ( Kg/m )	TOTAL BERAT ( Kg )
		A	B	C	D	E								
A. Back Wall														
P1	D16-150	290	75	250	0	0	25.60	6.01	75	0	75	450.45	1.90	102.70
P2	D13-200	1120	0	0	0	0	20.80	11.41	24	0	24	273.79	1.00	272.42
P3	D13-400/400	75	0	0	0	0	20.80	0.98	7	26	198	187.77	1.00	188.85
P4	D19-150	310	0	0	0	0	30.40	3.40	75	0	75	255.30	2.25	514.43
P5	D32-150	1120	0	0	0	0	35.60	11.40	21	0	21	240.56	6.40	1540.55
P6	D25-300	480	0	0	0	0	75.60	4.06	22	0	22	106.83	6.40	684.11
P6	D25-950	1120	0	0	0	0	40.00	11.60	12	0	12	159.20	3.96	554.03
P7	D25-300	1120	0	0	0	0	40.00	11.60	11	0	11	157.60	3.98	567.85
P8	D32-150	160	70	980	70	980	25.60	14.62	21	0	21	307.78	6.40	1970.67
P9	D16-150	160	70	210	70	980	30.40	7.00	75	0	75	525.30	2.25	1181.93
P10	D13-600	290	0	0	0	0	20.80	3.11	60	0	60	186.48	1.00	185.55
P11	D19-300/600	210	0	0	0	0	30.40	2.40	9	30	180	432.72	2.25	975.62
												<b>9334.85</b>		
VOLUME TULANGAN KEPALA PILAR												<b>9.334.85</b>		

- Catatan :
- Mutu Beton Abutment f'c 30 MPa
  - Mutu Beton Plat Lantai f'c 30 MPa
  - Mutu Beton Pilar f'c 30 MPa
  - Mutu Beton Sandaran Railing f'c 30 MPa
  - Mutu Baja Tulangan Pokok BJTS 280 untuk < D13
  - Mutu Baja Tulangan Srip BJTS 420A untuk > D13
  - Mutu Beton Plat Injak f'c 30 MPa
  - Jarak bersih antar tulangan yang berlipat 8 cm
  - Selimut Beton Dasar Pile Cap = 8 cm
  - Selimut Beton lainnya 8 cm

 <p>PEMERINTAH DAERAH DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DINAS PEKERJAAN UMUM, PERUMAHAN DAN ENERGI DAN DAYA HUMANIS</p> <p>Alamat : Jl. Nurul Huda, Yogyakarta, 55132 Telp. : 0271-8364000, 8364001, 8364002, 8364003, 8364004, 8364005, 8364006, 8364007, 8364008, 8364009, 8364010, 8364011, 8364012, 8364013, 8364014, 8364015, 8364016, 8364017, 8364018, 8364019, 8364020, 8364021, 8364022, 8364023, 8364024, 8364025, 8364026, 8364027, 8364028, 8364029, 8364030, 8364031, 8364032, 8364033, 8364034, 8364035, 8364036, 8364037, 8364038, 8364039, 8364040, 8364041, 8364042, 8364043, 8364044, 8364045, 8364046, 8364047, 8364048, 8364049, 8364050, 8364051, 8364052, 8364053, 8364054, 8364055, 8364056, 8364057, 8364058, 8364059, 8364060, 8364061, 8364062, 8364063, 8364064, 8364065, 8364066, 8364067, 8364068, 8364069, 8364070, 8364071, 8364072, 8364073, 8364074, 8364075, 8364076, 8364077, 8364078, 8364079, 8364080, 8364081, 8364082, 8364083, 8364084, 8364085, 8364086, 8364087, 8364088, 8364089, 8364090, 8364091, 8364092, 8364093, 8364094, 8364095, 8364096, 8364097, 8364098, 8364099, 8364100</p>	Tahun Anggaran 2023
	Program : Peningkatan Ruang Sektoral Ruang Strategis Kesehatan dan Kependidikan Kegiatan : Peningkatan Ruang Sektoral Ruang Strategis Kandang Sapi Subkegiatan : Peningkatan Jalan dan Perbaikan Ruang Sektoral Kegiatan Kegiatan IV
GAMBAR : DETAIL PENULANGAN KEPALA PILAR, DAFTAR TULANGAN KEPALA PILAR	



