

SKRIPSI

**PERENCANAAN *PILE CAP* JEMBATAN DENGAN BENTUK DAN
DIMENSI YANG BERVARIASI
(STUDI KASUS : JEMBATAN SEI KALAP GADUR DAN SEI KALAP
SEBAN KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR)**

Oleh :

**RACHMAD RIFANI
DAB 112 069**



**JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2020**

SKRIPSI

**PERENCANAAN *PILE CAP* JEMBATAN DENGAN BENTUK DAN
DIMENSI YANG BERVARIASI (STUDI KASUS : JEMBATAN SEI
KALAP GADUR DAN SEI KALAP SEBAN KABUPATEN
KOTAWARINGIN TIMUR)**

Oleh

RACHMAD RIFANI
NIM. DAB 112 069

Disetujui untuk diajukan dalam Ujian Skripsi :

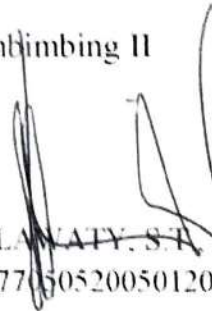
Palangka Raya, 10 Desember 2020

Pembimbing I



FRANSISCO H. R. H. BARU, S.T., M.Si.
NIP. 197404201999031002

Pembimbing II



OKTA MEILANYATY, S.T., M.T.
NIP. 197705052005012022

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua,



Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

SKRIPSI

PERENCANAAN *PILE CAP* JEMBATAN DENGAN BENTUK DAN DIMENSI YANG BERVARIASI (STUDI KASUS : JEMBATAN SEI KALAP GADUR DAN SEI KALAP SEBAN KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR)

oleh

RACHMAD RIFANI
NIM. DAB 112 069

Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form Rekomendasi
dan Berita Acara Ujian Skripsi

Palangka Raya, Desember 2020

Pembimbing I



FRANSISCO H. R. H. BARU, S.T., M.Si.
NIP. 19740420 199903 1 002

Pembimbing II



OKTA MEILAWATY, S.T., M.T.
NIP. 19770505 200501 2 022

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua



Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

**PERENCANAAN *PILE CAP* JEMBATAN DENGAN BENTUK DAN
DIMENSI YANG BERVARIASI
(STUDI KASUS : JEMBATAN SEI KALAP GADUR DAN SEI KALAP
SEBAN KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya






oleh

RACHMAD RIFANI
NIM. DAB 112 069

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada :

Hari/Tanggal : Senin / 21 Desember 2020
Waktu : 13.00 – 15.00 WIB
Tempat : Ruang Sidang Jurusan Teknik Sipil


Tim Penguji :

- | | |
|---|---|
| 1. FRANCISCO H. R. H. BARU, S.T., M.Si.
NIP. 19740420 199903 1 002 | 
..... (Ketua/Pembimbing I) |
| 2. OKTA MEILAWATY, S.T., M.T.
NIP. 19770505 200501 2 022 | 
..... (Sekretaris/Pembimbing II) |
| 3. Ir. MARYANTO, M.T.
NIP. 19660308 199302 1 001 | 
..... (Anggota) |
| 4. FRIEDA, S.T., M.T.
NIP. 19721223 199702 2 002 | 
..... (Anggota) |
| 5. Ir. LILIK HERMAWAN, M.T.
NIP. 19571221 199203 1 001 | 
..... (Anggota) |

Mengetahui :

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua,


Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya



Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 19651119 199302 1 001

BIODATA PENULIS



Data Pribadi

Nama : Rachmad Rifani
NIM : DAB 112 069
Tempat, Tanggal lahir : Sampit, 17 Juli 1994
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya : Jl. Bima No. 19, Palangka Raya
No. Telp Rumah : -
Alamat Asal : Jl. Sudirman Gg. Nyai Balau No. 19 B Sampit
Email : rachmadrifani@gmail.com
No. Hp : 0813 4914 7744
No WA : 0813 4914 7744
Facebook : Rachmad Rifani
Instagram : rachmad_rifani
Line : rifani
Nama Ayah : Hairul Saleh
Pekerjaan Ayah : PENSIUNAN PNS
Alamat : Jl. Bima No. 19, Palangka Raya
No. Hp : 081215632587
Nama Ibu : Suriyana
Pekerjaan Ibu : PNS
Alamat : Jl. Sudirman Gg. Nyai Balau No. 19 B Sampit
No. Hp : -
Wali : -

Riwayat Pendidikan*)

- TK : TK Baiturrahim Sampit (1999 – 2000)
- SD : SD Negeri 5 Mentawa Baru Hulu Sampit (2000 – 2006)
- SLTP : SMP Negeri 2 Sampit (2006-2009)
- SLTA : SMA Negeri 1 Sampit (2009-2012)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-I pada jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan Agustus 2012

Aktivitas Organisasi*)

Palangka Raya, Desember 2020
Yang membuat pernyataan

RACHMAD RIFANI
NIM. DAB 112 069

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Palangka Raya, Desember 2020

Yang membuat pernyataan



RACHMAD RIFANI
NIM. DAB 112 069

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan mengucap syukur Alhamdulillah kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan selama ini sehingga Skripsi ini dapat saya selesaikan.

Dengan penuh kerendahan hati serta suka cita yang mendalam, Skripsi ini saya persembahkan kepada

Keluarga saya yaitu Ayah tercinta Hairul Saleh dan ibu saya tercinta Suriyana. Terima kasih atas semua didikan, dukungan serta do'anya sehingga putramu telah mencapai tahap ini. Dan juga saudara saya Muhammad Taufan Kamil yang telah membantu, dan memberi dukungan, semangat dan do'a buat adiknya ini.

Untuk kampus tercinta Universitas Palangka Raya, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil tempat saya menimba ilmu selama ini.

Terima kasih juga kepada dosen pembimbing Skripsi bapak Fransisco H. R. H. Baru, S.T., M.Si. dan Ibu Okta Meilawaty, S.T., M.T. yang tak pernah bosan dalam mengajari dan memberikan bimbingannya dalam pengerjaan Skripsi, dan saya ucapkan terima kasih juga kepada Bapak Dekan Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. dan Ketua Jurusan Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. karena telah membantu dalam penyelesaian perkuliahan dan penyelesaian Skripsi saya, serta dosen pembimbing akademik Ibu Murniati, S.T., M.T. yang tidak pernah lelah mengajari dan membimbing saya selama perkuliahan.

Terima kasih juga kepada Bapak Ibu Dosen khususnya dari KBK Struktur yaitu Bapak Ir. Maryanto, M.T., Ibu Frieda, S.T., M.T., Bapak Ir. Lilik Hermawan, M.T. yang membimbing, memberi masukan, memberikan ilmu-ilmu baru yang bermanfaat. Dimana benarlah kata sebuah pepatah yaitu para guru atau dosen merupakan para pahlawan tanpa tanda jasa karena tak pernah bosan dalam mendidik dan membimbing kami mahasiswanya.

Terima kasih juga kepada dosen-dosen di Fakultas Teknik yang selama ini telah membimbing dan mengajari ilmu yang diberikan khususnya di bidang keilmuan Teknik Sipil selama saya menempuh ilmu di kampus Universitas Palangka Raya.

Terima kasih juga kepada sahabat seperjuangan Herman Sanrizky Munte, Husin Nafarin, Muhammad Zaini, Muhammad Ismail, , Gusti Darmawan N. L. N. Hard, Desy Finansih, dan semua yang telah membantu proses penelitian maupun penyelesaian Skripsi ini serta semua teman-teman Teknik Sipil angkatan tahun 2012. Sukses buat kita semua.

RINGKASAN

PERENCANAAN *PILE CAP* JEMBATAN DENGAN BENTUK DAN DIMENSI YANG BERVARIASI (STUDI KASUS : JEMBATAN SEI KALAP GADUR DAN SEI KALAP SEBAN KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR), Rachmad Rifani, DAB 112 069, 2020, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya.

Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban sepanjang kurang lebih 35 meter, dibangun di ruas jalan Ujung pandaran – Kuala Pembuang, Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah. Trase jalan harus melewati daerah dengan kondisi tanah yang sangat lunak, dimana tanah keras dijumpai pada kedalaman rata-rata -22 meter dari permukaan tanah. Pada saat musim penghujan, lokasi trase jalan ini tergenang air, sehingga peil elevasi jalan harus dinaikkan kurang lebih 2,15 meter dari permukaan tanah asli. Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan ini, dipilih konstruksi jalan dengan sistem struktur *slab on pile*.

Untuk memastikan kinerja dari struktur *slab on pile*, perlu dilakukan kajian kekuatan sistem struktur yang meliputi evaluasi struktur dan evaluasi geoteknik. Evaluasi struktur meliputi pemeriksaan kekuatan elemen-elemen struktur yang terdiri dari : pelat (*slab*), *pile cap*, dan tiang pancang. Sedangkan evaluasi geoteknik dilakukan dengan cara memeriksa kekuatan daya dukung tiang pancang untuk mendukung beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*.

Hasil analisis struktur didapatkan nilai rasio tegangan (stress ratio) maksimum dari pile cap eksisting = 0,78 dan slab = 0,52. Pile cap Integral Column Bents with Drop Panel Reinforcement = 0,79 dan slab = 0,52. Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement = 0,89 dan slab = 0,52. Integral Pile Cap Bents without Drop Panel Reinforcement = 0,88 dan slab = 0,52. Karena nilai rasio tegangan dari *pile cap* dan *slab* ini lebih kecil dari 1, maka dapat disimpulkan *pile cap* dan *slab* cukup kuat. Dan hasil analisis geoteknik dan analisis struktur diketahui bahwa, daya dukung pondasi tiang pancang yang diijinkan adalah 80,1 ton, sedangkan besarnya beban maksimum yang harus didukung tiang pancang adalah 61,8 ton. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pondasi tiang pancang mampu mendukung beban-beban yang bekerja di atasnya. Dan juga simpangan horisontal maksimum yang terjadi pada struktur adalah 0,00135 cm, sedangkan simpangan yang diijinkan adalah 4,3 cm.

Kata kunci: Jembatan, *Pile Cap*, *Slab on Pile*.

SUMMARY

BRIDGE PILE CAP DESIGN WITH ALTERNATE SHAPE AND DIFFERENT DIMENSION (CASE STUDY : SEI KALAP GADUR DAN SEI KALAP SEBAN BRIDGE AT EAST KOTAWARINGIN REGENCY), Rachmad Rifani, DAB 112 069, 2020, Department/Program Study of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

Sei Kalap Gadur and Sei Kalap Seban Bridge lie across at the length of 35 meters, built at main road of Ujung pandaran – Kuala Pembuang state, East Kotawaringin Regency, Central Borneo Province. The road trace had to across an environment of very soft soil condition, where the solid soil condition can be found at average of -22 meters of the plain ground. During the winter season, at this particular road trace the water level are increase, as the reason of increasing the high of the plain of the main road at minimum of 2,15 meters high above the plain ground. To resolve that particular problems, are the main reason to design a main road with bridge construction using slab on pile structure design.

To ensure the performance of slab on pile structure design, it requires a test of structure system in which include structure evaluation and soil evaluation. Structure evaluation include checking the strength of structure system such as : slab, pile cap, and spun pile. As the soil evaluation to do by checking the strength ratio of spun pile so that it can support the load design that occur on the slab on pile strcture.

The results that can be conclude of this design were at structure analysis we could get the maximum stress ratio of existing pile cap = 0,78 and slab = 0,52. Pile cap Integral Column Bents with Drop Panel Reinforcement = 0,79 and slab = 0,52. Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement = 0,89 and slab = 0,52. Integral Pile Cap Bents without Drop Panel Reinforcement = 0,88 and slab = 0,52. Because the amount of stress ratio of pile cap were below 1, it can be conclude that pile cap and slab are strong enough. And from the soil test analysis and structure analysis it conclude that strength ratio of spun pile allowed at 61,8 tons, as for the maximum load that occur were at 80,1 tons. It concludes that the spun pile foundation are able to support the load design. And also the maximum amount of horizontal movement that occur at bridge structure are at 0,00135 cm, as for the allowed number was 4,3 cm.

Keywords: Bridge, Pile Cap, Slab on Pile.

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat diselesaikannya Skripsi ini. Skripsi dengan judul **“PERENCANAAN *PILE CAP* JEMBATAN DENGAN BENTUK DAN DIMENSI YANG BERVARIASI (STUDI KASUS : JEMBATAN SEI KALAP GADUR DAN SEI KALAP SEBAN KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR),”** disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi Program Strata-1 Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, S.TP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Murniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.

7. Bapak Fransisco H. R. H. Baru, S.T., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
8. Ibu Okta Meilawaty, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
9. Bapak Ir. Maryanto, M.T. selaku Dosen Pembahas I Skripsi.
10. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas II Skripsi.
11. Bapak Ir. Lilik Hermawan, M.T. selaku Dosen Pembahas III Skripsi.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan kelemahan, sehingga berbagai bentuk tanggapan, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi tercapainya tujuan dan substansi yang diinginkan dalam penyusunan Skripsi ini pada masa mendatang. Terima Kasih.

Palangka Raya, Desember 2020



RACHMAD RIFANI

DAB 112 069

DAFTAR ISI

	Halaman
SKRIPSI	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
BIODATA MAHASISWA	iv
SURAT PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Perencanaan.....	5
1.5 Manfaat Perencanaan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Jembatan	7
2.2 Klasifikasi Jembatan.....	8
2.2.1 Klasifikasi Jembatan Menurut Bina Marga.....	8
2.2.2 Klasifikasi Jembatan Menurut Material yang Digunakan	9
2.3 Bagian-bagian Struktur Jembatan <i>Pile Slab</i>	10
2.4 Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 Tahun 2016 ...	12
2.4.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	13
2.4.2 Berat Sendiri (MS)	13
2.4.3 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)	14
2.4.4 Beban Lajur “D” (TD).....	14

2.4.5	Beban Truk “T” (TT).....	18
2.4.6	Gaya Rem (TB)	21
2.4.7	Beban Angin	22
2.4.8	Pengaruh Gempa	25
2.5	Kombinasi Pembebanan Pada Jembatan <i>Pile Slab</i>	28
2.6	<i>Pile Cap</i> Jembatan Berdasarkan <i>Bridge Design Manual Section (3.52)</i>	28
2.6.1	<i>Integral Column Bents with Drop Panel Reinforcement.</i>	29
2.6.2	<i>Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement</i>	30
2.6.3	<i>Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement</i>	30

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Lokasi Jembatan.....	31
3.2	Data Fisik dan Data Teknis Jembatan.....	32
3.3	Metode Pengumpulan Data	32
3.4	Alternatif Desain Struktur <i>Pile Cap</i> Jembatan Berdasarkan <i>Bridge Desain Manual Section (3.52)</i>	33
3.5	Metodologi	33
3.5.1	Pengumpulan Data	33
3.5.2	Analisa dan Perhitungan	34
3.5.3	Standar yang Digunakan.....	34
3.6	Studi Literatur Perencanaan	34
3.7	Tahapan Penelitian	38

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Gambaran Umum Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban	39
4.2	Analisis Daya Dukung Tiang Pancang.....	41
4.2.1	Daya Dukung Ujung Tiang Pancang	42
4.2.2	Daya Dukung Friksi Tiang Pancang	43
4.2.3	Daya Dukung Tiang Pancang.....	44
4.3	Pemodelan Tumpuan Pondasi Tiang Pancang	44

4.4	Pembebanan pada Struktur	49
4.4.1	Beban Permanen	51
4.5	Analisis Struktur	70
4.6	Evaluasi Kekuatan Struktur	82
4.6.1	Evaluasi Kekuatan <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i> Eksisting	82
4.6.2	Evaluasi Kekuatan <i>Pile Cap Integral Column Bents</i> <i>With Drop Panel Reinforcement</i>	89
4.6.3	Evaluasi Kekuatan <i>Integral Pile Cap Bents</i> <i>With Drop Panel Reinforcement</i>	95
4.6.4	Evaluasi Kekuatan <i>Integral Pile Cap Bents</i> <i>Without Drop Panel Reinforcement</i>	101
4.7	Evaluasi Kekuatan Tiang Pancang	106
4.8	Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang	108
4.9	Evaluasi Kekuatan Struktur	109

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	112
5.2	Saran	115

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Berat Isi untuk Beban Mati.....	13
2.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	14
2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan.....	14
2.4 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”	15
2.5 Faktor Beban untuk Beban “T”	18
2.6 Tabel Tekanan Angin Dasar	23
2.7 Tabel Tekanan Angin Dasar (P_B) untuk Berbagai Sudut Serang	23
2.8 Tabel Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	25
2.9 Faktor Modifikasi Respon (R_d) untuk Elemen Struktur.....	27
2.10 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan pada Perencanaan Jembatan <i>Pile Slab</i>	28
3.1 Data Fisik dan Data Teknis Jembatan <i>Pile Slab</i> Sei Kalap Gadur	32
3.2 Studi Literatur Penelitian	35
4.1 Nilai N-SPT Tanah	42
4.2 Nilai N-SPT Tanah	43
4.3 Perhitungan <i>Modulus Subgrade Reaction</i> Arah Vertikal (K_{sv}) dan Arah Horisontal (K_{sh}).....	46
4.4 Perhitungan Konstanta Pegas Arah Horisontal (K_{sh})	47
4.5 Pembebanan dan Faktor Beban yang Digunakan pada Struktur <i>Slab On Pile</i>	49
4.6 Beban-beban yang Bekerja pada Struktur <i>Slab On Pile</i>	50
4.7 Berat Jenis Bahan Konstruksi.....	51

4.8	Perhitungan Nilai N-SPT rata-rata untuk Penentuan Kelas Situs	58
4.9	Klasifikasi Kelas Situs	58
4.10	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek 0,2 detik	62
4.11	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik	63
4.12	Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen)	63
4.13	Koefisien untuk Batas Atas pada Periode Getar (T) yang Dihitung	64
4.14	Beban-Beban yang Bekerja pada Struktur <i>Slab On Pile</i>	67
4.15	Kombinasi Pembebanan yang Digunakan Kondisi Layan	70
4.16	Kombinasi Pembebanan yang Digunakan Kondisi Ultimit	70
4.17	Deformasi Horisontal dan Momen Lentur (Akibat Kombinasi Pembebanan Kondisi Layan)	81
4.18	Momen dan Gaya Geser pada <i>Pile Cap</i> dan Tiang Pancang (Akibat Kombinasi Pembebanan Kondisi Ultimit).....	81
4.19	Dimensi <i>Pile Cap</i> Eksisting.....	84
4.20	Rasio Tegangan yang Terjadi pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	88
4.21	Tulangan Geser yang Diperlukan pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	89
4.22	Dimensi <i>Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement</i>	90
4.23	Rasio Tegangan yang Terjadi pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	94
4.24	Tulangan Geser yang Diperlukan pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	95
4.25	Dimensi <i>Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement</i>	96

4.26	Rasio Tegangan yang Terjadi pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	100
4.27	Tulangan Geser yang Diperlukan pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	100
4.28	Dimensi <i>Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement</i> ..	102
4.29	Rasio Tegangan yang Terjadi pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	106
4.30	Tulangan Geser yang Diperlukan pada <i>Pile Cap</i> dan <i>Slab</i>	106
4.31	Tabel Hasil Pengujian Tiang Pancang Prategang	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Potongan Melintang Jembatan <i>Pile Slab</i>	10
2.2 Beban Lajur “D”	15
2.3 Momen Lentur Positif pada Bentang 1,3,5	16
2.4 Momen Lentur Positif pada Bentang 2 dan 4	17
2.5 Momen Lentur Negatif pada Pilar	17
2.6 Pembebanan Truk “T” (500 kN)	19
2.7 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur “D”...	21
2.8 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun.....	27
2.9 <i>Column Bents With Drop Panel Reinforcement</i>	29
2.10 <i>Pile cap Bents With Drop Panel Reinforcement</i>	30
2.11 <i>Pile cap Bents Without Drop Panel Reinforcement</i>	30
3.1 Lokasi Kegiatan Pembangunan Jembatan <i>Pile Slab</i> Sei Kalap Gadur...	31
3.2 Tahapan Penelitian.....	38
4.1 Konfigurasi Struktur <i>Slab On Pile</i> Arah Melintang	40
4.2 Konfigurasi Struktur <i>Slab On Pile</i> Arah Memanjang.....	41
4.3 Nilai N-SPT dan Model Tumpuan Elastis pada Tiang Pancang.....	45
4.4 Model Tumpuan Pegas Elastis pada Tiang Pancang	48
4.5 Pemodelan Struktur <i>Slab On Pile</i> 3 Dimensi	48
4.6 Model Beban Lalu Lintas pada Jembatan (Beban Lajur D).....	53
4.7 Model Beban Kendaraan Truk pada Jembatan (Beban Truk T).....	54
4.8 Faktor Beban Dinamik (FBD) untuk BGT	55

4.9	Parameter Seismik dan Kurva Spektrum Respon Desain Kota Sampit (Kalimantan Tengah) untuk Kondisi Tanah Lunak (Kurva Merah)	59
4.10	Peta respon spektra percepatan periode pendek 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.....	61
4.11	Peta respon spektra percepatan periode 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	61
4.12	Ragam Getar Struktur <i>Slab On Pile</i> ($T = 0,7534 \approx 1,0$ detik).....	65
4.13	Beban Akibat Berat Sendiri Barrier dan Pipa Sandaran ($P_{MA} = 0,6$ ton/m).....	68
4.14	Beban Lapisan Aspal Setebal 5 cm ($P_{MA} = 0,11$ ton/m ²).....	68
4.15	Beban Pejalan Kaki di Trotoar ($P_{TP} = 0,5$ ton/m ²)	69
4.16	Beban Gempa Statik Ekuivalen ($T_{EQ} = 0,7$ ton).....	69
4.17	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat I Kondisi Layan (satuan ton-m).....	71
4.18	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat II Kondisi Layan (satuan ton-m).....	72
4.19	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat III Kondisi Layan (satuan ton-m).....	72

4.20	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat IV Kondisi Layan (satuan ton-m).....	73
4.21	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat V Kondisi Layan (satuan ton-m).....	73
4.22	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Kondisi Layan (satuan ton-m).....	74
4.23	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Kondisi Layan (satuan ton-m).....	74
4.24	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Kondisi Layan (satuan ton-m).....	75
4.25	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Kondisi Layan (satuan ton-m).....	75
4.26	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat I Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	76
4.27	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat II Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	77

4.28	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat III Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	77
4.29	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat IV Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	78
4.30	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Kuat V Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	78
4.31	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	79
4.32	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	79
4.33	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	80
4.34	Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur <i>Slab</i> <i>On Pile</i> Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Kondisi Ultimit (satuan ton-m).....	80
4.35	Penulangan <i>Pile Cap</i> Eksisting.....	83
4.36	Dimensi <i>Pile Cap</i> Eksisting.....	83
4.37	Penempatan Beban Truk T pada Lantai Struktur <i>Pile Slab</i>	88

4.38	<i>Column Bents With Drop Panel Reinforcement</i>	90
4.39	<i>Dimensi Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement</i>	90
4.40	<i>Pile Cap Bents With Drop Panel Reinforcement</i>	95
4.41	<i>Dimensi Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement</i>	96
4.42	<i>Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement</i>	101
4.43	<i>Dimensi Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement</i> ..	101
4.44	<i>Simpangan Horisontal pada Struktur di Permukaan Tanah</i>	109
4.45	<i>Simpangan Horisontal pada Struktur di slab/pelat</i>	110

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Gambar Perencanaan *Pile Slab* Sei Kalap Gadur Sei Kalap Seban
2. Foto Dokumentasi Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi suatu daerah sangat dipengaruhi oleh sarana transportasinya. Sarana transportasi yang memadai memudahkan mobilisasi masyarakat dalam berbagai aktivitas kehidupan. Sarana transportasi berupa jalan yang baik, jembatan yang kuat, serta sarana-sarana lainnya hendaknya menjadi perhatian pemerintah bagi pemenuhan kebutuhan masyarakatnya. Sarana transportasi yang baik sangat menunjang terciptanya iklim ekonomi yang baik pula bagi masyarakat setempat. Menyadari akan pentingnya hal ini, Pemerintah Kabupaten Kotawaringin Timur melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Kalimantan Tengah melakukan pembangunan jembatan di Kota Sampit.

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, saluran irigasi dan saluran pembuang. Pembangunan jembatan di Kota Sampit ini khususnya yang menghubungkan daerah yang terpisah oleh sungai Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban. Selama ini untuk menyeberangi sungai Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban masyarakat setempat menggunakan jembatan sementara yang belum memenuhi kelayakan sebuah jembatan secara sempurna. Proyek pembangunan jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban ini merupakan pekerjaan yang sangat berperan penting dalam

arus transportasi masyarakat Kota Sampit. Selanjutnya hal ini tentu berpengaruh pada pertumbuhan ekonomi masyarakat setempat. Dengan pembangunan jembatan ini, proses mobilisasi masyarakat Kota Sampit menjadi lebih lancar dan aman.

Konstruksi Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban menggunakan perkerasan kaku. Namun, berdasarkan peta geologi terdapat beberapa titik yang memiliki kondisi tanah labil dan rentan terjadi amblas bahkan kelongsoran. Hal ini menjadi perhatian utama karena *subgrade* untuk perkerasan kaku diwajibkan untuk stabil. *Subgrade* yang tidak stabil dapat menyebabkan patahnya beton dan akhirnya memutus jalur lalu lintas. Salah satu metode untuk mengatasi permasalahan kondisi tanah lunak tersebut adalah dengan konstruksi jembatan *pile slab*.

Menurut Dindin Solakhuddin, struktur *pile slab* adalah struktur pelat satu arah (*one way slab*) yang langsung ditumpu oleh *pile cap* dan diteruskan ke sistem grup tiang pancang. (Ir. H. Dindin Solakhuddin, M. Tech, 2015). Pada jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban yang dibangun oleh PT. Daya Uni Lestari menggunakan konstruksi jembatan *pile slab* pada STA 5+300 s/d STA 5+335. Jembatan *pile slab* tersebut memiliki bentang sepanjang 35 m dengan sistem dua arah, dimana masing-masing jalur memiliki lebar 4,5 m. Struktur bawah jembatan ditopang dengan abutment tipe balok *cap* di ujung pangkalnya dan pondasi tiang pancang yang tersusun rapi sepanjang jembatan. Jembatan tersebut terbagi menjadi segmen-segmen kecil sejauh 5 m dengan tebal *slab* 30 cm. Selain itu juga terdapat *expansion joint* yang dipergunakan untuk memberikan ruang pada beton saat terjadi rangkai dan susut.

Tiang pancang yang digunakan adalah *prestress spun pile* atau tiang pancang bulat K-350 dengan diameter 40 cm. Panjang tiang pancang yang digunakan *variable*, hal tersebut diterapkan untuk mengakomodir daya dukung tiang pancang dan juga kapasitas material tiang pancang itu sendiri.

Konstruksi jembatan dengan sistem *pile slab* ini memiliki umur rencana 30 tahun. Selama umur rencana, struktur dirancang untuk mampu mendukung beban kendaraan yang melintas serta mampu menahan beban lain seperti pengaruh beban gempa meskipun di lokasi Kalimantan Tengah tergolong zona 1, yaitu hampir tidak dirasakan adanya gempa atau dirasakan hanya oleh sebagian kecil dan terekam oleh alat pendeteksi gempa.

Seiring dengan perkembangan zaman, tidak menutup kemungkinan pada tahun-tahun mendatang konstruksi jembatan *pile slab* akan jauh lebih berkembang dengan adanya terobosan-terobosan baru dalam kaitannya dengan konstruksi *pile cap* jembatan. Untuk mengetahui perencanaan *pile cap* jembatan yang benar diperlukan perencanaan perhitungan yang mengacu pada *standart* yang ada yaitu dengan melakukan kontrol ulang penulangan *pile cap* jembatan. Sehingga diharapkan akan mendapatkan gambaran yang jelas dan dapat memahami garis besar dari suatu perencanaan *pile cap* jembatan.

Untuk memenuhi tujuan pokok yang menekankan segi fungsi dan segi efisiensi guna mencapai nilai fungsional yang tinggi bisa tercapai, maka dilakukan variasi pada bentuk salah satu bagian struktur jembatan, dalam hal ini khususnya struktur *pile cap* jembatan. Dengan bentuk dan dimensi *pile cap* jembatan divariasikan maka proses pengerjaan jembatan mengalami efisiensi yang berbeda

pula jika penggunaan dimensi *pile cap* yang bervariasi, dan juga perbedaan dalam penggunaan jumlah baja tulangan pada struktur beton. Hal ini dilakukan agar terdapat variasi yang manakah bentuk dan dimensi *pile cap* yang paling efisien dan optimal pada pembangunan jembatan *pile slab* Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban. Dari latar belakang tersebut, perlu dilakukan perencanaan dengan menganalisis efisiensi salah satu struktur atas jembatan yaitu *pile cap* pada jembatan *pile slab* dengan bentuk dan dimensi *pile cap* yang bervariasi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dipilih judul Skripsi “**Perencanaan Pile Cap Jembatan dengan Bentuk dan Dimensi yang Bervariasi (Studi Kasus : Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban Kabupaten Kotawaringin Timur)**”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam perencanaan ini berdasarkan beberapa uraian latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses perhitungan menentukan dimensi, kebutuhan tulangan lentur dan tulangan geser jika dimensi dan bentuk struktur *pile cap* jembatan didesain berdasarkan *Bridge Design Manual (Section 3.52)* ?
2. Bagaimana lendutan yang terjadi pada pelat lantai jembatan ?
3. Berapa besaran kebutuhan tulangan lentur dan tulangan geser yang digunakan akibat pembebanan terhadap *pile cap* eksisting dan *pile cap* hasil desain sebagai struktur *pile cap* jembatan terhadap kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1725 tahun 2016 ?

4. Bagaimana besaran daya dukung dan kekuatan tiang pancang terhadap kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1725 tahun 2016 ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan kombinasi pembebanan menggunakan standar pembebanan untuk jembatan SNI 1725-2016.
2. Desain ulang struktur jembatan hanya mencakup pada bagian *pile cap* jembatan dengan menggunakan *Bridge Design Manual (Section 3.52)*.
3. Struktur *pile cap* pada jembatan yang di desain berjumlah lima buah pada satu buah jembatan.
4. Perhitungan ulang yang dilakukan hanya mencakup pelat lantai jembatan, struktur *pile cap* jembatan dan daya dukung tiang pancang.
5. Perhitungan yang dilakukan hanya mencakup perhitungan teoritis tanpa melakukan pemodelan di laboratorium.
6. Pada perencanaan ini faktor tekuk dan parameter bagian sambungan antara *pile cap* dan *spun pile* pada jembatan dianggap telah memenuhi kriteria.

1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan perencanaan adalah :

1. Mengetahui dimensi, momen rencana, gaya geser dan kebutuhan tulangan yang diperlukan pada struktur *pile cap* jembatan bentuk eksisting maupun hasil desain.

2. Mengetahui rasio tegangan pada struktur *pile cap* dan pelat lantai jembatan.
3. Memeriksa kemampuan daya dukung yang diijinkan dengan beban yang bekerja pada struktur *spun pile* jembatan.
4. Memeriksa kekakuan struktur jembatan *pile slab* Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban Kabupaten Kotawaringin Timur.

1.5 Manfaat Perencanaan

Manfaat yang diharapkan dari perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi tambahan bagi ilmu rekayasa struktur, terutama dalam hal proses mendesain variasi bentuk dan dimensi struktur *pile cap* jembatan pada jembatan *pile slab* sebagai alternatif bentuk *pile cap* jembatan dalam konstruksi bangunan sipil.
2. Sebagai referensi dalam proses perhitungan data-data pada struktur *pile cap* jembatan dengan bentuk hasil dari desain dan bentuk dari eksisting.
3. Menjadi acuan penelitian terhadap pembebanan pada jembatan dengan peraturan SNI 1725-2016 yang merupakan peraturan terbaru dalam standar pembebanan jembatan, dimana pada peraturan ini pembebanan yang terjadi mengalami peningkatan dari peraturan sebelumnya.
4. Memberikan pengetahuan tentang proses perhitungan struktur *pile cap* jembatan pada jembatan *pile slab* yang merupakan sebuah jenis jembatan yang sering ditemui di wilayah Kalimantan Tengah sebagai fasilitas penyeberangan transportasi darat dimana di daerah ini banyak terdapat anak sungai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jembatan

Menurut Supriyadi dan Muntohar jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum suatu jembatan berfungsi untuk melayani arus lalu lintas dengan baik, dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika. (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Sedangkan menurut Struyk dan Veen jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). (Struyk dan Veen, 1984).

Jembatan adalah suatu bangunan struktural yang digunakan untuk menghubungkan akses lalu lintas transportasi darat baik itu orang maupun kendaraan yang menghubungkan dua daerah/kawasan atau ruang yang terpisah oleh rintangan baik itu sungai, lembah, jurang, jalan atau hambatan fisik lainnya.

Berdasarkan UU 38 tahun 2008 bahwa jalan dan jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang

dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

2.2 Klasifikasi Jembatan

Klasifikasi jembatan dapat dibedakan sebagai berikut :

2.2.1 Klasifikasi Jembatan Menurut Bina Marga

- a. Jembatan kelas A, lebar lantai jembatan 7,00 meter dan 2 x 1,00 meter sebagai trotoar dengan beban 100% dari *loading* Sistem Bina Marga.
- b. Jembatan kelas B, lebar lantai jembatan 6,00 meter dan 2 x 0,50 meter sebagai trotoar dengan beban 70% dari *loading* Sistem Bina Marga.
- c. Jembatan kelas C, lebar lantai jembatan 4,50 meter dan 2 x 0,25 meter sebagai trotoar dengan beban 50% dari *loading* Sistem Bina Marga.

2.2.2 Klasifikasi Jembatan Menurut Material yang Digunakan

- a. Jembatan Kayu (*Log Bridge*)

Jembatan kayu adalah jenis jembatan yang memiliki konsep segi konstruksi yang sederhana dan dapat dibangun sebagai jembatan darurat maupun jembatan permanen dengan beban gandar yang sangat terbatas.

- b. Jembatan Baja (*Steel Bridge*)

Jembatan baja adalah jembatan yang memiliki elemen struktur berupa *deck*, *girder*, rangka batang, pelengkung, pengaku, dan penggantung. Jembatan baja merupakan susunan dari rangka-rangka batang baja yang disatukan sedemikian rupa satu sama lain hingga membentuk suatu struktur jembatan.

c. Jembatan Beton Bertulang (*Concrete Bridge*)

Jembatan beton bertulang adalah jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton dan dilakukan perkuatan dengan tulangan baja pada daerah yang mengalami tarik agar struktur tidak mengalami keruntuhan karena sifat beton yang kuat terhadap tekan namun sangat lemah terhadap tarik.

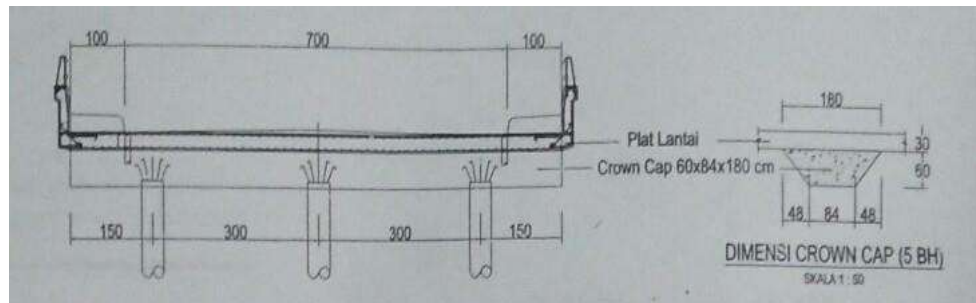
d. Jembatan Komposit (*Composite Bridge*)

Jembatan komposit merupakan jembatan dengan material penyusun berupa kombinasi antara baja dan beton dimana bagian beton berada di area *deck* dimana lalu lintas berjalan karena sifat beton yang kuat terhadap tekan sedangkan rangka utama dengan menggunakan material baja menahan beban tarik dari gaya yang bekerja di plat *deck*.

e. Jembatan Beton Prategang (*Prestressed Concrete Bridge*)

Jembatan beton prategang adalah jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton prategang yang dipasang secara segmental dengan metode kantilever yang dihubungkan dengan kawat baja kualitas tinggi yang menghubungkan satu segmen ke segmen yang lain. Jembatan beton prategang biasanya juga dibuat pra-cetak dengan mutu beton yang tinggi apabila tidak memungkinkan untuk dilakukan pengecoran di tempat. Jembatan beton pra-tegang biasanya digunakan pada konstruksi jembatan *cable stayed*.

2.3 Bagian-bagian Struktur Jembatan Beton *Pile Slab*



Gambar 2.1 Potongan Melintang Jembatan *Pile Slab*

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah Shop Drawing Jembatan *Pile Slab*, 2017

1) *Railing* Pagar dan Trotoar

Fungsi utama *railing* yaitu untuk memberikan keamanan kepada pengguna jalan. Seluruh sistem pengaman lalu lintas, *railing*, dan *railing* kombinasi secara struktur dan geometrik harus tahan terhadap benturan kendaraan. Trotoar sendiri terbuat dari plat beton yang berfungsi sebagai tempat melekatnya *railing* pada pelat lantai jembatan dan tempat lalu lintas nya para pejalan kaki.

2) Pelat Lantai (*Slab*)

Pelat lantai adalah sebuah elemen struktur horizontal yang berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta melimpahkan beban yang terjadi ke pondasi.

3) *Pile Cap* Jembatan

Secara umum balok penutup tiang (*pile cap*) merupakan elemen struktur yang berfungsi untuk menyebarkan beban dari pelat lantai jembatan ke

tiang-tiang. Pemakaian *pile cap* pada struktur jembatan yang menumpu di atas tiang-tiang pancang yang terletak di tengah sungai atau yang lain.

4) Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Tiang pancang pratekan (*prestressed*) pracetak (*precast*) berdiameter 400 mm dengan mutu beton K-350. *Precast reinforced concrete pile* atau tiang pancang pratekan adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah cukup kuat lalu diangkat dan dipancarkan. Karena tegangan tarik beton adalah kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri dari pada beton adalah besar, maka tiang pancang beton ini haruslah diberi penulangan-penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan.

5) Lapis Perkerasan

Lapis perkerasan yang biasanya digunakan adalah lapisan aspal dengan ketebalan 50 mm yang berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan pengendara pada saat melintasi jembatan. Selain itu lapis perkerasan aspal juga berfungsi sebagai lapis kedap air bagi *slab* sehingga terhindar dari korosi.

2.4 Pembebanan pada Jembatan Menurut SNI 1725 Tahun 2016

Dalam perencanaan struktur jembatan beban permanen dan beban transien harus diperhitungkan, peraturan pembebanan yang dipakai mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 1725 : 2016. Beban-beban yang bekerja meliputi :

1. Beban Permanen

MS = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan

MA = beban mati perkerasan dan utilitas

2. Beban Transien

TB = gaya akibat rem

TR = gaya sentrifugal

EQ = gaya gempa

TD = beban lajur "D"

TT = beban truk "T"

TP = beban pejalan kaki

EW_s = beban angin pada struktur

EW_L = beban angin pada kendaraan

Dalam perencanaan jembatan *pile slab*, pembebanan yang digunakan tidak seluruhnya seperti yang tertera dalam SNI 1725-2016, pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan jembatan ini hanya meliputi pembebanan sebagai berikut :

2.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Berat Isi untuk Beban Mati

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

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

2.4.2 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

2.4.3 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada tabel 2.3 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

2.4.4 Beban lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.2. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TD})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)	
Transien	Beton	1,00	2,00
	Box girder	1,00	1,40

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

a). Intensitas Beban D

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut :

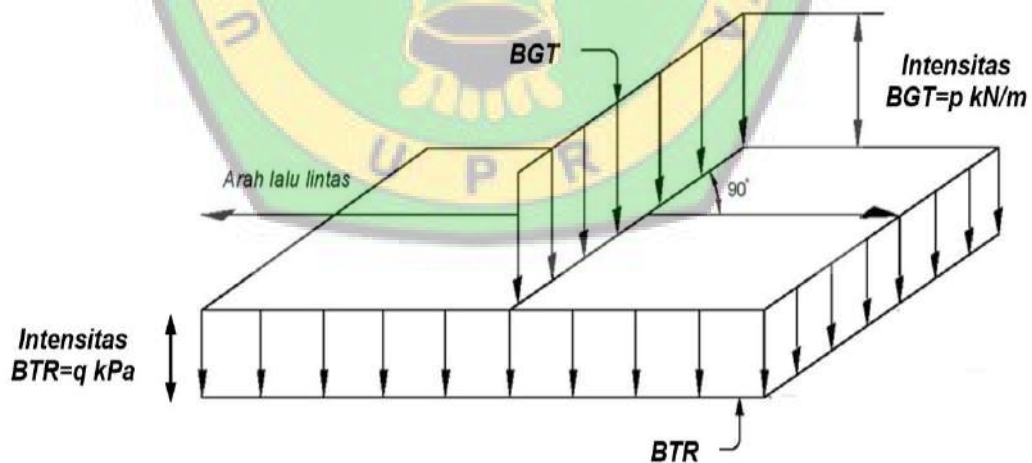
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2-1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 [0,5 + 15/L] \text{ kPa} \quad (2-2)$$

Keterangan:

q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



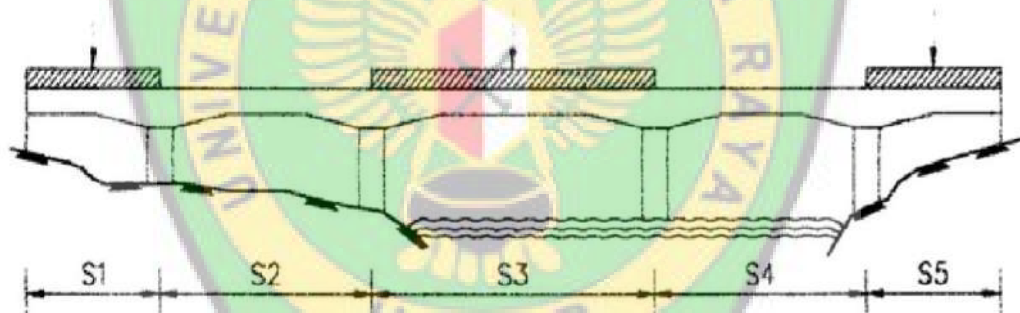
Gambar 2.2 Beban Lajur “D”

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas P kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

b) Distribusi beban "D"

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada gambar 2.3. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 Momen Lentur Positif Pada Bentang 1,3,5

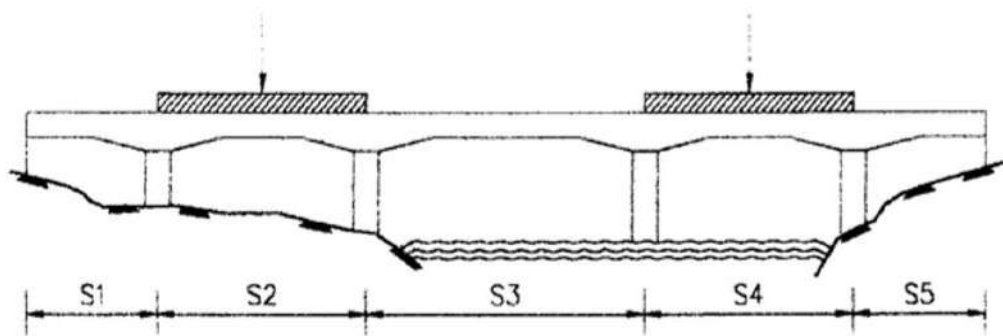
Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Untuk momen lentur maksimum di bentang 1 : tempatkan BGT di bentang 1

Ambil L = pengaruh terburuk dari S_1 ; $S_1 + S_3$ atau $S_1 + S_3 + S_1$

Untuk momen lentur maksimum di bentang 3 : tempatkan BGT di bentang 3 Ambil

L = pengaruh terburuk dari S_3 ; $S_1 + S_3$ atau $S_3 + S_5$



Gambar 2.4 Momen Lentur Positif Pada Bentang 2 dan 4

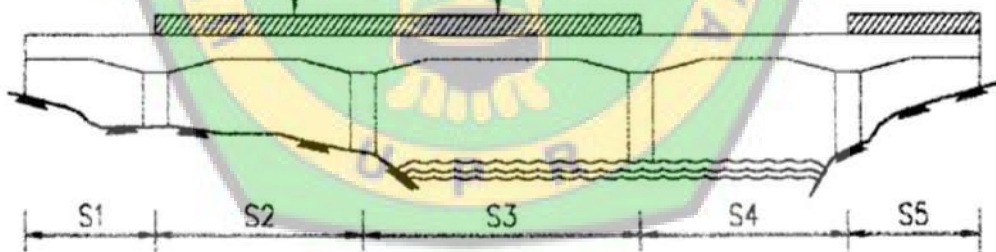
Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Untuk momen lentur maksimum di bentang 2 : tempatkan BGT di bentang 2 Ambil

$L =$ pengaruh terburuk dari S_2 ; atau $S_2 + S_4$

Untuk momen lentur maksimum di bentang 4 : tempatkan BGT di bentang 4 Ambil

$L =$ pengaruh terburuk dari S_4 ; atau $S_2 + S_4$



Gambar 2.5 Momen Lentur Negatif Pada Pilar

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Untuk momen lentur maksimum di pilar 2 : tempatkan BGT di bentang 2

Ambil $L =$ pengaruh terburuk dari $S_2 + S_3$ atau $S_2 + S_3 + S_5$

c) Respons terhadap beban lajur “D”

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

2.4.5 Beban truk "T" (TT)

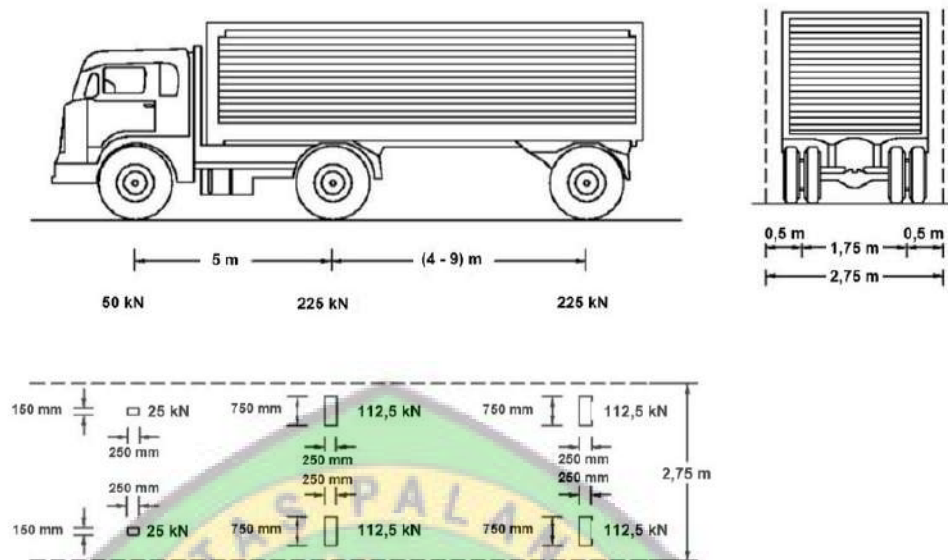
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TT})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)	
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box girder baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

a) **Besarnya pembebanan truk "T"**



Gambar 2.6 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam gambar 2.6. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

b) **Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang**

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.6. Jumlah maksimum lajur

lalu lintas rencana dapat dilihat dalam tabel 11, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

2.4.6 Faktor Beban Dinamis

Beban statis truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan gambar 2.7. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR.

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam gambar 2.7. Untuk bentang tunggal panjang bentang

ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus :

$$L_E = \sqrt{L_{av} L_{max}}$$

Keterangan :

L_{av} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

L_{max} adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah.



Gambar 2.7 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur "D"

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

2.4.7 Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR. Gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas

permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

2.4.7 Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin.

a) Beban Angin pada Struktur (EWs)

Perencanaan beban angin pada struktur dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B (V_{DZ} / V_B)^2 \quad (2-3)$$

Keterangan :

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 2.6 (MPa)

Tabel 2.6 Tabel Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

1) Beban dari Struktur Atas

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar P_B untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam tabel 30 dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus yang menghasilkan pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 2.7 Tabel Tekanan Angin Dasar (P_B) untuk Berbagai Sudut Serang

Sudut Serang	Rangka, Kolom Dan Pelengkung		Gelagar	
	Beban Lateral	Beban Longitudinal	Beban Lateral	Beban Longitudinal
Derajat	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

2) **Gaya Angin yang Langsung Bekerja pada Struktur Bawah**

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersebut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

b) Gaya Angin Pada Kendaraan (EW₁)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam tabel 2.8 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.8 Tabel Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

c) Tekanan Angin vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar 9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

2.4.8 Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekivalen

yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

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

Keterangan:

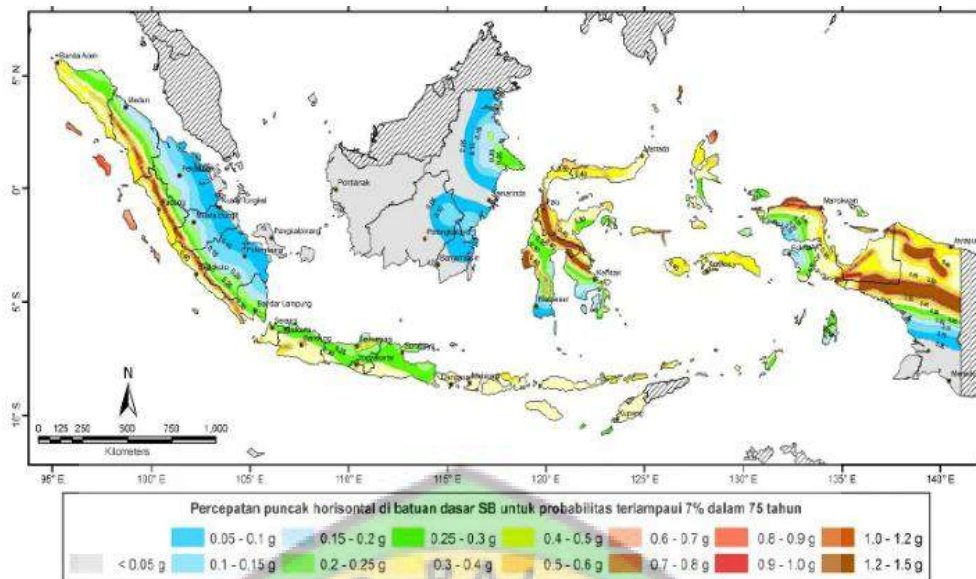
E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons gempa elastis

R_d = faktor modifikasi respons

W_t = adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Untuk data C_{sm} dan R_d tertera dalam SNI 2833-2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa.



Gambar 1 Peta Percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PGA)

Gambar 2.8 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun

Sumber : SNI 2833 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa, 2016

Tabel 2.9 Faktor Modifikasi Respon (R_d) untuk Elemen Struktur

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan Atas dengan Kepala Jembatan	0,80
Sambungan Muai Dilatasi pada Bangunan Atas	0,80
Kolom, Pilar, atau Tiang dengan Bangunan Atas	1,00
Kolom atau Pilar dengan Pondasi	1,00

Sumber : SNI 2833 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, 2016

2.5 Kombinasi Pembebanan pada Jembatan *Pile Slab*

Dalam SNI 1725-2016 terdapat beberapa jenis kombinasi pembebanan, namun dalam perencanaan jembatan *pile slab*, kombinasi pembebanan yang digunakan hanya kombinasi yang berhubungan dengan jembatan beton dan tiang pancang. Dalam tabel dibawah ini akan diuraikan kombinasi pembebanan yang digunakan dalam sebuah jembatan *pile slab*.

Tabel 2.10 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan pada Perencanaan Jembatan *Pile Slab*

Kombinasi Pembebanan	MA MS	TT TD TB TR TP	EW _s	EW _L	EQ
Kuat I	1,00	1,80	-	-	-
Kuat II	1,00	1,40	-	-	-
Kuat III	1,00	-	1,40	-	-
Kuat IV	1,00	-	-	-	-
Kuat V	1,00	-	0,40	1,00	-
Ektrem I	1,00	0,30	-	-	1,00
Ektrem II	1,00	0,50	-	-	-
Daya Layan I	1,00	1,00	0,30	1,00	-
Daya Layan III	1,00	0,80	-	-	-

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

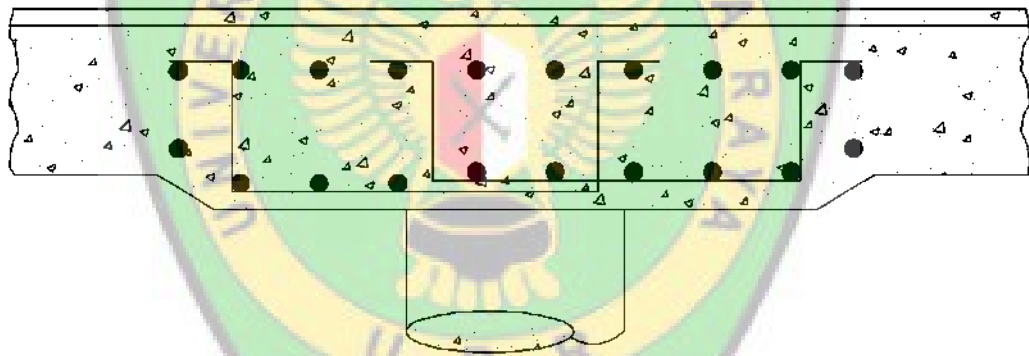
2.6 *Pile Cap* Jembatan Berdasarkan *Bridge Design Manual* (Section 3.52)

Jembatan *pile slab* ini termasuk dalam jenis jembatan beton bertulang dimana jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton, dalam hal ini termasuk pada bagian struktur *pile cap* jembatan. Pada konstruksi struktur beton bertulang, dianggap bahwa beton merupakan bahan yang getas yaitu sangat kuat untuk menahan beban tekan tetapi tidak kuat menahan beban tarik, sehingga mudah retak/patah. Jadi beban tarik yang bekerja pada struktur beton bertulang dilimpahkan/ditahan oleh baja tulangan saja.

Pada perencanaan struktur *pile cap* jembatan dengan didasarkan pada *Bridge Design Manual (Section 3.52)* dimana terdapat tiga jenis *pile cap* yang akan dilakukan perencanaan antara lain sebagai berikut :

2.6.1 Integral Column Bents with Drop Panel Reinforcement.

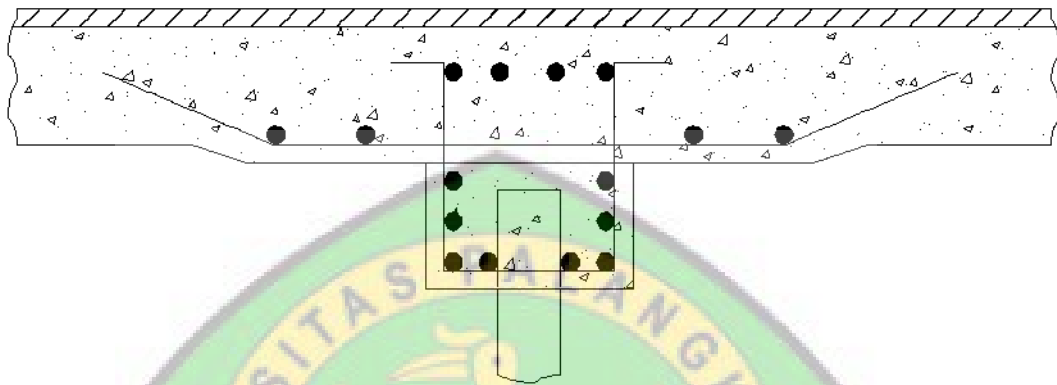
Struktur sambungan *pile cap* dianggap sebagai pengikat kolom dengan penambahan tebal perkerasan beton. Pada penambahan tebal perkerasan pada bagian bawah pelat, perkerasan dibuat menyatu dengan seluruh bagian pelat lantai baik keadaan memanjang maupun melintang. Secara garis besar seperti terlihat pada gambar 2.9 di bawah ini :



Gambar 2.9 Column Bents With Drop Panel Reinforcement
Sumber : *Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000*

2.6.2 Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement.

Struktur sambungan *pile cap* dengan penambahan tebal perkerasan beton dimana tebal pelat lantai mengalami penambahan pada bagian *pile cap* jembatan. Secara garis besar seperti terlihat pada gambar 2.10 di bawah ini :

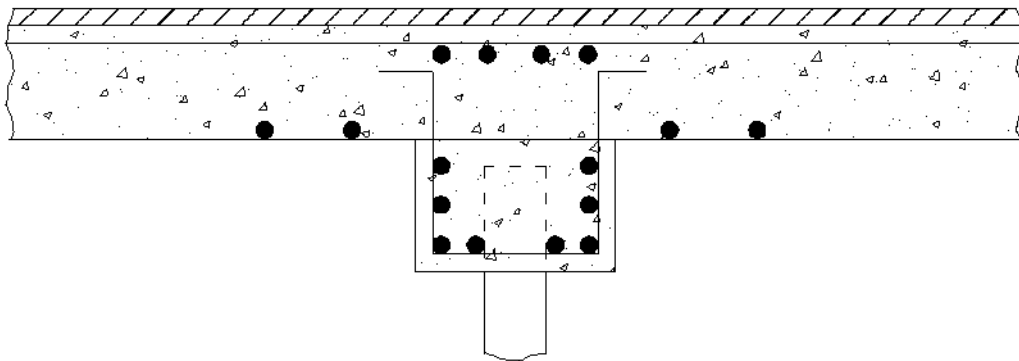


Gambar 2.10 Pile Cap Bents With Drop Panel Reinforcement

Sumber : Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000

2.6.3 Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement.

Struktur sambungan *pile cap* tanpa penambahan tebal perkerasan beton dimana tebal pelat lantai tidak mengalami penambahan pada bagian *pile cap* jembatan. Secara garis besar seperti terlihat pada gambar 2.11 di bawah ini :



Gambar 2.11 Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement

Sumber : Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000

3.2 Data Fisik dan Data Teknis Jembatan

Data perencanaan jembatan *pile slab* Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah ini disajikan dalam tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Data Fisik dan Data Teknis Jembatan *Pile Slab* Sei Kalap Gadur

Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
Tebal Slab Lantai	H	30	cm
Tebal Lapisan Aspal	Ta	5	cm
Tebal Genangan Air	Th	5	cm
Jarak Antar Tiang Pancang		300	cm
Lebar Lalu Lintas		700	cm
Lebar Total Jembatan		900	cm
Panjang Bentang Jembatan		5	m
Panjang Total Jembatan		35	m
Mutu Baja Tulangan		32	Mpa
Mutu Beton		K-250	
Kuat Tekan Beton		20	Mpa
<i>Specific Grafity</i>			
Berat Beton Bertulang	Wc	25	kN/m ³
Berat Lapisan Aspal	Wa	22	kN/m ³
Berat Air	Ww	9,8	kN/m ³

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah, 2017

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data dan informasi terkait dilakukan pada Kantor Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Kalimantan Tengah. Data-data yang terkumpul ialah data-data yang berhubungan dengan pekerjaan pembangunan jembatan *pile slab* Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban Kabupaten Kotawaringin Timur.

Data-data yang dikumpulkan terdiri dari data umum dan data khusus proyek. Data umum yaitu data fisik lokasi jembatan, penyedia pekerjaan, dan pelaksana pekerjaan. Data khusus yaitu spesifikasi jembatan dan data tanah.

3.4 Alternatif Desain Struktur *Pile Cap* Jembatan Berdasarkan *Bridge Design Manual* (Section 3.52)

Dalam perencanaan ini struktur *pile cap* eksisting yang sudah digunakan ialah berbentuk trapesium tetapi akan dilakukan perencanaan menggunakan *pile cap* yang didesain berdasarkan *Bridge Design Manual* (Section 3.52) sebagai substitusi *pile cap* eksisting. Perencanaan ini meliputi :

- a) Dimensi desain *pile cap* berdasarkan *Bridge Design Manual* (Section 3.52).
- b) Terdapat tiga jenis *pile cap* pada *Bridge Design Manual* (Section 3.52) yang akan digunakan pada penelitian ini.
- c) Perhitungan kemampuan lentur dan kemampuan geser pada tiap-tiap struktur *pile cap*, baik eksisting maupun hasil desain.
- d) Perhitungan pembebanan pada jembatan menurut SNI 1725-2016 dengan kombinasi pembebanan yang dianggap mencukupi untuk sebuah jembatan *pile slab*.
- e) Perhitungan lendutan teoritis yang terjadi pada pelat lantai jembatan.
- f) Perhitungan daya dukung tiang pancang yang memikul struktur *pile cap*.

3.5 Metodologi

3.5.1 Pengumpulan Data

Data teknis yang didapat untuk kepentingan proses perencanaan struktur *slab on pile* adalah sebagai berikut :

- Data tanah
- Data jembatan

3.5.2 Analisa Dan Perhitungan

Tahapan perencanaan dan analisis perhitungan beserta acuannya dalam perencanaan struktur *slab on pile* adalah sebagai berikut :

- Penentuan dimensi elemen struktur.
- Penentuan beban – beban yang bekerja pada struktur baik beban gravitasi / vertikal maupun beban gempa / lateral.
- Permodelan tumpuan pondasi tiang pancang.
- Desain elemen struktur *pile cap*.
- Pembuatan gambar desain.

3.5.3 Standar yang Digunakan

Untuk keperluan perencanaan struktur *slab on pile*, digunakan standar struktur yang berlaku di Indonesia, yaitu :

- Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016).
- Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
- Tata Cara Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa (SNI 2833-2016).
- Indonesian *Bridge Management System* (IBMS, 1992).

3.6 Studi Literatur Perencanaan

Perencanaan ini merupakan penerapan teori perencanaan dan penelitian sebelumnya yang dijadikan acuan dalam penyusunan perencanaan. Berikut ini adalah beberapa penelitian, perencanaan dan jurnal ilmiah terdahulu yang menjadi acuan dalam proses perencanaan.

Tabel 3.2 Studi Literatur Penelitian

No.	Peneliti	Judul	Hasil Yang Diperoleh
1.	Kurniadi dkk (2015)	Desain Struktur <i>Slab On Pile</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Permodelan tumpuan pondasi tiang pancang menggunakan model tumpuan pegas elastis. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan pegas elastis, kemampuan untuk mendukung beban tergantung dari besarnya <i>modulus of subgrade reaction</i> (ks) dari tanah tersebut. 2. Untuk menghindari goyangan yang berlebihan pada struktur, maka perlu diperiksa kekakuan lateral struktur <i>Slab on Pile</i> dengan menghitung besarnya simpangan ke arah horisontal dari struktur akibat kombinasi pembebanan yang ditinjau di dalam analisis. 3. Perencanaan daya dukung tanah vertikal menggunakan metode <i>Meyerhof</i>, sedangkan perencanaan daya dukung tanah lateral menggunakan metode <i>Brons</i>
2.	Ir. Himawan Indarto, M.S (2015)	Evaluasi Kekuatan Struktur <i>Slab On Pile</i> Pada Pembangunan Ruas Jalan Sebelimbingan-Martadipura Kota Bangun, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elemen-elemen struktur <i>pile head</i> dan slab dengan tulangan lentur dan tulangan geser seperti yang tergambar di <i>shop drawing</i>, cukup kuat untuk memikul beban-beban yg bekerja pada <i>struktur slab on pile</i>. Dari hasil analisis struktur didapatkan nilai rasio tegangan (<i>stress ratio</i>) maksimum dari <i>pile head</i> = 0,83 dan <i>slab</i> = 0,56. Karena nilai rasio tegangan dari <i>pile</i>

			<p><i>head</i> dan <i>slab</i> ini lebih kecil dari 1, maka dapat disimpulkan <i>pile head</i> dan <i>slab</i> cukup kuat.</p> <p>2. Dari hasil pengujian lentur skala penuh pada tiang pancang yang telah dilakukan di pabrik produk beton PT. Wijaya Karya di Pasuruan, dapat diketahui bahwa kapasitas momen lentur aktual dari tiang pancang prategang berukuran (40x40) cm, lebih besar dari pada momen lentur yang terjadi pada tiang pancang akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tiang pancang prategang ini cukup kuat digunakan sebagai pondasi struktur <i>slab on pile</i>.</p> <p>3. Dari hasil analisis geoteknik dan analisis struktur diketahui bahwa, daya dukung pondasi tiang pancang yang diijinkan adalah 101 ton, sedangkan besarnya beban maksimum yang harus didukung tiang pancang adalah 70,6 ton. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pondasi tiang pancang mampu mendukung beban-beban yang bekerja di atasnya.</p> <p>4. Simpangan horisontal yang terjadi pada struktur slab on</p>
--	--	--	---

			<p>pile akibat kombinasi beban lalu lintas dengan beban-beban yang berarah horisontal, seperti beban gempa, gaya sentrifugal akibat laju kendaraan pada tikungan, dan gaya benturan, masih dalam batas simpangan yang diijinkan. Simpangan horisontal maksimum yang terjadi pada struktur adalah 4,63 cm, sedangkan simpangan yang diijinkan adalah 7 cm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konfigurasi struktur slab on pile ini cukup kaku, sehingga struktur <i>slab on pile</i> tidak memerlukan rangka pengaku (<i>bracing</i>).</p>
3.	Anisa Fadilah dan Roestaman (2017)	Analisis Struktur Bawah Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kebutuhan tulangan <i>pile cap</i> dan <i>pier wall</i> secara analitis dan lapangan. 2. Dari hasil analisis didapat nilai daya dukung <i>bored pile</i>.

3.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tahapan Penelitian

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban

Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban sepanjang kurang lebih 35 meter, dibangun di ruas jalan Ujung pandaran – Kuala Pembuang, Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah. Trase jalan harus melewati daerah dengan kondisi tanah yang sangat lunak, dimana tanah keras dijumpai pada kedalaman rata-rata -22 meter dari permukaan tanah. Pada saat musim penghujan, lokasi trase jalan ini tergenang air, sehingga peil elevasi jalan harus dinaikkan kurang lebih 2,15 meter dari permukaan tanah asli.

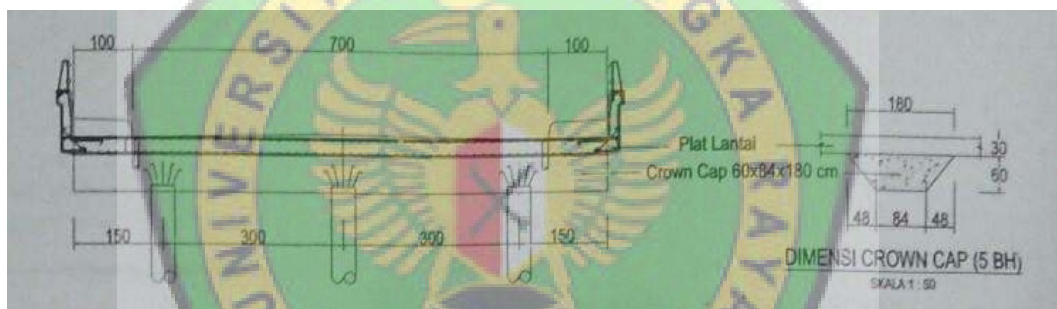
Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan ini, dipilih konstruksi jalan dengan sistem struktur *slab on pile*, dimana pada sistem struktur ini, *slab* jembatan didukung oleh *pile cap* dan tiang-tiang pancang yang ditanam sampai kedalaman tanah keras.

Tiang pancang dari beton prategang berdiameter 40 cm. Jarak memanjang antara tiang pancang adalah 5 meter, dan jarak melintang antara tiang pancang adalah 3 meter. Konstruksi *slab on pile* direncanakan mempunyai lebar 9 meter, terdiri 2 jalur kendaraan dengan 2 buah trotoar di kanan dan kiri jalan selebar 1 meter. Konfigurasi dari struktur *slab on pile*, diperlihatkan pada Gambar 4.1.

Konstruksi jalan dengan sistem struktur *slab on pile* ini direncanakan memiliki umur rencana 30 tahun. Selama umur rencananya, struktur dirancang untuk mampu mendukung kendaraan-kendaraan berat dengan beban 50 ton, serta

mampu menahan beban-beban yang diakibatkan oleh pengaruh lainnya, seperti pengaruh gempa dan lain-lainnya.

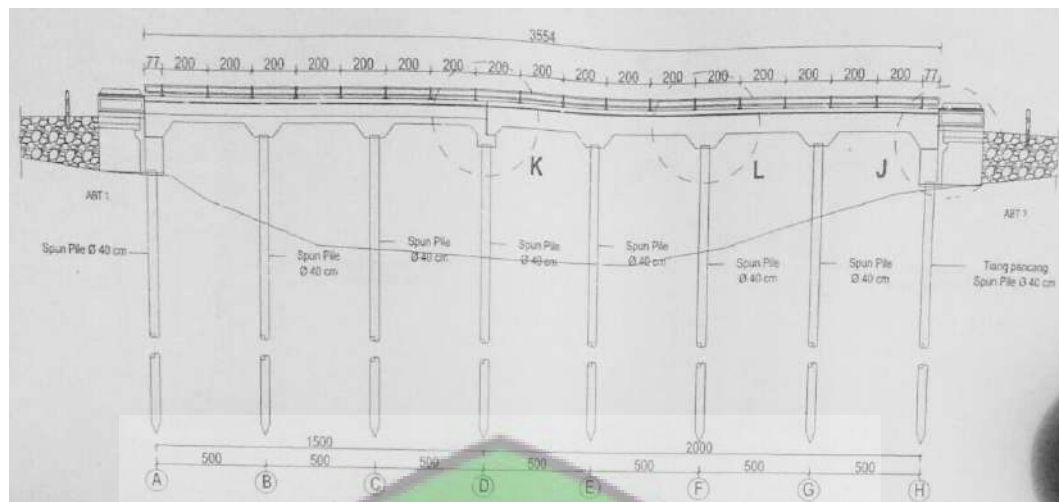
Untuk memastikan kinerja dari struktur *slab on pile*, perlu dilakukan kajian kekuatan sistem struktur yang meliputi evaluasi struktur dan evaluasi geoteknik. Evaluasi struktur meliputi pemeriksaan kekuatan elemen-elemen struktur yang terdiri dari : *slab*, *pile cap*, dan tiang pancang. Sedangkan evaluasi geoteknik dilakukan dengan cara memeriksa kekuatan daya dukung tiang pancang untuk mendukung beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*.



Potongan Melintang *Pile Slab*

Gambar 4.1 Konfigurasi Struktur *Slab On Pile* Arah Melintang

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah Shop Drawing Jembatan *Pile Slab*, 2017



Potongan Memanjang *Pile Slab*

Gambar 4.2 Konfigurasi Struktur *Slab On Pile* Arah Memanjang

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah Shop Drawing Jembatan *Pile Slab*, 2017

4.2 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang

Untuk mengetahui kemampuan daya dukung tiang pancang (diameter 40 cm) dalam memikul beban-beban yang ada, perlu dilakukan analisis struktur struktur secara menyeluruh. Daya dukung tiang pancang dihitung berdasarkan nilai N-SPT yang didapat dari data di lapangan. Dari hasil penyelidikan tanah, didapatkan data tanah berupa nilai N-SPT pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Nilai N-SPT Tanah

Nomor titik bor	Kedalaman (m)	N-SPT Rata-rata	0,2.(N-SPT)
B1	0	0	0,00
	-2	2	0,40
	-4	2	0,40
	-6	0	0,00
	-8	0	0,00
	-10	5	1,00
	-12	7	1,40
	-14	12	2,40
	-16	15	3,00
	-18	13	2,60
	-20	16	3,20
	-22	27	5,40
			19,8

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah Jembatan Pile Slab, 2017

4.2.1 Daya Dukung Ujung Tiang Pancang

Daya dukung ultimit pada ujung tiang pancang (P_b) dihitung dengan rumus :

$$P_b = 40.(N_b) \times A_b$$

dimana :

N_b adalah harga N-SPT pada ujung tiang pancang

A_b adalah luas penampang pondasi tiang pancang

Dari hasil penyelidikan tanah didapatkan besarnya N-SPT pada ujung tiang pancang (kedalaman 22 meter) adalah : $N_b = 27$. Untuk tiang pancang berukuran (diameter 40 cm), luas penampang tiang : $A_b = (0,25 \times \pi \times 0,4^2) = 0,125 \text{ m}^2$.

Besarnya daya dukung ujung ultimit dari tiang pancang (diameter 40 cm) :

$$P_{bu} = 40.(27) \times 0,125 = 135,71 \text{ ton.}$$

Dengan angka keamanan diambil sebesar $SF=2$, maka besarnya daya dukung ujung yang diijinkan : $P_b = P_{bu}/SF = 135,71/2 = 67,85$ ton.

4.2.2 Daya Dukung Friksi Tiang Pancang

Daya dukung friksi/gesek ultimit (P_{su}) pada dinding tiang pancang, dihitung berdasarkan gaya friksi yang terjadi antara dinding tiang pancang dengan tanah. Besarnya gaya friksi diperhitungkan sebesar 0,2 dari nilai N-SPT. Daya dukung friksi pada dinding tiang pancang (P_{fu}) dihitung dengan rumus :

$$P_{fu} = 0,2 \cdot (N-SPT) \times (O)$$

dimana :

O = keliling tiang pancang yang besarnya adalah : $O = (\pi \times 0,4) = 1,25$ m.

Tabel 4.2 Nilai N-SPT Tanah

Nomor titik bor	Kedalaman (m)	N-SPT Rata-rata	$0,2 \cdot (N-SPT)$	O (m)	$0,2 \cdot (N-SPT) \cdot O$
B1	0	0	0,00	1,25	0
	-2	2	0,40	1,25	0,5
	-4	2	0,40	1,25	0,5
	-6	0	0,00	1,25	0
	-8	0	0,00	1,25	0
	-10	5	1,00	1,25	1,25
	-12	7	1,40	1,25	1,75
	-14	12	2,40	1,25	3
	-16	15	3,00	1,25	3,75
	-18	13	2,60	1,25	3,25
	-20	16	3,20	1,25	4
-22	27	5,40	1,25	6,75	
			$\Sigma = 19,8$		$\Sigma = 24,75$

Sumber : Hasil Perhitungan,, 2020

Dari tabel 4.2, didapat besarnya gaya friksi total sampai dengan kedalaman 22 meter adalah :

Besarnya daya dukung friksi ultimit dari tiang pancang : $P_{fu} = 24,75$ ton. Dengan angka keamanan diambil sebesar $SF=2$, maka besarnya daya dukung ujung yang diijinkan : $P_f = P_{fu}/SF = 24,75/2 \approx 12,3$ ton.

4.2.3 Daya Dukung Tiang Pancang

Besarnya daya dukung dari tiang pancang, didapat dengan menjumlahkan daya dukung ujung tiang pancang (P_b) dengan daya dukung friksi (P_f). Daya dukung dari tiang pancang yang diijinkan :

$$P_a = (P_b + P_f) = (67,85 + 12,3) = 80,1 \text{ ton}$$

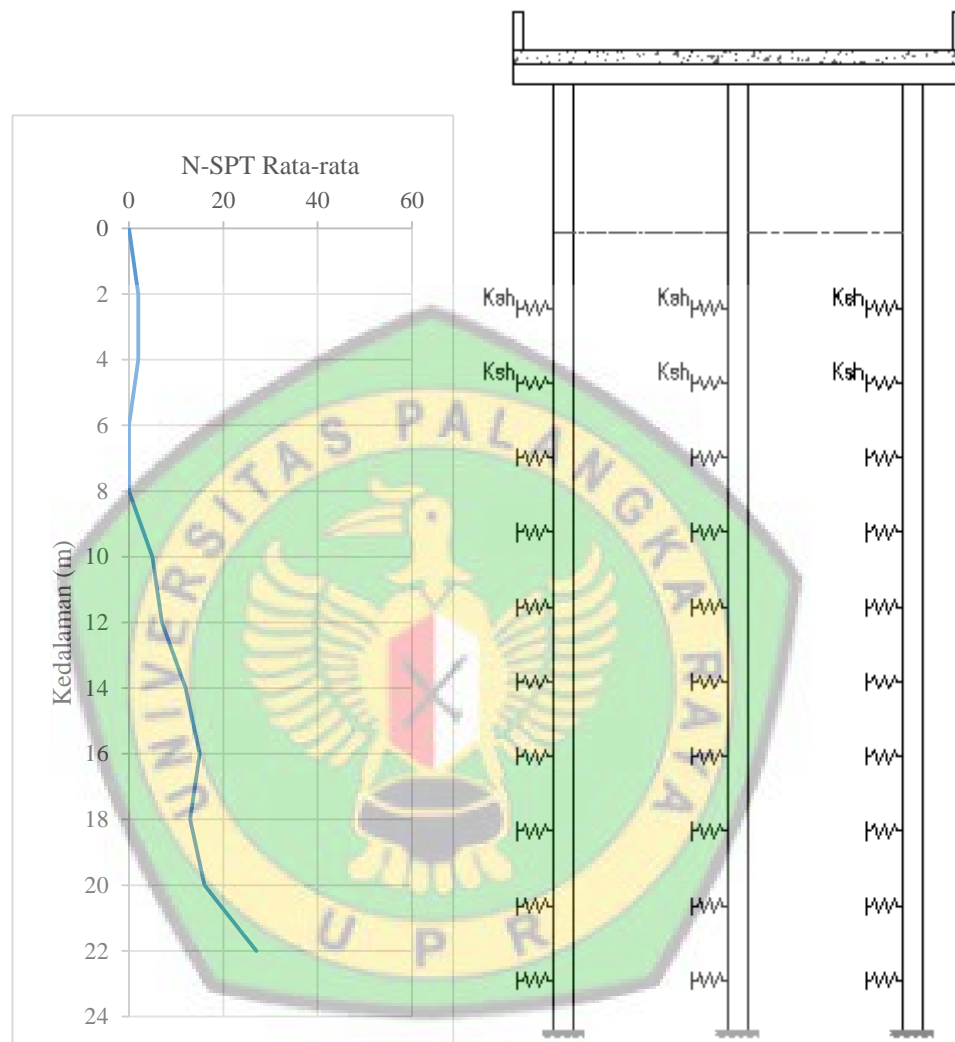
4.3 Pemodelan Tumpuan Pondasi Tiang Pancang

Untuk keperluan analisis struktur, digunakan model tumpuan pegas elastis, yang merepresentasikan daya dukung pondasi tiang pancang. Besarnya reaksi yang dapat didukung oleh tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan pegas elastis, tergantung dari besarnya gaya pegas dari tumpuan yang bersangkutan. Untuk tanah yang dimodelkan sebagai tumpuan elastis, kemampuan untuk mendukung beban tergantung dari besarnya *modulus of subgrade reaction* (K_s) dari tanah.

Besarnya K_s berlainan untuk setiap jenis tanah. Besarnya *modulus of subgrade reaction* kearah vertikal (K_{sv}) dapat ditentukan dari besarnya daya dukung tanah yang diijinkan (q_a), yaitu :

$$K_{sv} = 40.(SF).q_a \quad (\text{kN/m}^3)$$

dimana SF adalah angka keamanan (*safety factor*), dan q_a dalam satuan kPa (kN/m^2).



Gambar 4.3 Nilai N-SPT dan Model Tumpuan Elastis pada Tiang Pancang
Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah Shop Drawing Jembatan Pile Slab, 2017

Besarnya K_s berlainan untuk setiap jenis tanah. Besarnya K_s kearah vertikal (K_{sv}) dapat ditentukan dari besarnya daya dukung tanah yang diijinkan (q_a), yaitu:

$$K_{sv} = 40.(SF).q_a \quad (\text{kN/m}^3)$$

dimana SF adalah angka keamanan (*safety factor*), dan q_a dalam satuan kPa (kN/m^2).

Jika digunakan angka kemanan (SF) = 2, maka besarnya *modulus subgrade reaction* tanah dalam arah vertikal adalah : $K_{sv} = 120.q_a$ (Analisis Dan Desain Pondasi, J.E Bowles, Penerbit Erlangga, 1989). Besarnya *modulus subgrade reaction* tanah dalam arah horisontal adalah : $K_{sh} = 2.(K_{sv})$.

Menurut Meyerhof (1965), hubungan antara daya dukung tanah yang diijinkan (q_a) dengan nilai N-SPT, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$q_a = (N/8) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Perhitungan *modulus subgrade reaction* tanah dalam arah vertikal (K_{sv}) dan arah horisontal (K_{sh}), ditabelkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan *Modulus Subgrade Reaction* Arah Vertikal (K_{sv}) dan Arah Horisontal (K_{sh})

N-SPT Rata-rata	$q_a=N/8$ (kg/cm ²)	q_a (kPa)	$K_{sv} = 120.q_a$ (kN/m ³)	K_{sv} (kg/m ³)	$K_{sh}=2.K_{sv}$ (kg/m ³)
0	0	0	0	0	0
2	0,25	2,5	300	30000	60000
2	0,25	2,5	300	30000	60000
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
5	0,625	6,25	750	75000	150000
7	0,875	8,75	1050	105000	210000
12	1,5	15	1800	180000	360000
15	1,875	18,75	2250	225000	450000
13	1,625	16,25	1950	195000	390000
16	2	20	2400	240000	480000
27	3,375	33,75	4050	405000	810000

Sumber : Hasil Perhitungan, 2020

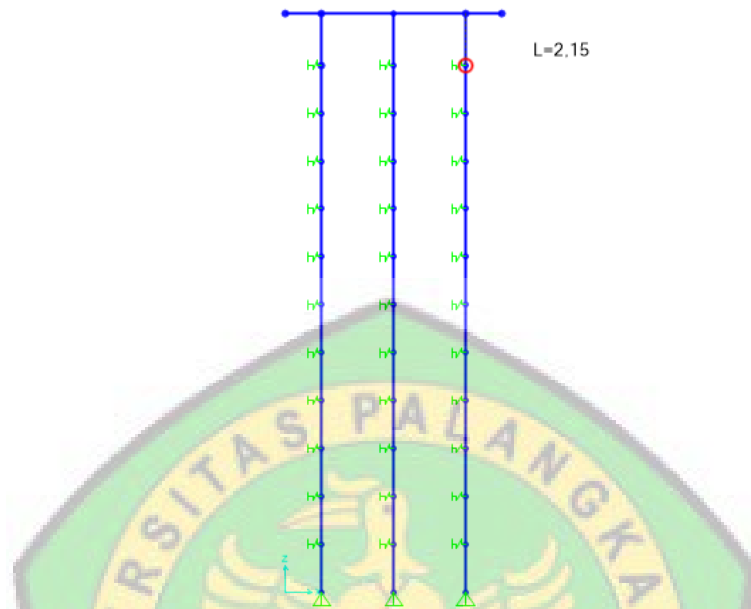
Tumpuan pegas elastis direncanakan dipasang pada setiap kedalaman 2,0 meter dari permukaan tanah (Gambar 4.3). Luas bidang kontak antara tanah dengan tiang pancang (keliling tiang pancang 0,40 m) = $(1 \times \pi \times 0,4) \text{ m}^2 = 0,125 \text{ m}^2$. Besarnya konstanta pegas arah horisontal (Ksh), dicantumkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan Konstanta Pegas Arah Horisontal (Ksh)

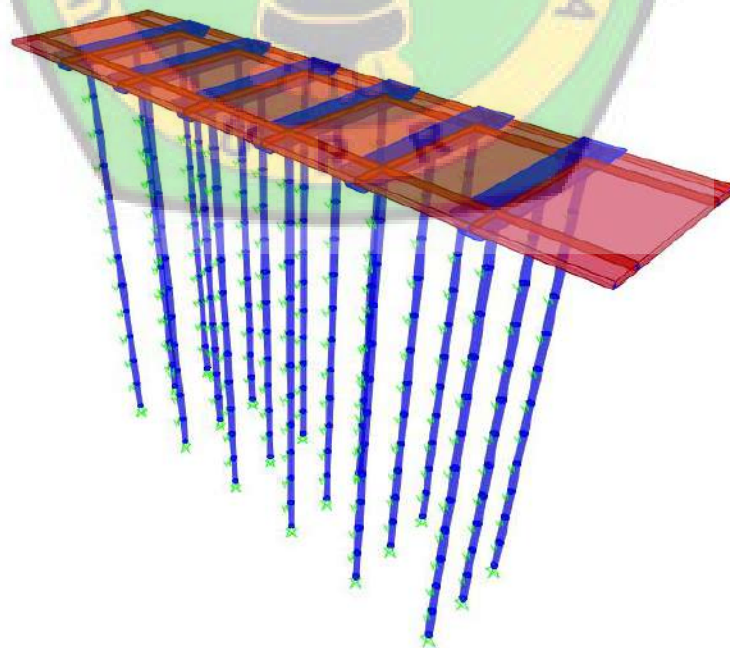
Kedalaman (m)	ksh=2.ksv (kg/m ³)	Luas Bidang Kontak (m ²)	Ksh (kg/m)	Ksh (ton/m)
0	0			
-1	30000	1,2566	37698	37,698
-2	60000			
-3	60000	1,2566	75396	75,396
-4	60000			
-5	30000	1,2566	37698	37,698
-6	0			
-7	0	1,2566	0	0
-8	0			
-9	75000	1,2566	94245	94,245
-10	150000			
-11	180000	1,2566	266188	266,188
-12	210000			
-13	295000	1,2566	370697	370,697
-14	360000			
-15	405000	1,2566	508923	508,923
-16	450000			
-17	420000	1,2566	527772	527,772
-18	390000			
-19	435000	1,2566	546621	546,621
-20	480000			
-21	645000	1,2566	810507	810,507
-22	810000			

Sumber : Hasil Perhitungan, 2020

Pemodelan struktur *pile slab* dengan menggunakan software SAP2000, terlihat seperti gambar 4.4 dan gambar 4.5.



Gambar 4.4 Model Tumpuan Pegas Elastis pada Tiang Pancang
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.5 Pemodelan Struktur Slab On Pile 3 Dimensi
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

4.4 Pembebanan Pada Struktur

Untuk keperluan analisis dan evaluasi kekuatan struktur *slab on pile*, digunakan standar-standar struktur yang berlaku di Indonesia, yaitu :

- a. Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)
- b. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)
- c. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)
- d. Indonesian Bridge Management System (IBMS, 1992)

Beban-beban diperhitungkan bekerja pada struktur *slab on pile* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Pembebanan dan Faktor Beban yang Digunakan pada Struktur *Slab On Pile*

Kombinasi Pembebanan	MA MS	TT TD TB TR TP	EW _s	EW _L	EQ
Kuat I	1,00	1,80	-	-	-
Kuat II	1,00	1,40	-	-	-
Kuat III	1,00	-	1,40	-	-
Kuat IV	1,00	-	-	-	-
Kuat V	1,00	-	0,40	1,00	-
Ektrem I	1,00	0,30	-	-	1,00
Ektrem II	1,00	0,50	-	-	-
Daya Layan I	1,00	1,00	0,30	1,00	-
Daya Layan III	1,00	0,80	-	-	-

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Dengan beban yang bekerja pada satu rangka pemikul seperti tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Beban-beban yang Bekerja pada Struktur Slab On Pile

Beban Pada 1 Rangka Pemikul	Simbol Beban
Berat sendiri struktur, terdiri dari berat pelat/slab, <i>pile cap</i> , dan tiang pancang	MS
Beban mati tambahan, terdiri dari lapisan aspal tebal 5 cm, barier, & pipa sandaran, air hujan 5 cm	MA
Beban pejalan kaki di trotoar	TP
Gaya akibat pengereman kendaraan	TB
Beban angin struktur	EW _s
Beban angin kendaraan	EW _L
Beban Lalu Lintas (Beban lajur "D") (TD) : - Beban Terbagi Rata - Beban Garis Terbagi Rata/BGT - Beban truk "T"	BTR BGT TT
Beban gempa	EQ

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Untuk perhitungan pembebanan pada struktur *slab on pile* digunakan Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016). Menurut SNI 1725-2016, beban pada jembatan dibedakan menjadi dua kategori aksi berdasarkan lamanya beban yang bekerja yaitu :

a. Beban Permanen

Merupakan beban yang bekerja sepanjang waktu dan bersumber pada sifat bahan, cara pembangunan jembatan, dan bangunan yang menempel pada jembatan.

b. Beban Transien

Merupakan beban yang bekerja dalam jangka waktu pendek, walaupun mungkin sering terjadi.

4.4.1 Beban permanen

Beban tetap atau beban permanen yang bekerja pada struktur *slab on pile*, dibedakan sebagai berikut :

a. Berat Sendiri

Beban akibat berat sendiri pada jembatan terdiri berat dari elemen struktural dan elemen non struktural yang dianggap tetap. Berat sendiri pada struktur *slab on pile* terdiri dari : berat *slab*, *pile cap*, dan berat tiang pancang. Besarnya beban akibat berat sendiri tergantung dari dimensi elemen struktur dan berat jenis dari bahan yang digunakan. Berat jenis dari beberapa bahan di tampilkan pada tabel 4.7 di bawah, sebagai berikut :

Tabel 4.7 Berat Jenis Bahan Konstruksi

Bahan	Berat Jenis (Kg/m ³)
Aspal Beton	2200
Beton Bertulang	2500
Baja	7850

Sumber : SNI 1725 *Pembebanan untuk Jembatan*, 2016

b. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur rencana. Beban mati tambahan pada struktur *slab on pile* diantaranya :

- a. Lapisan aspal beton setebal 5 cm. Beban aspal beton = $0,05 \times 2200 = 110 \text{ kg/m}^2$.
- b. Lapisan air hujan setebal 5 cm. Beban air hujan = $0,05 \times 980 = 49 \text{ kg/m}^2$.
- c. Barrier dan Pipa Sandaran. Dari perhitungan didapatkan beban barrier dan pipa sandaran = 600 kg/m .

1. Beban Lalu Lintas

Beban sementara yang bekerja pada struktur *slab on pile*, dapat diakibatkan oleh : beban pejalan kaki pada trotoar, beban kendaraan (lalu lintas), gaya akibat pengereman kendaraan, gaya sentrifugal akibat kecepatan kendaraan pada bagian jembatan yang melengkung, gaya akibat gempa.

Beban lalu lintas yang diperhitungkan bekerja pada struktur *slab on pile* terdiri dari Beban Lajur D dan Beban Truk T. Beban Lajur D ditempatkan melintang pada lebar penuh dari jalur lalu lintas pada jembatan, dan akan menghasilkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan rangkaian kendaraan sebenarnya. Jumlah total Beban Lajur D yang ditempatkan tergantung pada lebar jalur pada jembatan.

Beban Truk T adalah kendaraan berat tunggal (*semi trailer*) dengan tiga gandar yang ditempatkan dalam kedudukan jembatan pada lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua pembebanan bidang kontak yang dimaksud, agar mewakili pengaruh berat roda kendaraan. Hanya satu Beban Truk T yang boleh ditempatkan per spasi lajur lalu lintas rencana.

Pada umumnya, Beban Lajur D akan menentukan untuk bentang sedang sampai panjang, sedangkan Beban Truk T akan menentukan untuk bentang pendek dan sistem lantai jembatan.

a. Beban Lajur D

Beban Lajur D terdiri dari :

- a. Beban Terbagi Rata (BTR) dengan intensitas q (kPa). Besarnya q tergantung pada panjang jembatan (L) yang dibebani total, sebagai berikut :

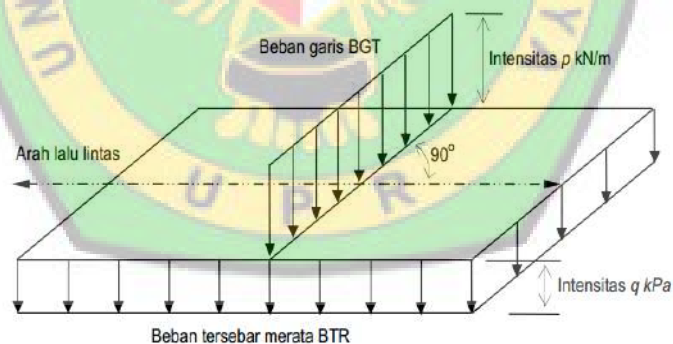
$$L \leq 30 \text{ m}; \quad q = 9,0 \text{ kPa} \approx 900 \text{ kg/m}^2$$

$$L \geq 30 \text{ m}; \quad q = 9,0 \times [0,5 + (15/L)] \text{ kPa}$$

Beban BTR bisa ditempatkan dalam panjang terputus agar terjadi pengaruh yang maksimum pada struktur. Dalam hal ini, L adalah jumlah dari panjang masing-masing beban terputus tersebut. Beban BTR ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas.

- b. Beban Garis Terbagi Rata (BGT) dengan intensitas p (kN/m), ditempatkan pada kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas. Besarnya BGT ditetapkan sebesar $p = 49 \text{ kN/m} \approx 4900 \text{ kg/m}$

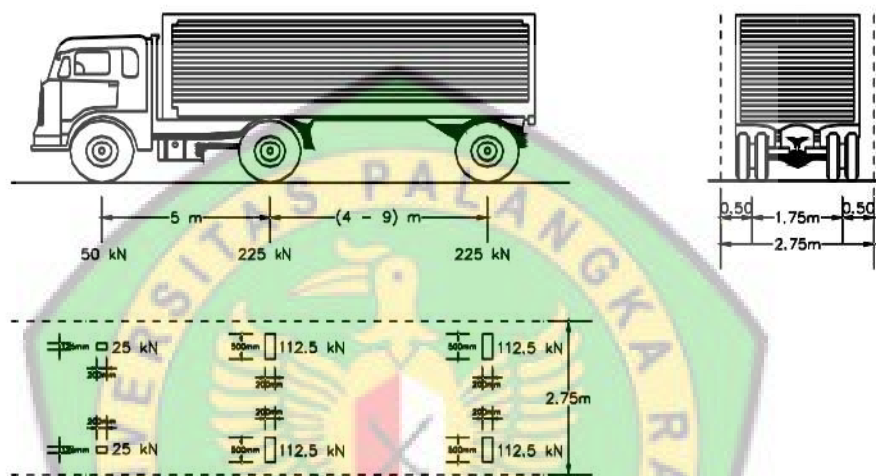
Skema dari Beban Lajur D pada jembatan ditampilkan pada gambar 4.6, sebagai berikut :



Gambar 4.6 Model Beban Lalu Lintas pada Jembatan (Beban Lajur D)
Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

b. Beban Truk T

Beban Truk T merepresentasikan beban dari kendaraan truk semi trailer yang melewati jembatan. Hanya ada satu Beban Truk T yang ditempatkan dalam tiap jalur lalu lintas rencana pada jembatan. Skema dari Beban Truk T pada jembatan ditampilkan pada gambar 4.7 sebagai berikut :

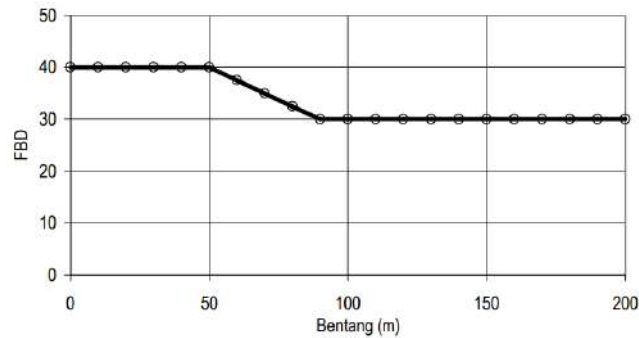


Gambar 4.7 Model Beban Kendaraan Truk pada Jembatan (Beban Truk T)
Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

c. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor Beban Dinamik (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan struktur jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan.

Untuk Beban Lajur D, FBD merupakan fungsi dari panjang bentang jembatan seperti diperlihatkan pada gambar 4.8. Untuk Beban Truk T, besarnya FBD diambil 30%.



Gambar 4.8 Faktor Beban Dinamik (FBD) untuk BGT
 Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

FBD yang diperhitungkan pada struktur *slab on pile* adalah : 1,40 untuk Beban lajur D dan 1,30 untuk Beban Truk T.

3. Beban Pejalan Kaki

Beban hidup pada trotoar struktur *slab on pile* yang diakibatkan oleh pejalan kaki di atasnya, diperhitungkan sebesar 500 kg/m^2 .

4. Gaya Rem

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari Beban Lajur D, yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan FBD.

Gaya rem dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter di atas permukaan lantai kendaraan. Untuk *slab on pile* dengan panjang bentang segmental 5 meter, didapat besarnya gaya rem yang diperhitungkan pada struktur adalah $10 \text{ kN} + 0,25 \cdot 900 \approx 1500 \text{ kg}$.

5. Beban Angin (E_w)

Beban angin pada jembatan terbagi menjadi dua, yaitu beban angin struktur (E_{w_s}) dan beban angin kendaraan (E_{w_1}). Pada perencanaan jembatan berdasar SNI 1725-2016 kecepatan angin rencana berkisar antara 90 km/jam sampai dengan 126 km/jam.

$$\text{Panjang} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien Seret, } C_w = 1,25$$

$$\text{Kecepatan Rencana, } V_w = 126 \text{ km/jam} = 35 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Sisi Samping} &= \text{Luas Slab} + \text{Luas Tiang Pancang} \\ &= (5 \times 0,3) + (2,15 \times 0,125) \\ &= 1,768 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{w_s} &= 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times \text{Luasan Samping Jembatan} \\ &= 1,624 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

karena $E_{w_s} = 1,624 < 4,4 \text{ kN/m}$ maka diambil angka $E_{w_s} = 4,4 \text{ kN/m}$.

Beban angin pada kendaraan (E_{w_1}) adalah beban angin yang bekerja pada bidang kontak sebesar 1800 mm diatas jembatan. menurut SNI 1725-2016 beban angin pada kendaraan ditetapkan sebesar 1,46 kN/m atau sebesar 1,46 n/mm.

$$QE_{w_1} = 1,46 \text{ kN/m.}$$

6. Beban Gempa

Analisis struktur *slab on pile* terhadap beban gempa mengacu pada standar Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan

Non Gedung (SNI 03-1726-2012). Besarnya beban gempa pada struktur *slab on pile* dihitung dengan menggunakan prosedur Gaya Lateral Ekvivalen dengan menggunakan rumus :

$$V = C_s.W$$

dimana :

W : Berat efektif *slab on pile*, yang besarnya dapat diperhitungkan sebesar 100% (beban mati) + 25% (beban hidup/beban kendaraan)

C_s : Koefisien Respon Seismik

R : Faktor Modifikasi Respon

I_e : Faktor Keutamaan Gempa

Besarnya nilai Koefisien Respon Seismik, dihitung dengan menggunakan rumus :

$$C_s = S_{DS}/(R/I_e)$$

Nilai C_s yang dihitung dengan rumus diatas, tidak perlu melebihi nilai C_s yang dihitung dengan rumus :

$$C_s = S_{D1}/T.(R/I_e)$$

Pada rumus diatas :

S_{DS} : Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

S_{D1} : Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode 1 detik

T : Periode getar struktur (detik)

Nilai C_s yang dihitung dari kedua rumus diatas, harus tidak boleh kurang dari :

$$C_s = 0,044.S_{DS} .I_e \geq 0,01$$

a. Penentuan Kelas Situs

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi, profil tanah mempunyai nilai N-SPT yang berbeda. Untuk penentuan kelas situs, perlu dihitung nilai N-SPT rata-rata yang dianggap mewakili kondisi tanah di lokasi tersebut. Perhitungan N-SPT Rata-rata untuk penentuan Kelas Situs, dicantumkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perhitungan Nilai N-SPT rata-rata untuk Penentuan Kelas Situs

Kedalaman (m)	Tebal Lapisan d (m)	N-SPT Rata-rata	d x (N-SPT)
-2	2	2	4,0
-4	2	2	4,0
-6	2	0	0,00
-8	2	0	0,00
-10	2	5	10,0
-12	2	7	14,0
-14	2	12	24,0
-16	2	15	30,0
-18	2	13	26,0
-20	2	16	32,0
-22	2	27	54,0
			198

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah Jembatan Pile Slab, 2017

Besarnya nilai N-SPT Rata-rata (N_r) tanah dasar di lokasi proyek :

$$N_r = (\sum d \times N\text{-SPT}) / \sum d = 198/22 = 9$$

Untuk nilai N-SPT = 9, maka berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.9 dapat disimpulkan bahwa klasifikasi situs pada lokasi proyek dimana struktur *slab on pile* didirikan, termasuk kelas situs SD (tanah lunak) dengan nilai <15.

Tabel 4.9 Klasifikasi Kelas Situs

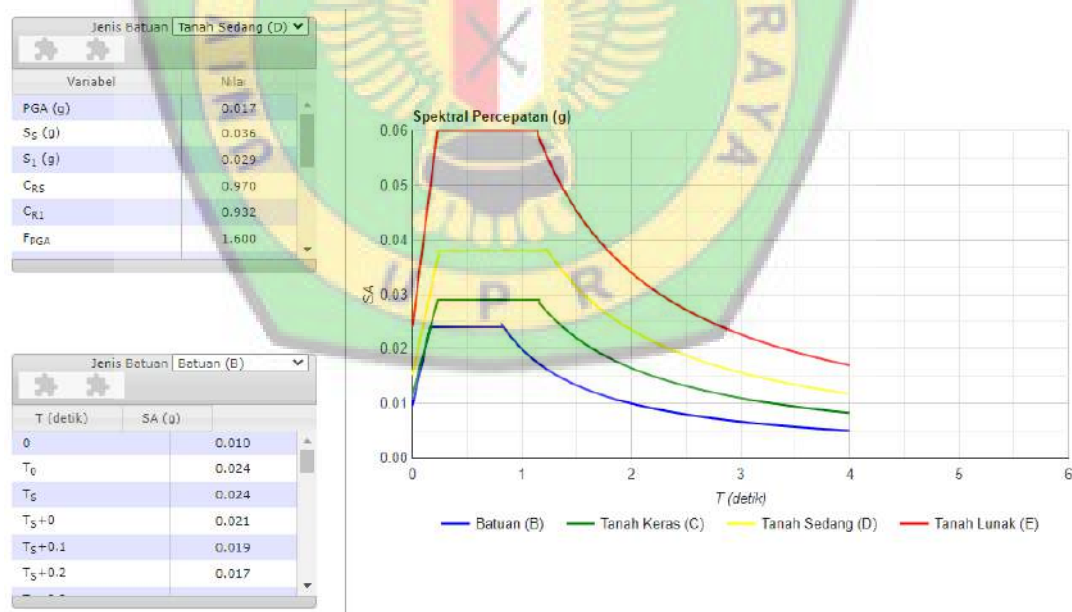
Kelas Situs	N-SPT
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	>15
SD (tanah sedang)	15 sampai 50
SE (tanah lunak)	<15

Sumber : Tabel 3 (SNI 1726 – 2012)

b. Spektrum Respon Desain

Untuk perhitungan beban gempa pada struktur *slab on pile*, perlu dibuat Kurva Respon Spektra Desain untuk lokasi dimana bangunan akan didirikan. Untuk membuat Kurva Spektrum Respons Desain dilakukan dengan menggunakan *software on-line* yang tersedia pada situs : puskim.pu.go.id (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).

Dengan menggunakan *software on line* yang tersedia, dan dengan memasukkan data koordinat dari Kota Sampit di Kalimantan Tengah, didapatkan Kurva Percepatan Respon Spektrum Desain untuk wilayah Kota Sampit dan sekitarnya seperti pada Gambar 4.9.



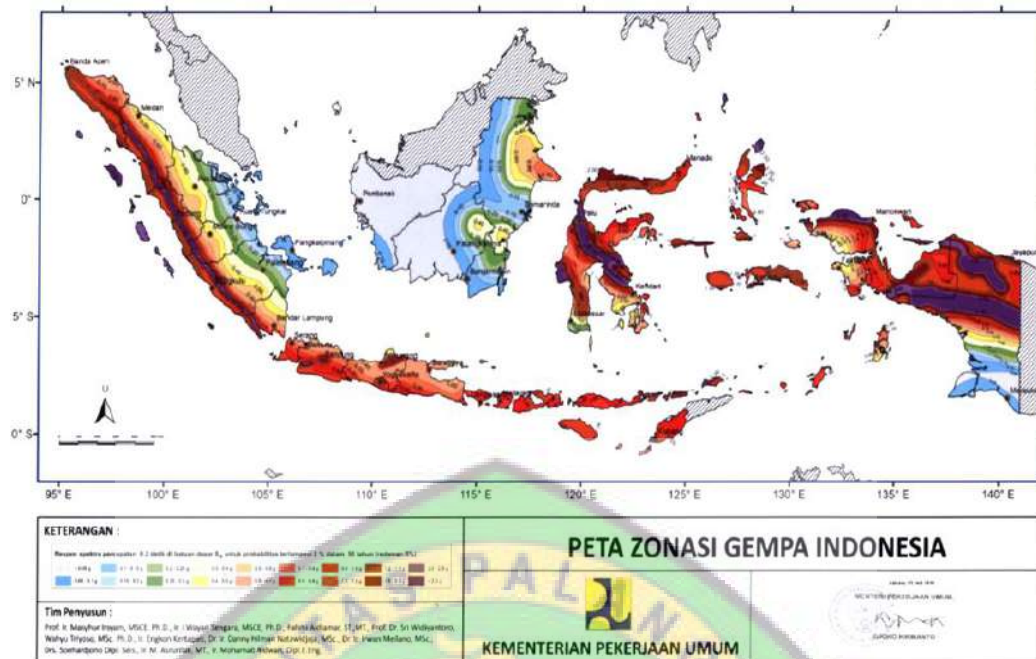
Gambar 4.9 Parameter Seismik dan Kurva Spektrum Respon Desain Kota Sampit (Kalimantan Tengah) untuk Kondisi Tanah Lunak (Kurva Merah)
 Sumber : http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

Dari perhitungan spektrum respon desain, didapat parameter-parameter seismik sebagai berikut :

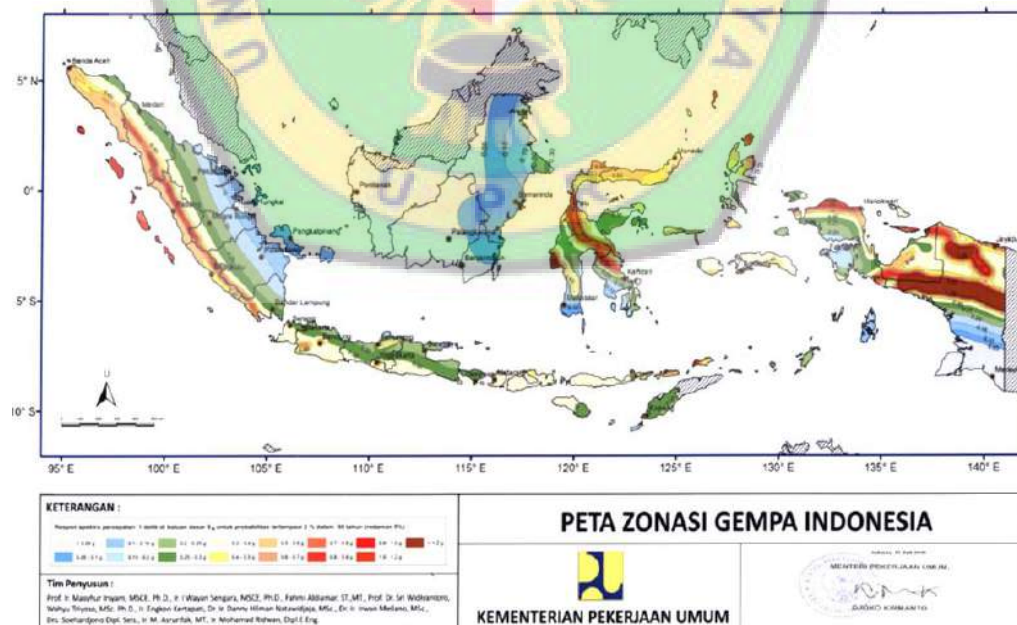
- Percepatan spektrum respon desain pada periode pendek (S_{DS}) : 0,128 g.
 - Percepatan spektrum respon desain pada periode 1 detik (S_{D1}) : 0,136 g.
- g, adalah percepatan gravitasi yang besarnya $9,8 \text{ m/dt}^2$.

Peta percepatan spektrum respon desain pada periode pendek (S_{DS}) dan percepatan spektrum respon desain pada periode 1 detik (S_{D1}), diperlihatkan pada Gambar 4.10 dan 4.11.





Gambar 4.10 Peta respon spektra percepatan periode pendek 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun
 Sumber : SNI 03-1726, 2012



Gambar 4.11 Peta respon spektra percepatan periode 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun
 Sumber : SNI 03-1726, 2012

c. Kategori Desain Seismik

Struktur *slab on pile* yang dibangun merupakan jembatan lalu lintas jalan raya biasa yang dilewati kurang dari 2000 kendaraan/hari. Berdasarkan Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725 – 2016), struktur *slab on pile* ini termasuk jembatan dengan Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,0

Mengacu pada Tabel 1 SNI 1726 – 2012 tentang Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya Untuk Beban Gempa, struktur ini memiliki risiko yang rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan. Oleh karena itu, struktur *slab on pile* ini dimasukkan dalam Kategori Risiko I.

Untuk perhitungan pengaruh beban gempa, Kategori Desain Seismik (KDS) dari struktur *slab on pile* harus ditentukan terlebih dahulu berdasarkan kategori risikonya, dan parameter respons spektra percepatan desainnya yaitu : $S_{DS} = 0,128$ g dan $S_{D1} = 0,136$ g.

Dari Tabel 4.10, untuk nilai $S_{DS} = 0,128$ g, struktur *slab on pile* termasuk pada Kategori Risiko A . Dari Tabel 4.11, untuk nilai $S_{D1} = 0,136$ g, struktur *slab on pile* termasuk pada Kategori Risiko C.

Tabel 4.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek 0,2 detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726 – 2012

Tabel 4.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik

Nilai	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726 – 2012

Struktur *slab on pile* merupakan struktur dengan penahan gaya seismik berupa sistem rangka pemikul momen dari beton bertulang. Mengacu pada tabel 4.12, maka struktur jembatan *slab on pile* ini harus didesain sebagai Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dengan Koefisien Modifikasi Respons (R) = 5,0, Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3, dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 4,5

Tabel 4.12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen)

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen								
Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diiijinkan.

Sumber : SNI 1726 – 2012

d. Periode Getar Struktur

Periode getar struktur (T) dari struktur *slab on pile* dihitung dengan menggunakan Metode Analisis Ragam (*Modal Analysis*). Perhitungan periode getar dilakukan dengan meninjau derajat kebebasan (*Degree Of Freedom / DOF*) dari struktur. Untuk perhitungan periode getar struktur, ditinjau modul struktur *slab on pile* sepanjang 35 meter, dengan massa $m = 57168,65 \text{ kg}\cdot\text{dt}^2/\text{m}$.

Dari hasil analisis struktur *slab on pile* sepanjang 35 meter dengan menggunakan *software* SAP2000, didapatkan periode getar struktur (T) = $0,7534 \approx 1,0$ detik.

Ragam getar struktur yang terjadi pada struktur *slab on pile*, diperlihatkan pada Gambar .

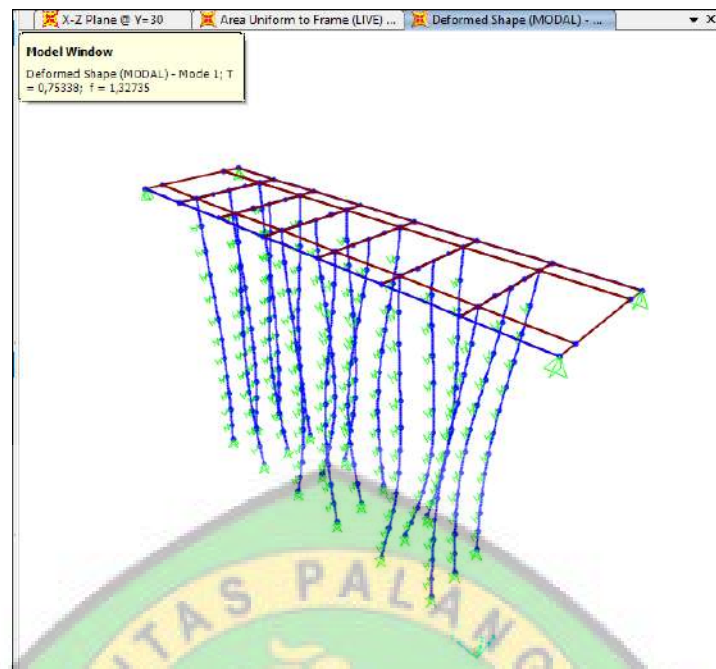
Menurut SNI 1726 – 2012, periode getar struktur (T), tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan pada periode getar yang dihitung (C_u), seperti tercantum pada Tabel 4.13. Untuk nilai $S_{D1} = 0,136 \text{ g}$, dari Tabel 4.13 didapat nilai $C_u = 1,7$.

Karena periode getar struktur *slab on pile*, $T = 1 \text{ detik} < C_u = 1,7$, maka dapat disimpulkan bahwa periode getar struktur memenuhi syarat.

Tabel 4.13 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode Getar (T) yang Dihitung

Parameter Percepatan Respon Spektra Desain Pada Periode 1 Detik (S_{D1})	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,15$	1,7

Sumber : SNI 1726 – 2012



Gambar 4.12 Ragam Getar Struktur *Slab On Pile* ($T = 0,7534 \approx 1,0$ detik)
 Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

e. Beban Gempa Pada Struktur

Dari hasil perhitungan diatas, didapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya beban gempa yang akan bekerja pada struktur *slab on pile*. Parameter-parameter tersebut adalah :

R : Koefisien Modifikasi Respon = 5

I_e : Faktor Keutamaan Gempa = 1

S_{DS} : Percepatan spektrum respon desain pada periode pendek = 0,128 g

S_{DI} : Percepatan spektrum respon desain pada periode 1 detik = 0,136 g

T : Periode getar struktur, $T = 0,7534 \approx 1,0$ detik

m : Massa struktur = 57168,65 kg.dt²/m.

W : Berat struktur = (57168,65 kg.dt²/m x 9,8 m/dt²) = 560253,07 kg

Besarnya nilai Koefisien Respon Seismik, dihitung dengan menggunakan rumus :

$$C_s = S_{DS}/(R/I_e) = 0,128/(5/1) = 0,026$$

$$C_s = S_{D1}/T.(R/I_e) = 0,136/1.(5/1) = 0,027$$

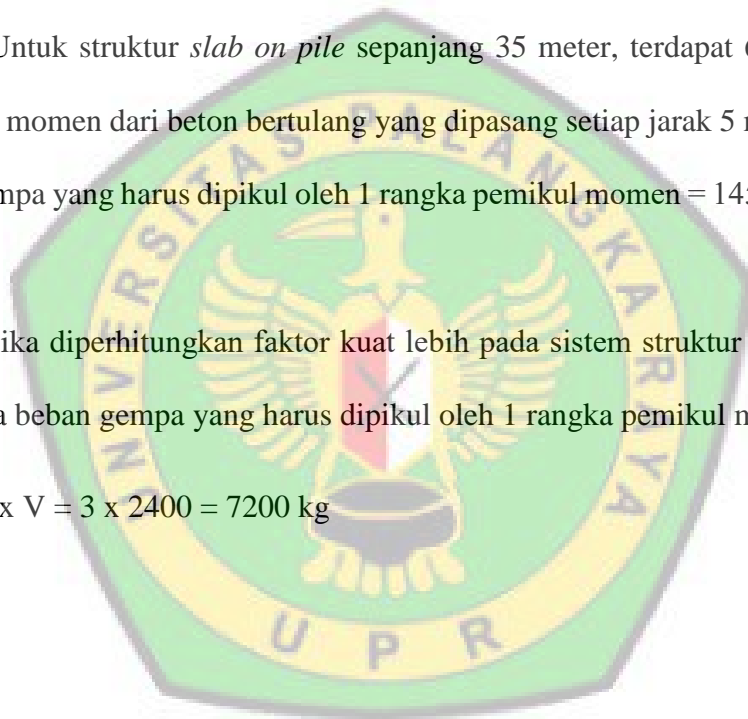
Besarnya beban gempa pada struktur *slab on pile* sepanjang 35 meter :

$$V = C_s \times W = 0,027 \times 560253,07 = 14566,58 \text{ kg}$$

Untuk struktur *slab on pile* sepanjang 35 meter, terdapat 6 sistem rangka pemikul momen dari beton bertulang yang dipasang setiap jarak 5 meter. Besarnya gaya gempa yang harus dipikul oleh 1 rangka pemikul momen = $14566,58/6 \approx 2400$ kg.

Jika diperhitungkan faktor kuat lebih pada sistem struktur ($\Omega_0 = 3$), maka besarnya beban gempa yang harus dipikul oleh 1 rangka pemikul momen adalah :

$$V = \Omega_0 \times V = 3 \times 2400 = 7200 \text{ kg}$$

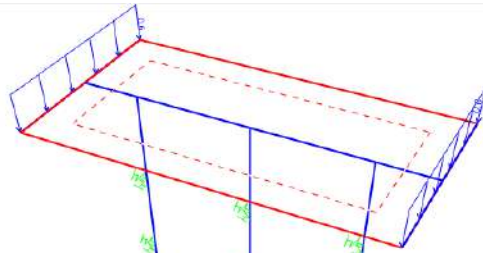


Dari hasil perhitungan beban-beban yang diperkirakan akan bekerja pada struktur *slab on pile*, didapat hasil sebagai berikut (tabel 4.14) :

Tabel 4.14 Beban-Beban yang Bekerja pada Struktur *Slab On Pile*

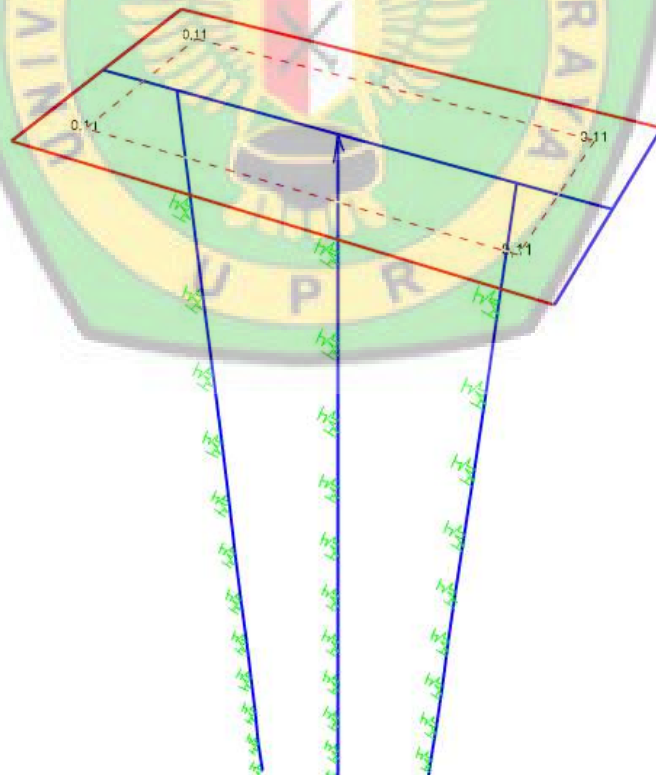
Beban Pada 1 Rangka Pemikul	Simbol Beban	Beban Pada Struktur
Berat sendiri struktur, terdiri dari berat pelat/slab, <i>pile cap</i> , dan tiang pancang	MS	Dihitung otomatis oleh <i>software</i>
Beban mati tambahan, terdiri dari lapisan aspal tebal 5 cm, barrier, & pipa sandaran, air hujan 5 cm	MA	Lapisan aspal tebal 5 cm : (0,05x2200) \approx 110 kg/m ² Lapisan air hujan tebal 5 cm : (0,05x980) \approx 49 kg/m ² Barrier + pipa sandaran = 600 kg/m
Beban pejalan kaki di trotoar	TP	5 kPa \approx 500 kg/m ²
Gaya akibat pengereman kendaraan	TB	1500 kg
Beban angin struktur	E _{ws}	440 kg/m
Beban angin kendaraan	E _{w1}	146 kg/m
Beban Lalu Lintas (Beban lajur "D") (TD) : - Beban Terbagi Rata - Beban Garis Terbagi Rata/BGT - Beban truk "T"	BTR BGT TT	9 kPa \approx 900 kg/m ² (49x1,4) kN/m \approx (5000 x 1,4) kg/m = 7000 kg/m
Beban gempa	EQ	2400 kg

Sumber : Hasil Perhitungan Pembebanan untuk Jembatan, 2020



Gambar 4.13 Beban Akibat Berat Sendiri Barrier dan Pipa Sandaran
($P_{MA}=0,6 \text{ ton/m}$)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.14 Beban Lapisan Aspal Setebal 5 cm ($P_{MA} = 0,11 \text{ ton/m}^2$)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.15 Beban Pejalan Kaki di Trotoar ($P_{TP} = 0,5 \text{ ton/m}^2$)
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

Gambar 4.16 Beban Gempa Statik Ekuivalen ($T_{EQ} = 0,7 \text{ ton}$)
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

4.5 Analisis Struktur

Kekuatan dari struktur *slab on pile* dievaluasi dengan cara melakukan analisis struktur dengan menggunakan beban-beban yang diperkirakan akan bekerja pada struktur selama umur rencananya. Beban-beban yang bekerja dikombinasikan berdasarkan SNI 1725-2016, sehingga akan menghasilkan pengaruh beban yang paling maksimum atau paling berbahaya bagi kekuatan struktur.

Menurut SNI 1725-2016 (Standar Pembebanan pada Jembatan), kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan antara lain seperti terlihat pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan Kondisi Layan

Kombinasi Pembebanan	Faktor beban x Beban yang bekerja pada Struktur
Kuat I	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 1,8.(TD) + 1,8.(TB) + 1,8.(TP) + 1,8.(TR)$
Kuat II	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 1,4.(TD) + 1,4.(TB) + 1,4.(TP) + 1,4.(TR)$
Kuat III	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 1,4(EW_S)$
Kuat IV	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA)$
Kuat V	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 0,4 EW_S + 1,0 EW_L$
Ektrem I	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 0,3.(TD) + 0,3.(TB) + 0,3.(TP) + 0,3.(TR) + 1,0 EQ$
Ektrem II	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 0,5.(TD) + 0,5.(TB) + 0,5.(TP) + 0,5.(TR)$
Daya Layan I	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 1,0.(TD) + 1,0.(TB) + 1,0.(TP) + 1,0.(TR) + 0,3 EW_S + 1,0 EW_L$
Daya Layan III	$U = 1,0.(MS) + 1,0.(MA) + 0,8.(TD) + 0,8.(TB) + 0,8.(TP) + 0,8.(TR)$

Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

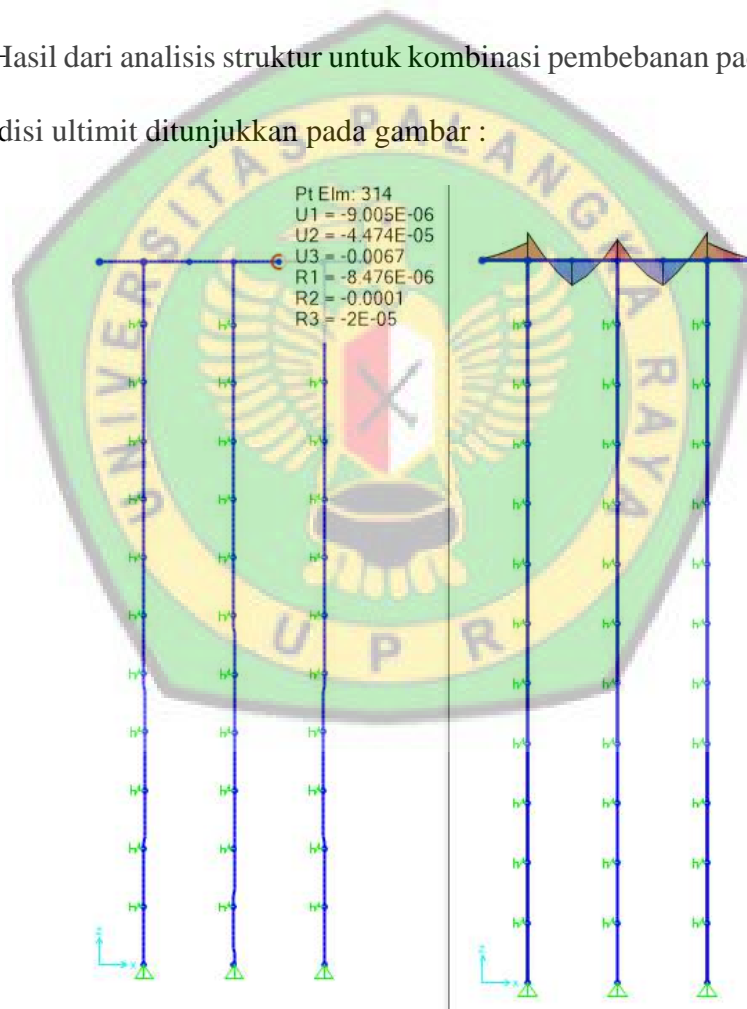
Tabel 4.16 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan Kondisi Ultimit

Kombinasi Pembebanan	Faktor beban x Beban yang bekerja pada Struktur
Kuat I	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 1,8.(TD) + 1,8.(TB) + 1,8.(TP) + 1,8.(TR)$
Kuat II	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 1,4.(TD) + 1,4.(TB) + 1,4.(TP) + 1,4.(TR)$
Kuat III	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 1,4(EW_S)$

Kuat IV	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA)$
Kuat V	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 0,4 EW_S + 1,0 EW_L$
Ektrem I	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 0,3.(TD) + 0,3.(TB) + 0,3.(TP) + 0,3.(TR) + 1,0 EQ$
Ektrem II	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 0,5.(TD) + 0,5.(TB) + 0,5.(TP) + 0,5.(TR)$
Daya Layan I	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 1,0.(TD) + 1,0.(TB) + 1,0.(TP) + 1,0.(TR) + 0,3 EW_S + 1,0 EW_L$
Daya Layan III	$U = 1,3.(MS) + 2,0.(MA) + 0,8.(TD) + 0,8.(TB) + 0,8.(TP) + 0,8.(TR)$

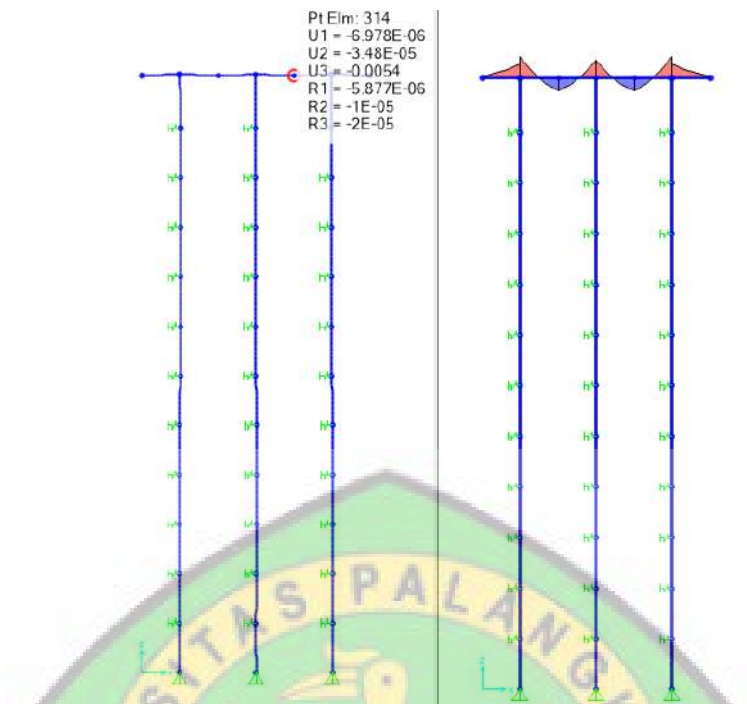
Sumber : SNI 1725 Pembebanan untuk Jembatan, 2016

Hasil dari analisis struktur untuk kombinasi pembebanan pada kondisi layan dan kondisi ultimit ditunjukkan pada gambar :



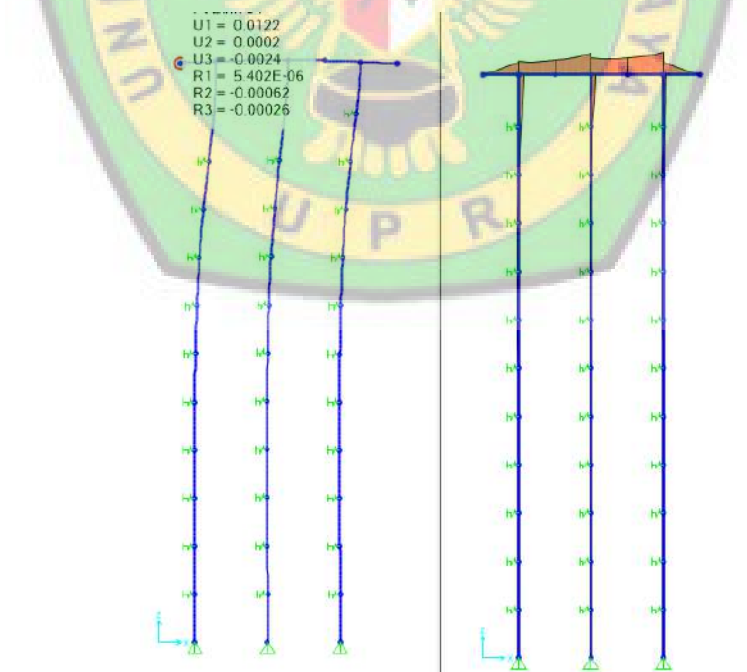
Gambar 4.17 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Kuat I Kondisi Layan (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



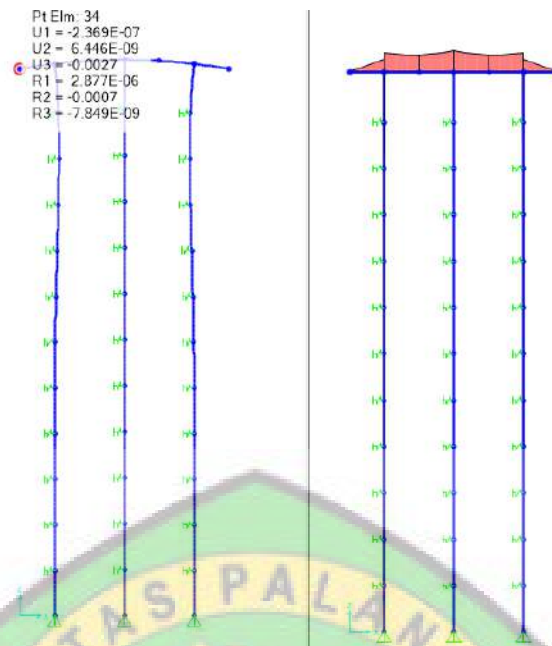
Gambar 4.18 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur *Slab On Pile* Kombinasi Pembebanan Kuat II Kondisi Layan (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

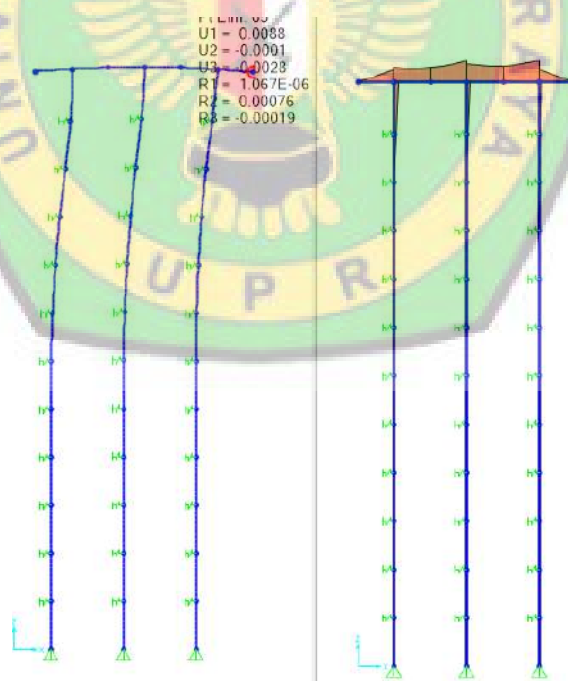


Gambar 4.19 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur *Slab On Pile* Kombinasi Pembebanan Kuat III Kondisi Layan (satuan ton-m)

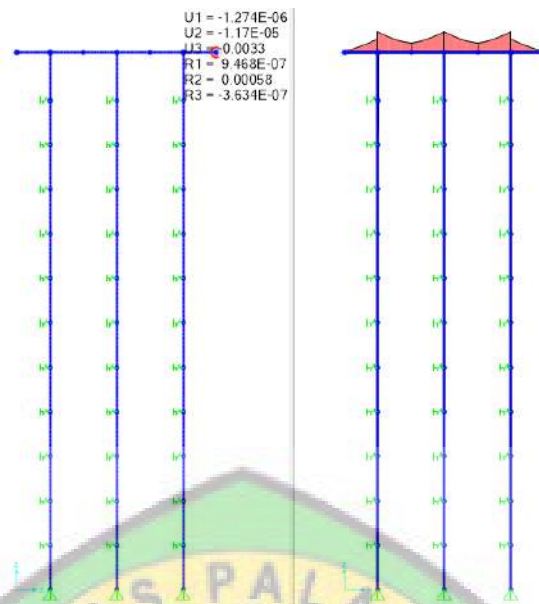
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.20 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Kuat IV Kondisi Layan (satuan ton-m)
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

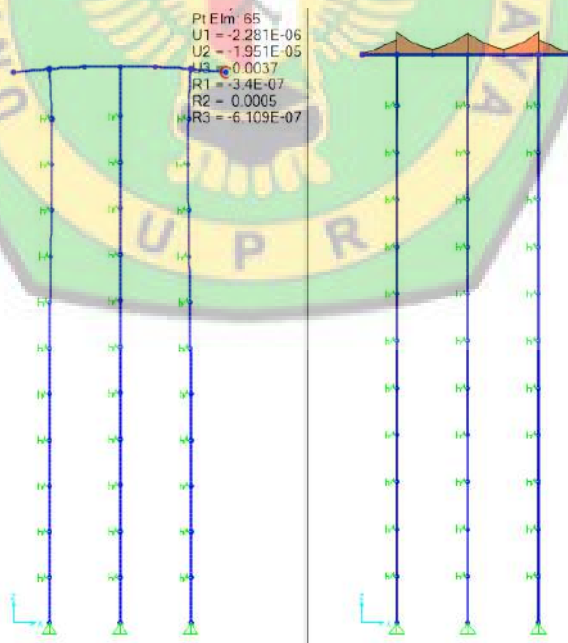


Gambar 4.21 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Kuat V Kondisi Layan (satuan ton-m)
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



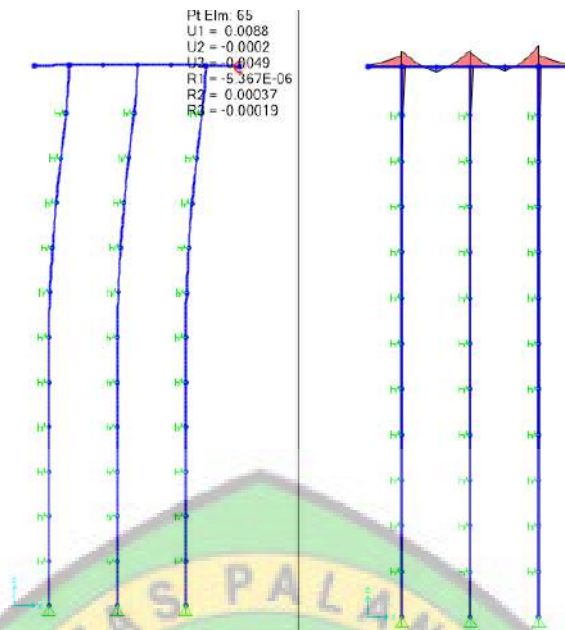
Gambar 4.22 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Kondisi Layan (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



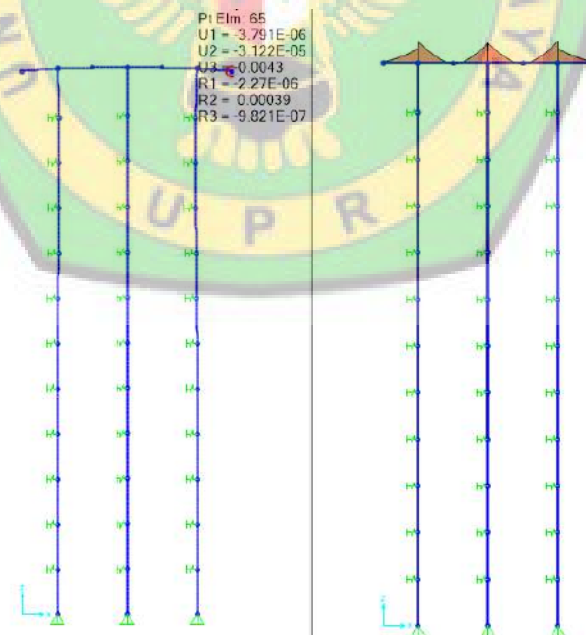
Gambar 4.23 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Kondisi Layan (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.24 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Daya Layan I Kondisi Layan (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

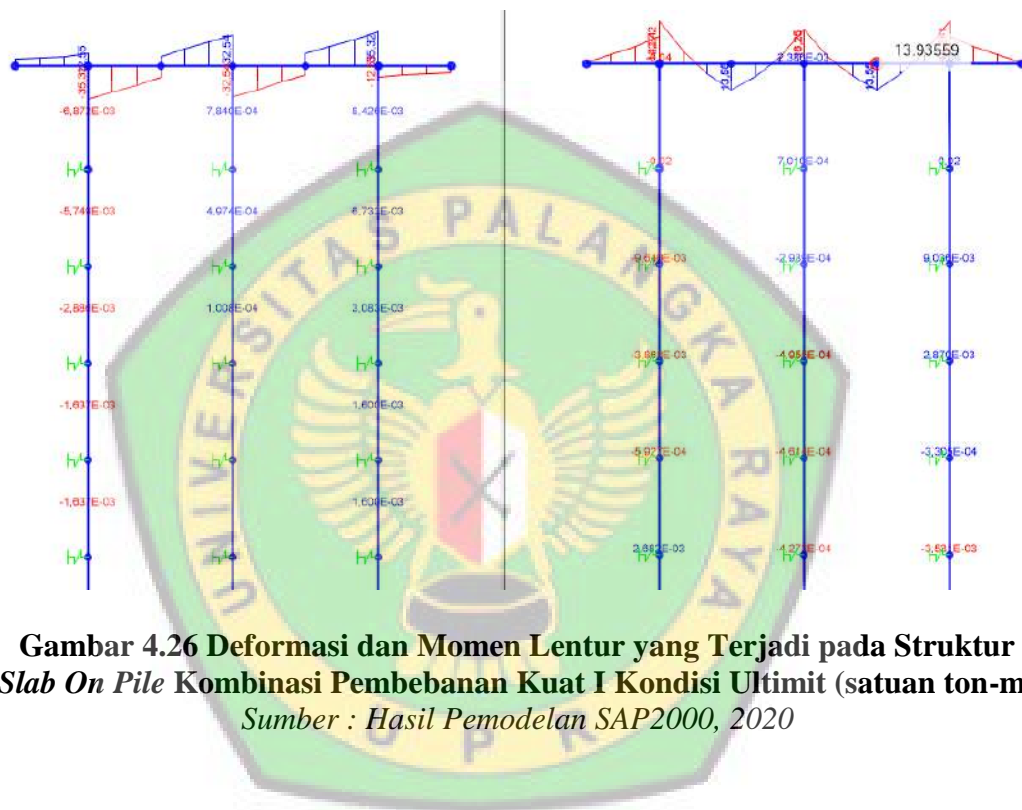


Gambar 4.25 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Daya Layan III Kondisi Layan (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

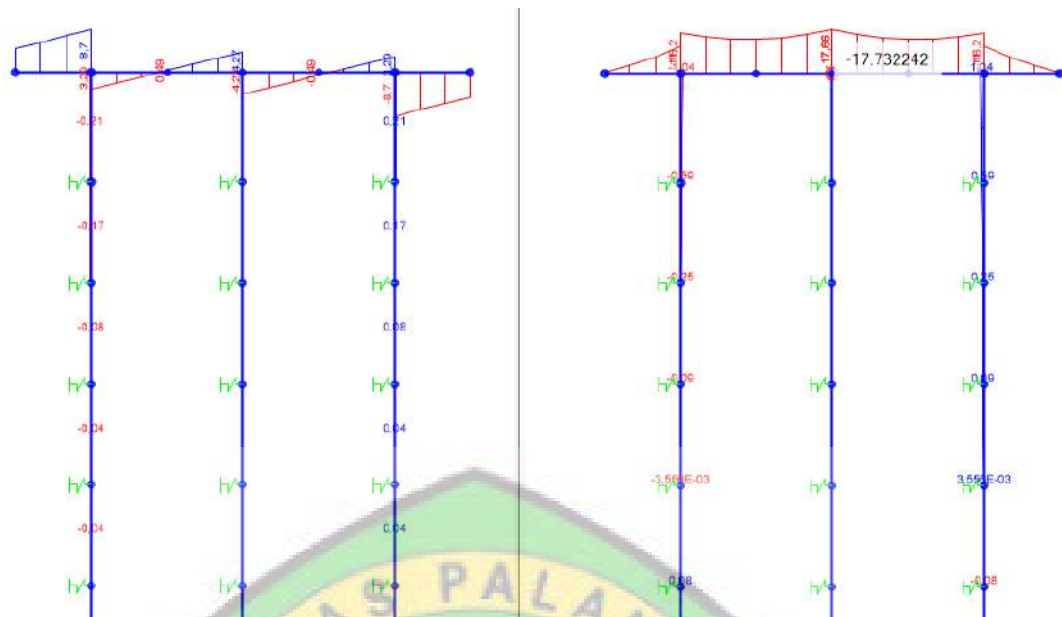
Deformasi yang maksimum pada *slab on pile*, dan momen lentur yang maksimum pada tiang pancang akibat kombinasi pembebanan pada kondisi layan, dicantumkan pada Tabel 4.17.

Momen lentur yang maksimum pada *pile cap* dan tiang pancang akibat kombinasi pembebanan pada kondisi ultimit, dicantumkan pada Tabel 4.18.



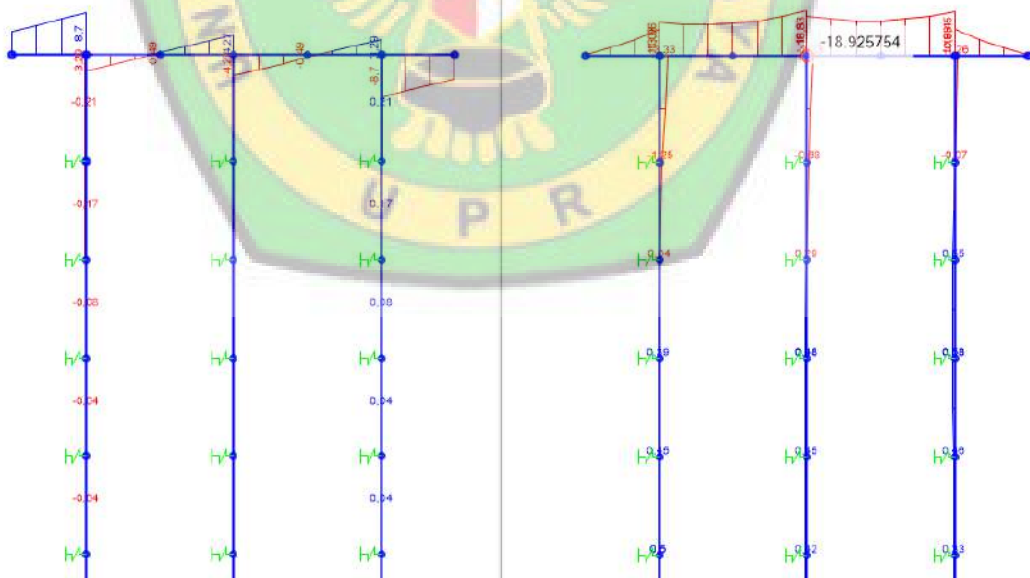
Gambar 4.26 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Kuat I Kondisi Ultimit (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



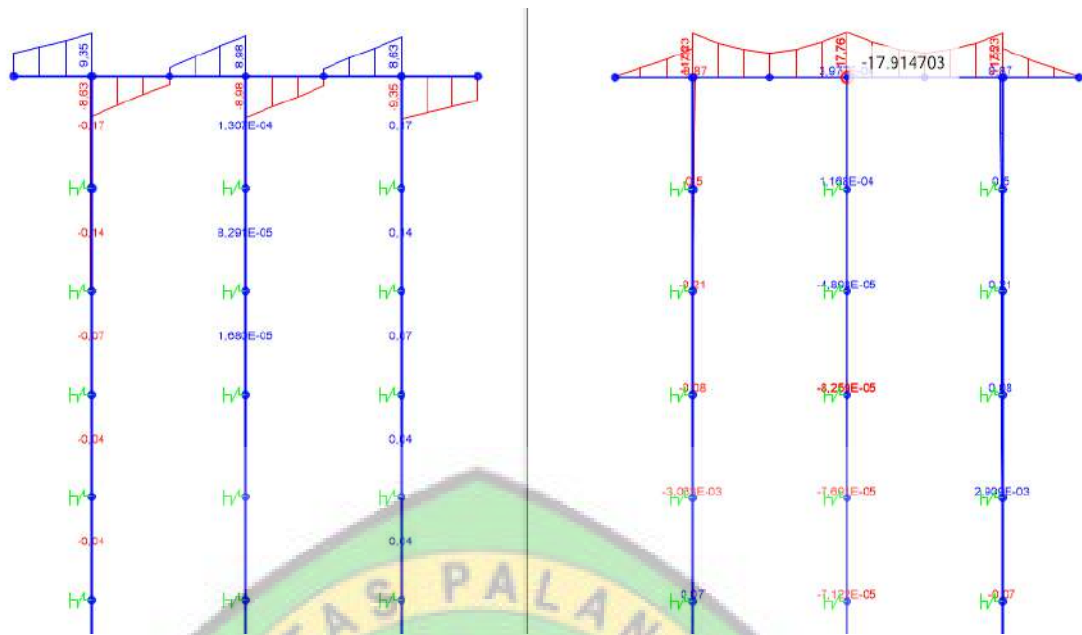
Gambar 4.29 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Kuat IV Kondisi Ultimit (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



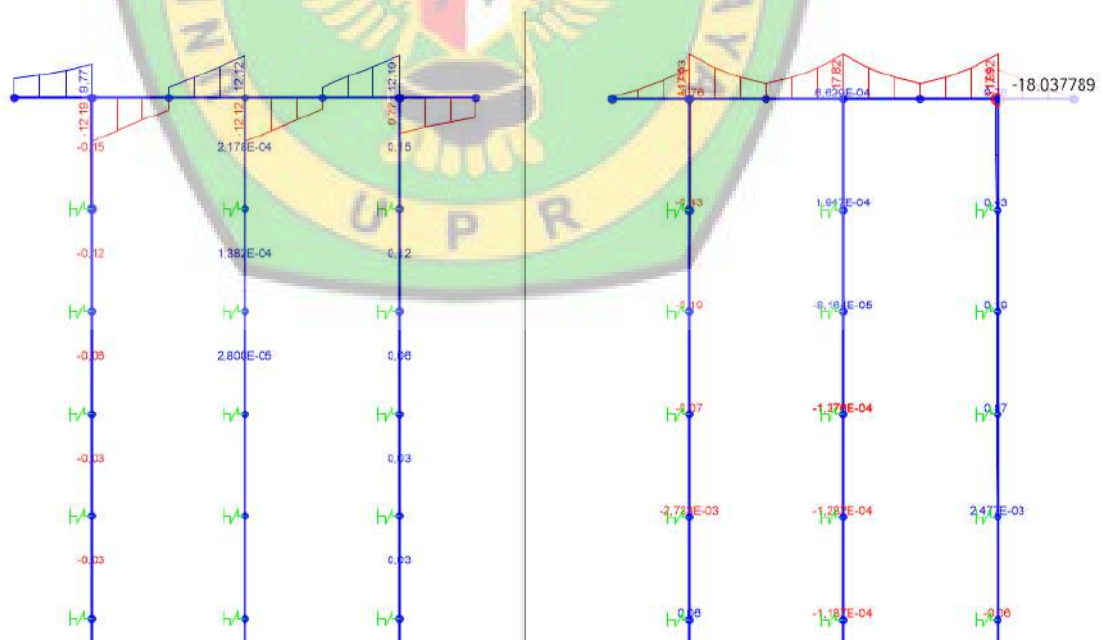
Gambar 4.30 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Kuat V Kondisi Ultimit (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.31 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Ekstrem I Kondisi Ultimit (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020



Gambar 4.32 Deformasi dan Momen Lentur yang Terjadi pada Struktur Slab On Pile Kombinasi Pembebanan Ekstrem II Kondisi Ultimit (satuan ton-m)

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

Tabel 4.17 Deformasi Horizontal dan Momen Lentur (Akibat Kombinasi Pembebanan Kondisi Layan)

Kombinasi Pembebanan	Deformasi Maksimum Pada Struktur Slab On Pile		Gaya-gaya Dalam Maksimum pada Tiang Pancang	
	Vertikal (cm)	Horisontal (cm)	Momen (t-m)	Geser (ton)
Kuat I	-0,0067	0	0,20	0,041
Kuat II	-0,0054	0	0,022	0,0048
Kuat III	-0,0024	+0,00002	-3,87	-1,22
Kuat IV	-0,0027	0	0,81	0,16
Kuat V	-0,0028	-0,00001	-2,33	-0,92
Ektrem I	-0,0033	0	0,63	0,13
Ektrem II	-0,0037	0	0,52	0,11
Daya Layan I	-0,0049	-0,00002	-2,53	-0,81
Daya Layan III	-0,0043	0	0,36	0,07

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

Tabel 4.18 Momen dan Gaya Geser pada *Pile Cap* dan Tiang Pancang (Akibat Kombinasi Pembebanan Kondisi Ultimit)

Kombinasi Pembebanan	Gaya-gaya Dalam Maksimum Pada <i>Pile Cap</i>		Gaya-gaya Dalam Maksimum Pada Tiang Pancang	
	Momen (t-m)	Geser (ton)	Momen (t-m)	Geser (ton)
Kuat I	13,94	35,72	0,02	0,0085
Kuat II	-21,37	28,31	0,15	0,05
Kuat III	-19,41	8,74	-4,13	-1,27
Kuat IV	-17,733	8,72	1,05	0,21
Kuat V	-18,93	8,72	-3,33	0,21
Ektrem I	-17,92	9,43	0,87	0,175
Ektrem II	-18,03	12,25	0,76	0,153
Daya Layan I	-22,6	22,31	-2,77	-0,851
Daya Layan III	-19,13	17,6	0,6	0,12

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

4.6 Evaluasi Kekuatan Struktur

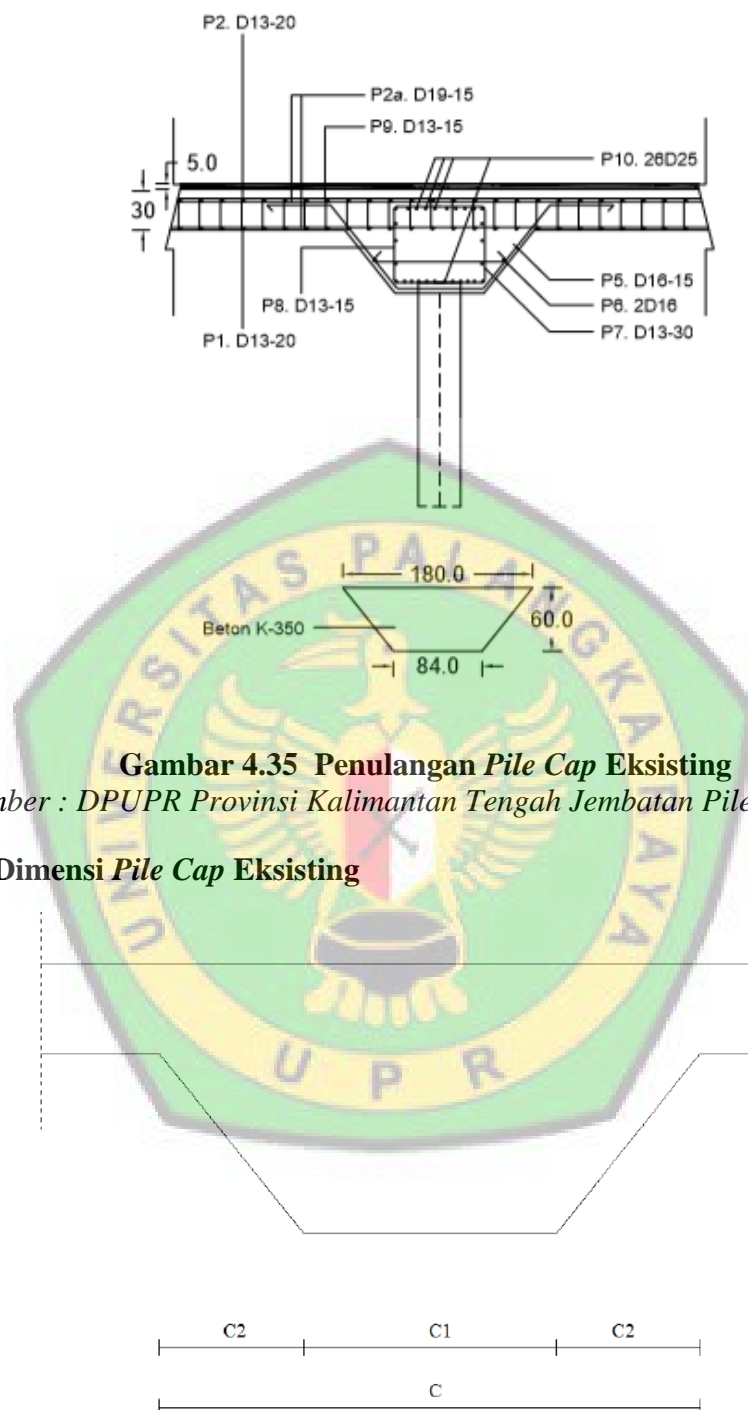
Dari hasil analisis struktur diatas, untuk selanjutnya dapat dilakukan evaluasi terhadap kekuatan elemen-elemen struktur, yang meliputi kekuatan *pile cap*, *pelat/slab*, dan tiang pancang prategang.

Untuk memeriksa kekuatan dari *pile cap* dan *slab* dari struktur *slab on pile*, dilakukan dengan menghitung nilai **rasio tegangan** (*stress ratio*) dari *pile cap* dan *slab*. Rasio tegangan adalah perbandingan antara tegangan yang terjadi pada elemen struktur akibat kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur, dengan kapasitas kekuatan dari elemen struktur berdasarkan jumlah tulangan yang terpasang.

Suatu elemen struktur dinyatakan kuat menahan momen lentur dan gaya normal, jika dari hasil perhitungan didapatkan nilai rasio tegangannya ≤ 1 . Jika dari hasil perhitungan didapatkan nilai rasio tegangannya > 1 , maka elemen struktur tersebut dinyatakan tidak kuat.

4.6.1 Evaluasi Kekuatan *Pile Cap* dan *Slab* Eksisting

Pile cap dan *slab* dari struktur *slab on pile* direncanakan dari beton bertulang, dengan mutu K.350 ($f'c$. 29 MPa) dan baja tulangan polos dengan mutu f_y . 400 MPa. Bentuk penampang dan detail tulangan dari *pile cap* dan *slab* diperlihatkan pada gambar 4.35.



Tabel 4.19 Dimensi *Pile Cap* Eksisting

Dimensi <i>Pile Cap</i> Eksisting			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
c ₁	0,84	h ₁	0,6
c ₂	0,48	h	0,9
c	1,80	ts	0,3

Sumber : DPUPR Provinsi Kalimantan Tengah *Jembatan Pile Slab*, 2017

Tinggi *pile cap*, $C = C_1 + 2 \cdot C_2 = 84 + (2 \cdot 48) = 180 \text{ cm}$

$$h = ts + h_1 = 30 + 60 = 90 \text{ cm}$$

$$A = C \cdot h - C_2 \cdot h_1 = 180 \cdot 90 - 48 \cdot 60 = 13320 \text{ cm}^2$$

Lebar ekivalen *pile cap*, $b = A / h = 148 \text{ cm}$

4.4.1.2 Pembesian *Pile Cap* Eksisting

1. Bahan Struktur

1.1 Beton

Mutu beton = K - 350

Kuat tekan beton, $f_c' = 0,83 \cdot K / 10 = 29,05 \text{ MPa}$

Modulus elastik beton, $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 25332 \text{ MPa}$

Angka poisson, $U = 0.2$

Modulus geser, $G = E_c / [2 \cdot (1 + U)] = 10555 \text{ MPa}$

Koefisien muai panjang untuk beton, $\epsilon = 1.0E-05 / ^\circ\text{C}$

1.2. Baja Tulangan

Mutu baja :

Untuk tulangan dengan diameter $D \geq 13$: U - 39 Tegangan leleh baja, $f_y = 390 \text{ MPa}$

Untuk tulangan dengan diameter $\phi < 13$: U - 24 Tegangan leleh baja, $f_y = 240 \text{ MPa}$

Modulus elastis baja, $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \beta_1 * 0,85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0,03262$$

$$R_{max} = 0,75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * \rho_b * f_y / (0,85 * f_c')] = 7,69727$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,80$

2. Perhitungan Tulangan

Momen rencana *pile cap* :

$$\text{Momen negatif : } M_u^- = 226 \text{ kNm} = 22,6 \text{ ton-m}$$

$$\text{Momen positif : } M_u^+ = 139,4 \text{ kNm} = 13,94 \text{ ton-m}$$

$$\text{Gaya geser rencana : } V_u = 357,2 \text{ kN} = 35,72 \text{ ton}$$

$$\text{Lebar } \textit{pile cap}, b = 1480 \text{ mm} = 1,48 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi } \textit{pile cap}, h = 900 \text{ mm} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, } d' = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif } \textit{pile cap}, d = h - d' = 750 \text{ mm} = 0,75 \text{ m}$$

2.1. Tulangan Lentur Negatif

$$\text{Momen negatif nominal rencana, } M_n = M_u / \phi = 282,5 \text{ kNm} = 282500 \text{ Nm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen, } R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = 0,3394 < 7,69727$$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = [0,85 * f_c' / f_y] * [\sqrt{(1 - 2 * R_n) / (0,85 * f_c')}] = 0,00087$$

$$\text{Rasio tulangan minimum, } \rho_{min} = 1,4 / f_y = 0,00359$$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0,00359$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho * b * d = 0,00359 * 1480 * 750 = 5007,69 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

$$\text{Jumlah tulangan yang diperlukan, } n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 10,202$$

Digunakan tulangan, 13 D 25

$$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 6381,36 \text{ mm}^2$$

2.2. Tulangan Lentur Positif

Momen negatif nominal rencana, $M_n = M_u / \phi = 174,25 \text{ kNm}$

$$\text{Faktor tahanan momen, } R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = 0,209 \quad R_n < R_{max} \text{ (OK)}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c')}] = 0,00031$$

$$\text{Rasio tulangan minimum, } \rho_{min} = 1,4 / f_y = 0,00359$$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0,00359$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan, } A_s = \rho * b * d = 5007,69 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

$$\text{Jumlah tulangan yang diperlukan, } n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 10,202$$

Digunakan tulangan, 13 D 25

$$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 6381,36 \text{ mm}^2$$

2.3. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 357,2 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \phi = 0.75$$

$$\text{Tegangan leleh tulangan geser, } f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3} = 1253.130 \text{ kN}$$

$$\phi * V_c = 939.847 \text{ kN}$$

$$\text{Hanya perlu tul.geser minimum, } \phi * V_s = V_u = 425.21 \text{ kN}$$

$$V_s = 566.947 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang berpenampang : 2 D 13

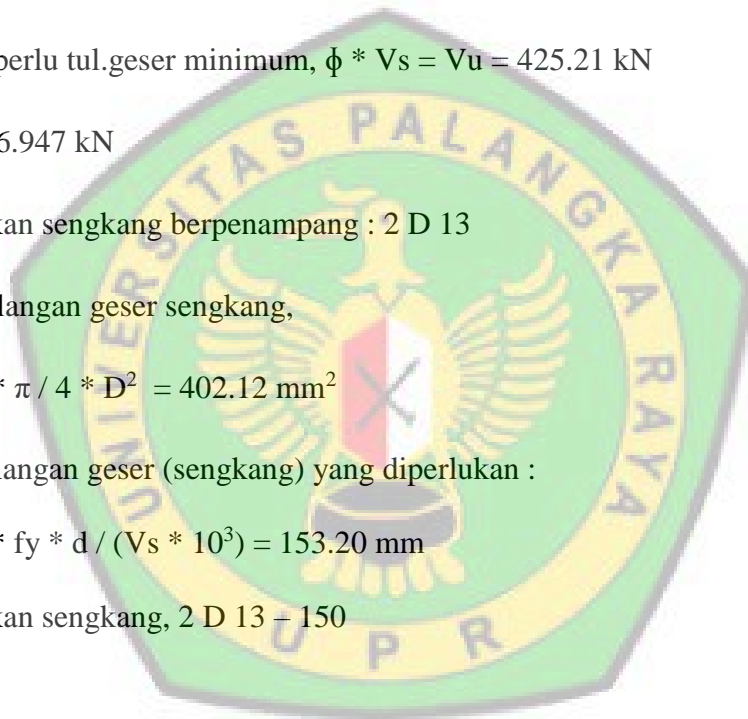
Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = 2 * \pi / 4 * D^2 = 402.12 \text{ mm}^2$$

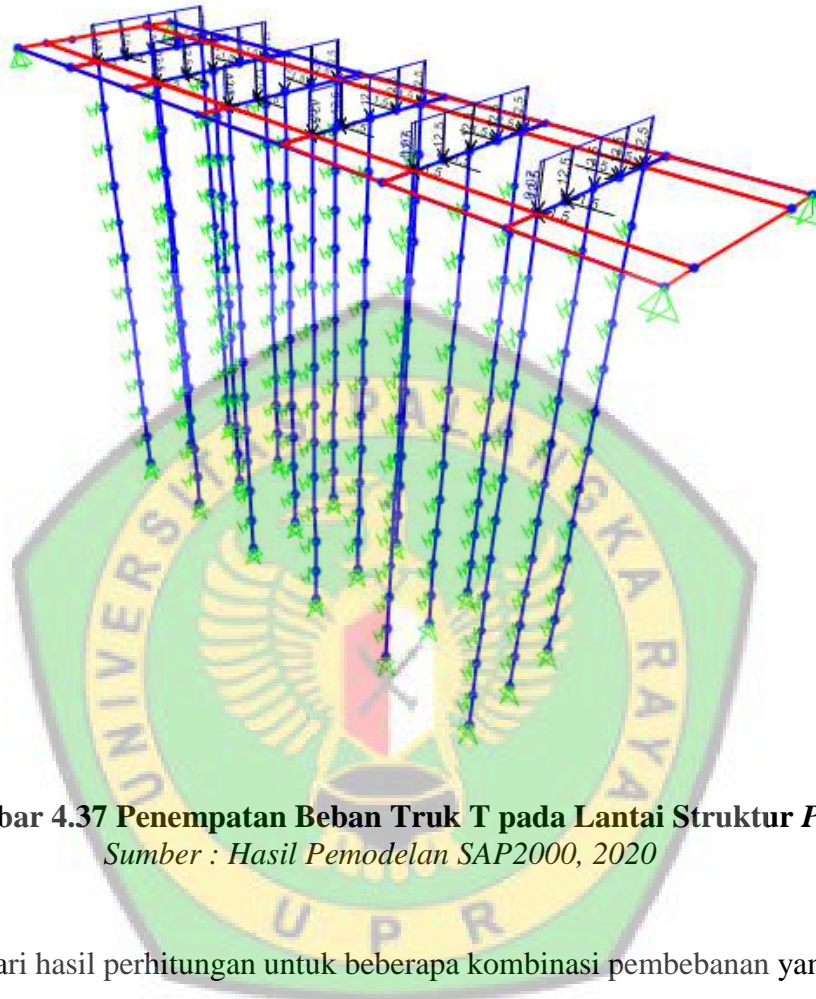
Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

$$S = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 153.20 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang, 2 D 13 – 150



Untuk perhitungan pelat lantai kendaraan, selain beban Lajur D, diperhitungkan juga pengaruh dari Beban Truk T pada struktur *slab on pile*.



Gambar 4.37 Penempatan Beban Truk T pada Lantai Struktur Pile Slab
 Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2020

Dari hasil perhitungan untuk beberapa kombinasi pembebanan yang ditinjau, didapatkan nilai rasio tegangan yang maksimum dan tulangan geser minimal yang harus dipasang pada *pile cap* eksisting dan *slab*, seperti dicantumkan pada tabel 4.20.

Tabel 4.20 Rasio Tegangan yang Terjadi pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Rasio Tegangan	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	$0,78 < 1,0$	Tulangan 13D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang <i>pile cap</i> eksisting, mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

<i>Slab</i>	$0,52 < 1,0$	Tulangan D19-150 dan D19-150 yang dipasang di bagian atas dan bagian bawah penampang <i>slab</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
-------------	--------------	--

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

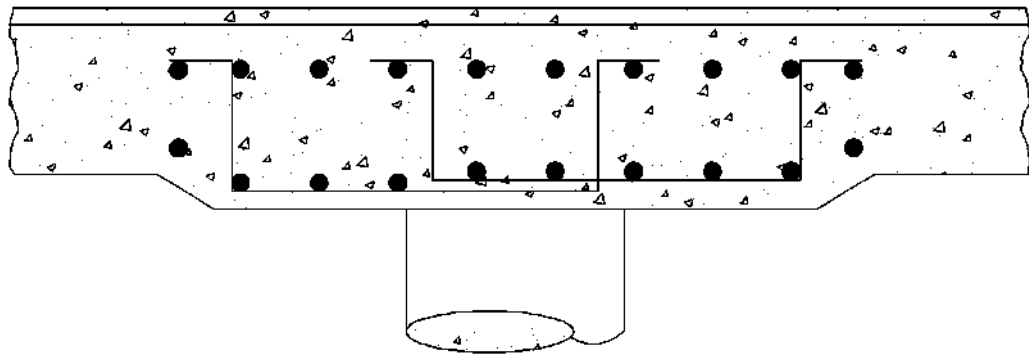
Tabel 4.21 Tulangan Geser yang Diperlukan pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Tulangan Geser	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	D13-150 (0,07cm ² /cm)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>pile cap</i> : D13-150, lebih rapat dari pada tulangan yang diperlukan yaitu D13-153. <i>Pile cap</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi pada akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	D13-200 (Tul. Praktis)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>slab</i> : D13-200, sesuai dengan tulangan yang diperlukan yaitu D13-200. <i>Slab</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

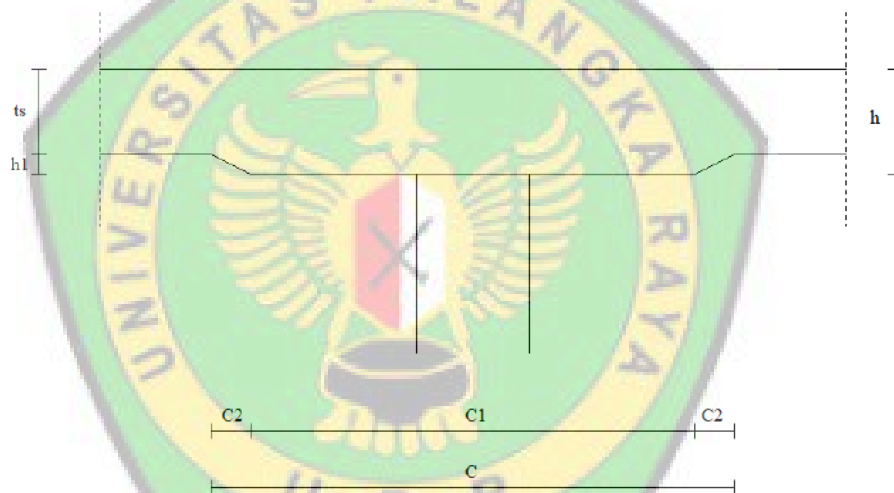
4.6.2 Evaluasi Kekuatan *Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement*

Pile cap dan *slab* dari struktur *slab on pile* direncanakan dari beton bertulang, dengan mutu K.350 ($f'c$. 29 MPa) dan baja tulangan polos dengan mutu f_y . 400 MPa. Bentuk penampang dan detail tulangan dari *pile cap* dan *slab* diperlihatkan pada gambar 4.38.



Gambar 4.38 Column Bents With Drop Panel Reinforcement
 Sumber : Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000

4.6.2.1 Dimensi Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement



Gambar 4.39 Dimensi Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement
 Sumber : Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000

Tabel 4.22 Dimensi Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement

Dimensi Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
c ₁	1,57	h ₁	0,07
c ₂	0,14	h	0,37
C	1,85	ts	0,30

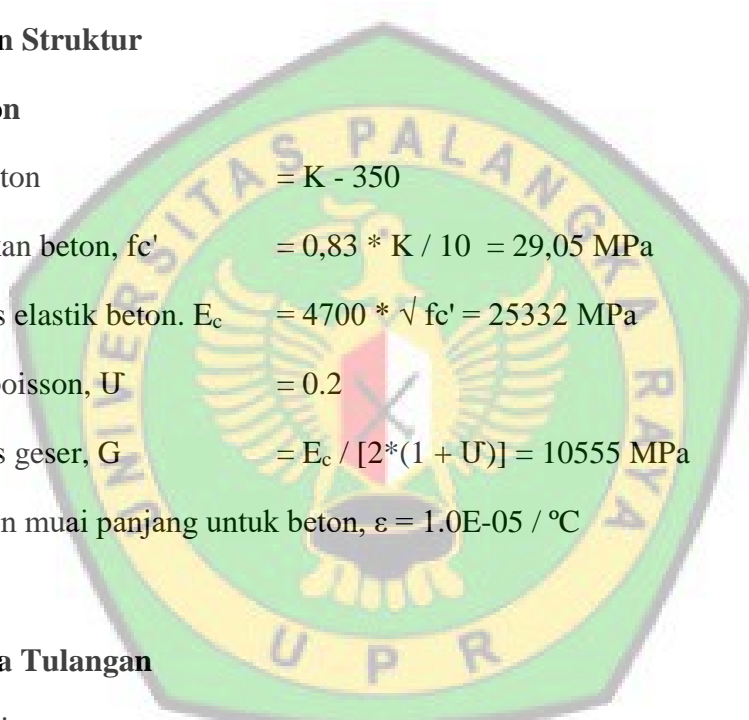
Sumber : Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pile cap, } C &= C_1 + 2 \cdot C_2 = 157 + (2 \cdot 14) = 185 \text{ cm} \\ h &= t_s + h_1 = 30 + 7 = 37 \text{ cm} \\ A &= C \cdot h - C_2 \cdot h_1 = 185 \cdot 37 - 14 \cdot 7 = 6747 \text{ cm}^2 \\ \text{Lebar ekivalen pile cap, } b &= A / h = 183 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.6.2.2 Pembesian Pile Cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement

1. Bahan Struktur

1.1 Beton



$$\begin{aligned} \text{Mutu beton} &= K - 350 \\ \text{Kuat tekan beton, } f_c' &= 0,83 \cdot K / 10 = 29,05 \text{ MPa} \\ \text{Modulus elastik beton, } E_c &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 25332 \text{ MPa} \\ \text{Angka poisson, } U &= 0.2 \\ \text{Modulus geser, } G &= E_c / [2 \cdot (1 + U)] = 10555 \text{ MPa} \\ \text{Koefisien muai panjang untuk beton, } \varepsilon &= 1.0E-05 / ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

1.2. Baja Tulangan

Mutu baja :

Untuk tulangan dengan diameter $D \geq 13$: U - 39 Tegangan leleh baja, $f_y = 390$ MPa

Untuk tulangan dengan diameter $\phi < 13$: U - 24 Tegangan leleh baja, $f_y = 240$ MPa

Modulus elastis baja, $E_s = 200000$ MPa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c' / f_y \cdot 600 / (600 + f_y) = 0,03262$$

$$R_{max} = 0,75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * \rho_b * f_y / (0,85 * f_c')] = 7,69727$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,80$

2. Perhitungan Tulangan

Momen rencana *pile cap* :

$$\text{Momen negatif : } M_u^- = 226 \text{ kNm} = 22,6 \text{ ton-m}$$

$$\text{Momen positif : } M_u^+ = 139,4 \text{ kNm} = 13,94 \text{ ton-m}$$

$$\text{Gaya geser rencana : } V_u = 357,2 \text{ kN} = 35,72 \text{ ton}$$

$$\text{Lebar } \textit{pile cap}, b = 1830 \text{ mm} = 1,83 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi } \textit{pile cap}, h = 370 \text{ mm} = 0,37 \text{ m}$$

$$\text{Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, } d' = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif } \textit{pile cap}, d = h - d' = 220 \text{ mm} = 0,22 \text{ m}$$

2.1. Tulangan Lentur Negatif

$$\text{Momen negatif nominal rencana, } M_n = M_u / \phi = 282,5 \text{ kNm} = 282500 \text{ Nm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen, } R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = 3,189 < 7,69727$$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = [0,85 * f_c' / f_y] * \sqrt{[(1 - 2 * R_n) / (0,85 * f_c')] } = 0,01244$$

$$\text{Rasio tulangan minimum, } \rho_{min} = 1,4 / f_y = 0,00359$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan, } \rho = 0,01244$$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho * b * d = 0,01244 * 1830 * 220 = 5007,69 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jumlah tulangan yang diperlukan, $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 10,202$

Digunakan tulangan, 13 D 25

$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 6381,36 \text{ mm}^2$

2.2. Tulangan Lentur Positif

Momen negatif nominal rencana, $M_n = M_u / \phi = 174,25 \text{ kNm} = 174250 \text{ Nm}$

Faktor tahanan momen, $R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = 0,6956$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$\rho = 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c')}] = 0,01244$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{min} = 1,4 / f_y = 0,00359$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0,01244$

Luas tulangan yang diperlukan, $A_s = \rho * b * d = 5007,69 \text{ mm}^2$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jumlah tulangan yang diperlukan, $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 10,202$

Digunakan tulangan, 13 D 25

$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 6381,36 \text{ mm}^2$

2.3. Tulangan Geser

Gaya geser ultimit rencana, $V_u = 357,2 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0.75$

Tegangan leleh tulangan geser, $f_y = 390 \text{ MPa}$

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3} = 1253.130 \text{ kN}$$

$$\phi * V_c = 939.847 \text{ kN}$$

Hanya perlu tul.geser minimum, $\phi * V_s = V_u = 425.21 \text{ kN}$

$$V_s = 566.947 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang berpenampang : 2 D 13

Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = 2 * \pi / 4 * D^2 = 402.12 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

$$S = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 153.20 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang, 2 D 13 – 150

Dari hasil perhitungan untuk beberapa kombinasi pembebanan yang ditinjau, didapatkan nilai rasio tegangan yang maksimum dan tulangan geser minimal yang harus dipasang pada *pile cap* dan *slab*, seperti dicantumkan pada tabel 4.23.

Tabel 4.23 Rasio Tegangan yang Terjadi pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Rasio Tegangan	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	$0,79 < 1,0$	Tulangan 13D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang <i>pile cap</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	$0,52 < 1,0$	Tulangan D19-150 dan D19-150 yang dipasang di bagian atas dan bagian bawah penampang <i>slab</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

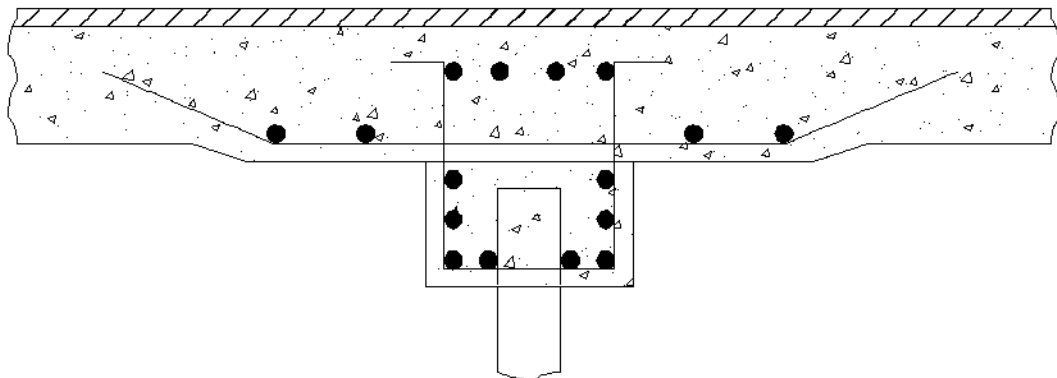
Tabel 4.24 Tulangan Geser yang Diperlukan pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Tulangan Geser	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	D13-150 (0,07cm ² /cm)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>pile cap</i> : D13-150, lebih rapat dari pada tulangan yang diperlukan yaitu D13-153. <i>Pile cap</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi pada akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	D13-200 (Tul. Praktis)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>slab</i> : D13-200, sesuai dengan tulangan yang diperlukan yaitu D13-200. <i>Slab</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

4.6.3 Evaluasi Kekuatan *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement*

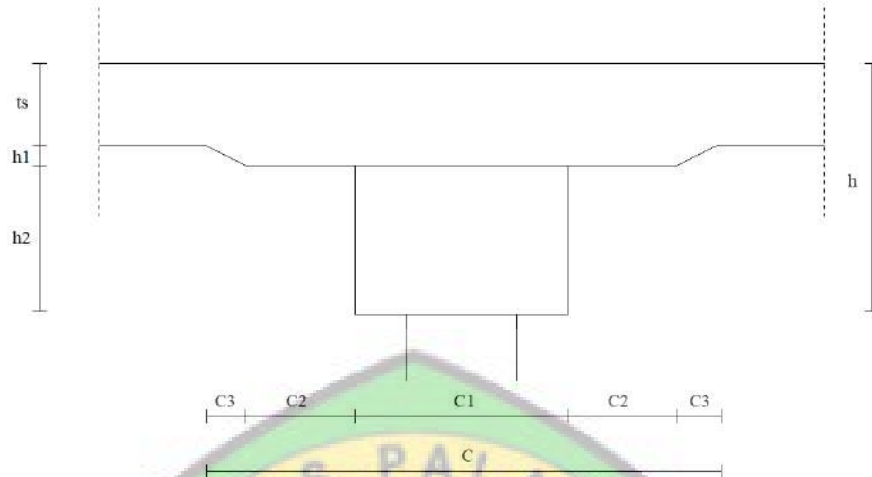
Pile cap dan *slab* dari struktur *slab on pile* direncanakan dari beton bertulang, dengan mutu K.350 ($f'c$. 29 MPa) dan baja tulangan polos dengan mutu f_y . 400 MPa. Bentuk penampang dan detail tulangan dari *pile cap* dan *slab* diperlihatkan pada gambar 4.40.



Gambar 4.40 *Pile Cap Bents With Drop Panel Reinforcement*

Sumber : Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000

4.6.3.1 Dimensi *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement*



Gambar 4.41 Dimensi *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement*

Sumber : *Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000*

Tabel 4.25 Dimensi *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement*

Dimensi <i>Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement</i>			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
c_1	0,77	h_1	0,3
c_2	0,40	h_2	0,54
c_3	0,14	h	0,84
C	1,80	ts	0,3

Sumber : *Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000*

$$\text{Tinggi pile cap, } C = C_1 + 2 \cdot C_2 = 84 + (2 \cdot 48) = 180 \text{ cm}$$

$$h = ts + h_1 = 60 + 30 = 90 \text{ cm}$$

$$A = C \cdot h - C_2 \cdot h_1 = 180 \cdot 90 - 48 \cdot 60 = 13320 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lebar ekivalen pile cap, } b = A / h = 148 \text{ cm}$$

4.6.2.2 Pembesian *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement*

1. Bahan Struktur

1.1 Beton

$$\text{Mutu beton} = K - 350$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan beton, } f_c' &= 0.83 * K / 10 = 29.05 \text{ MPa} \\ \text{Modulus elastik beton, } E_c &= 4700 * \sqrt{f_c'} = 25332 \text{ MPa} \\ \text{Angka poisson, } U &= 0.2 \\ \text{Modulus geser, } G &= E_c / [2*(1 + U)] = 10555 \text{ MPa} \\ \text{Koefisien muai panjang untuk beton, } \varepsilon &= 1.0E-05 / ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

1.2. Baja Tulangan

Mutu baja :

Untuk tulangan dengan diameter $D \geq 13$: U - 39 Tegangan leleh baja, $f_y = 390$ MPa

Untuk tulangan dengan diameter $\phi < 13$: U - 24 Tegangan leleh baja, $f_y = 240$ MPa

Modulus elastis baja, $E_s = 200000$ MPa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0.03262$$

$$R_{max} = 0.75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * \rho_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 7.69727$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0.80$

2. Perhitungan Tulangan

Momen rencana *pile cap* :

$$\text{Momen negatif : } M_u^- = 339.040 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen positif : } M_u^+ = 119.430 \text{ kNm}$$

$$\text{Gaya geser rencana : } V_u = 425.210 \text{ kN}$$

$$\text{Lebar } \textit{pile cap}, b = 1480 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi } \textit{pile cap}, h = 900 \text{ mm}$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 150 \text{ mm}$

Tebal efektif *pile cap*, $d = h - d' = 750 \text{ mm}$

2.1. Tulangan Lentur Negatif

Momen negatif nominal rencana, $M_n = M_u / \phi = 423.800 \text{ kNm}$

Faktor tahanan momen, $R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0.33755 < 7.69727$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0.004375$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{min} = 1.4 / f_y = 0.00359$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0.004375$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho * b * d = 0.004375 * 1480 * 750 = 4856.25 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jumlah tulangan yang diperlukan, $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 9.893$

Digunakan tulangan, 12 D 25

$$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 5399.61 \text{ mm}^2$$

2.2. Tulangan Lentur Positif

Momen negatif nominal rencana, $M_n = M_u / \phi = 149.288 \text{ kNm}$

Faktor tahanan momen, $R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 0.11891$ $R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c') }] = 0.004375$$

$$\text{Rasio tulangan minimum, } \rho_{\min} = 1.4 / f_y = 0.00359$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan, } \rho = 0.004375$$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan, } A_s = \rho * b * d = 4856.25 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

$$\text{Jumlah tulangan yang diperlukan, } n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 10.202$$

Digunakan tulangan, 12 D 25

$$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 5399.61 \text{ mm}^2$$

2.3. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 425.21 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \phi = 0.75$$

$$\text{Tegangan leleh tulangan geser, } f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3} = 1253.130 \text{ kN}$$

$$\phi * V_c = 939.847 \text{ kN}$$

$$\text{Hanya perlu tul.geser minimum, } \phi * V_s = V_u = 425.21 \text{ kN}$$

$$V_s = 566.947 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang berpenampang : 2 D 13

Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = 2 * \pi / 4 * D^2 = 402.12 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

$$S = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 153.20 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang, 2 D 13 – 150

Dari hasil perhitungan untuk beberapa kombinasi pembebanan yang ditinjau, didapatkan nilai rasio tegangan yang maksimum dan tulangan geser minimal yang harus dipasang pada *pile cap* dan *slab*, seperti dicantumkan pada tabel 4.26.

Tabel 4.26 Rasio Tegangan yang Terjadi pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Rasio Tegangan	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	0,89 < 1,0	Tulangan 12D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang <i>pile cap</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	0,52 < 1,0	Tulangan D19-150 dan D19-150 yang dipasang di bagian atas dan bagian bawah penampang <i>slab</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

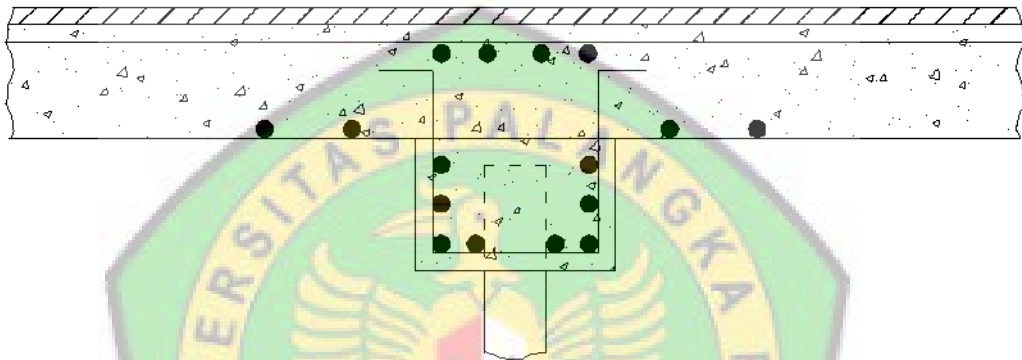
Tabel 4.27 Tulangan Geser yang Diperlukan pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Tulangan Geser	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	D13-150 (0,07cm ² /cm)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>pile cap</i> : D13-150, lebih rapat dari pada tulangan yang diperlukan yaitu D13-153. <i>Pile cap</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi pada akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	D13-200 (Tul. Praktis)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>slab</i> : D13-200, sesuai dengan tulangan yang diperlukan yaitu D13-200. <i>Slab</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

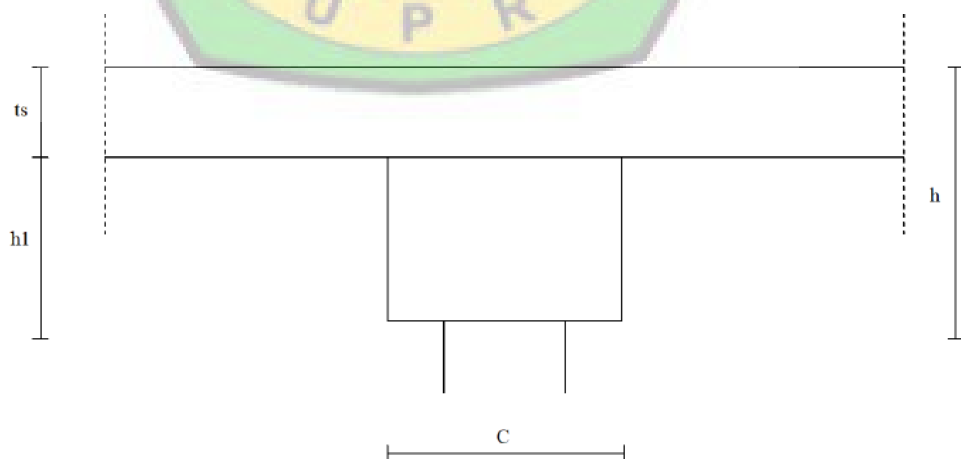
4.6.4 Evaluasi Kekuatan *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*

Pile cap dan *slab* dari struktur *slab on pile* direncanakan dari beton bertulang, dengan mutu K.350 ($f'c$. 29 MPa) dan baja tulangan polos dengan mutu f_y . 400 MPa. Bentuk penampang dan detail tulangan dari *pile cap* dan *slab* diperlihatkan pada gambar 4.42.



Gambar 4.42 *Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*
 Sumber : *Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000*

4.6.4.1 Dimensi *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*



Gambar 4.43 *Dimensi Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*
 Sumber : *Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000*

Tabel 4.28 Dimensi *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*

Dimensi <i>Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement</i>			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
C	0,77	h ₁	0,54
		ts	0,3

Sumber : *Bridge Design Manual (Section 3.52), 2000*

Tinggi *pile cap*, $C = 77 \text{ cm}$

$h = ts + h_1 = 54 + 30 = 84 \text{ cm}$

$A = C * h = 77 * 84 = 6468 \text{ cm}^2$

Lebar ekivalen *pile cap*, $b = A / h = 77 \text{ cm}$

4.6.4.2 Pembesian *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*

1. Bahan Struktur

1.1. Beton

Mutu beton = K - 350

Kuat tekan beton, $f_c' = 0.83 * K / 10 = 29.05 \text{ MPa}$

Modulus elastik beton. $E_c = 4700 * \sqrt{f_c'} = 25332 \text{ MPa}$

Angka poisson, $U = 0.2$

Modulus geser, $G = E_c / [2*(1 + U)] = 10555 \text{ MPa}$

Koefisien muai panjang untuk beton, $\varepsilon = 1.0E-05 / ^\circ\text{C}$

1.2. Baja Tulangan

Mutu baja :

Untuk tulangan dengan diameter $D \geq 13$: U - 39 Tegangan leleh baja, $f_y = 390 \text{ MPa}$

Untuk tulangan dengan diameter $\phi < 13$: U - 24 Tegangan leleh baja, $f_y = 240 \text{ MPa}$

Modulus elastis baja, $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0.03262$$

$$R_{max} = 0.75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * \rho_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 7.69727$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0.80$

2. Perhitungan Tulangan

Momen rencana *pile cap* :

$$\text{Momen negatif : } M_u^- = 339.040 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen positif : } M_u^+ = 119.430 \text{ kNm}$$

$$\text{Gaya geser rencana : } V_u = 425.210 \text{ kN}$$

$$\text{Lebar } \textit{pile cap}, b = 770 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi } \textit{pile cap}, h = 840 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, } d' = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif } \textit{pile cap}, d = h - d' = 690 \text{ mm}$$

2.1. Tulangan Lentur Negatif

$$\text{Momen negatif nominal rencana, } M_n = M_u / \phi = 423.800 \text{ kNm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen, } R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = 0.7977 < 7.69727$$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0.00985$$

$$\text{Rasio tulangan minimum, } \rho_{min} = 1.4 / f_y = 0.00359$$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0.00985$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho * b * d = 0.00985 * 770 * 690 = 5236,36 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jumlah tulangan yang diperlukan, $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 9.893$

Digunakan tulangan, 12 D 25

$$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 5890.486 \text{ mm}^2$$

2.2. Tulangan Lentur Positif

Momen negatif nominal rencana, $M_n = M_u / \phi = 149.288 \text{ kNm}$

Faktor tahanan momen, $R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = 0.11891$ $R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0.00985$$

Rasio tulangan minimum, $\rho_{min} = 1.4 / f_y = 0.00359$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0.00985$

Luas tulangan yang diperlukan, $A_s = \rho * b * d = 5236,36 \text{ mm}^2$

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jumlah tulangan yang diperlukan, $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 10.202$

Digunakan tulangan, 12 D 25

$$A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 5890.486 \text{ mm}^2$$

2.3. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 425.21 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \phi = 0.75$$

$$\text{Tegangan leleh tulangan geser, } f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3} = 1253.130 \text{ kN}$$

$$\phi * V_c = 939.847 \text{ kN}$$

$$\text{Hanya perlu tul.geser minimum, } \phi * V_s = V_u = 425.21 \text{ kN}$$

$$V_s = 566.947 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang berpenampang : 2 D 13

Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = 2 * \pi / 4 * D^2 = 402.12 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

$$S = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) = 153.20 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang, 2 D 13 – 150

Dari hasil perhitungan untuk beberapa kombinasi pembebanan yang ditinjau, didapatkan nilai rasio tegangan yang maksimum dan tulangan geser minimal yang harus dipasang pada *pile cap* dan *slab*, seperti dicantumkan pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 Rasio Tegangan yang Terjadi pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Rasio Tegangan	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	$0,88 < 1,0$	Tulangan 12D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang <i>pile cap</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	$0,52 < 1,0$	Tulangan D19-150 dan D19-150 yang dipasang di bagian atas dan bagian bawah penampang <i>slab</i> , mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

Tabel 4.30 Tulangan Geser yang Diperlukan pada *Pile Cap* dan *Slab*

Elemen Struktur	Tulangan Geser	Keterangan
<i>Pile Cap</i>	D13-150 ($0,07\text{cm}^2/\text{cm}$)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>pile cap</i> : D13-150, lebih rapat dari pada tulangan yang diperlukan yaitu D13-153. <i>Pile cap</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi pada akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>
<i>Slab</i>	D13-200 (Tul. Praktis)	Tulangan geser yang dipasang pada <i>slab</i> : D13-200, sesuai dengan tulangan yang diperlukan yaitu D13-200. <i>Slab</i> mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur <i>slab on pile</i>

Sumber : Hasil Perhitungan SAP2000, 2020

4.7 Evaluasi Kekuatan Tiang Pancang

Struktur *slab on pile* terdiri dari pelat beton yang menumpu pada *pile cap*. *Pile cap* ditumpu oleh tiang-tiang pancang prategang yang ditanam sampai kedalaman lebih kurang 22 meter hingga mencapai tanah keras. Tiang pancang yang digunakan berbentuk lingkaran berdiameter 40 cm.

Untuk mengetahui kekuatan sebenarnya dari tiang pancang *spun concrete pile* prategang, dilakukan pengujian kekuatan lentur (*bending strength test*) dengan skala penuh di pabrik produk beton PT. Wijaya Karya Beton di Pasuruan.

Pengujian kuat lentur tiang pancang prategang berupa tipe pengujian *body bending test* dengan referensi JIS A 5355-1987. Hasil pengujian dari tiang pancang tersebut, dirangkum pada tabel 4.31 sebagai berikut :

Tabel 4.31 Tabel Hasil Pengujian Tiang Pancang Prategang

Keterangan	Tiang Pancang
Jenis Tiang pancang	<i>Prestressed spun concrete pile</i>
Ukuran tiang pancang	(diameter 40) cm
Panjang tiang pancang	6 m
Diameter baja prategang	12 mm
Jumlah baja prategang	6 buah
Tipe pengujian	<i>Body bending test</i>
Referensi pengujian	JIS A 5335-1987
Kapasitas momen lentur	5,93 ton-m
Kapasitas momen ultimit	14,75 ton-m

Sumber : Dwi Purwanto, *Uji Tiang Pancang Beton Prategang Menggunakan Standar Uji JIS A 5335, 2006*

Dari hasil analisis struktur untuk beberapa kombinasi pembebanan yang ditinjau, didapatkan momen lentur yang terjadi pada tiang pancang pada kondisi layan struktur adalah 3,87 ton-m, sedangkan momen lentur pada kondisi ultimit adalah 4,13 ton-m.

Dari hasil pengujian lentur tiang pancang berdiameter 40 cm, didapatkan kapasitas momen lentur aktual dari tiang pancang adalah 5,93 ton-m. Karena kapasitas momen lentur aktual dari tiang pancang lebih besar dari momen lentur

yang terjadi pada tiang pancang pada kondisi layan (3,87 ton-m). Maka dapat disimpulkan bahwa tiang pancang yang digunakan cukup kuat.

Pada kondisi ultimit, dimana beban-beban yang bekerja pada *slab on pile* meningkat, momen lentur ultimit yang terjadi (4,13 ton-m), masih dibawah kapasitas momen ultimit aktual dari tiang pancang.

4.8 Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang

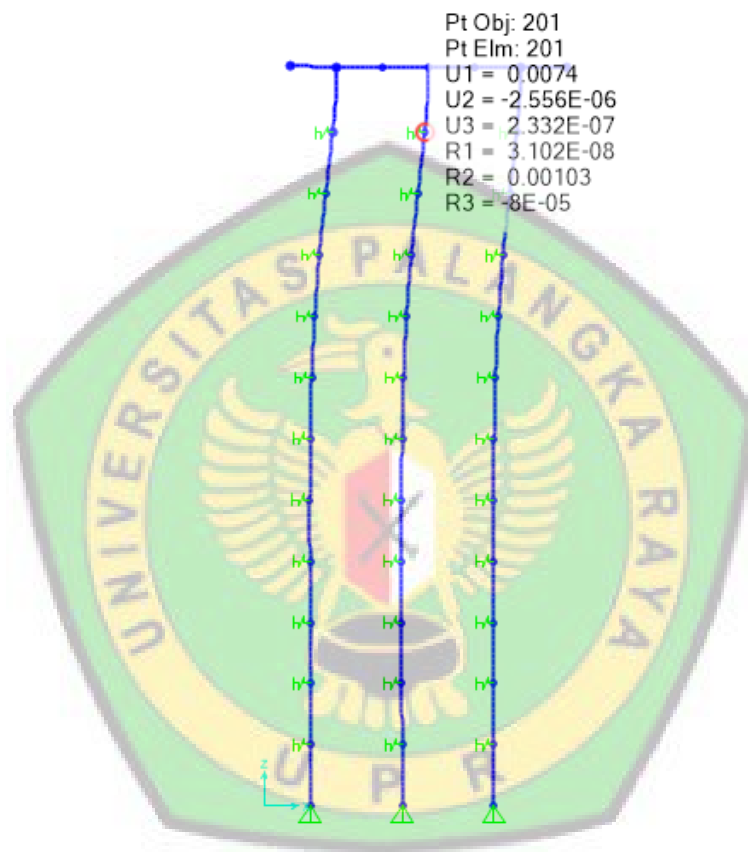
Beban pada pondasi tiang pancang dievaluasi dengan menghitung besarnya reaksi tumpuan akibat kombinasi pembebanan yang ditinjau di dalam analisis. Dari hasil analisis struktur, didapatkan besarnya beban vertikal maksimum yang harus didukung oleh 1 tiang pancang tunggal adalah 61,8 ton.

Dari analisis geoteknik yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan besarnya daya dukung yang diijinkan dari tiang pancang tunggal berdiameter 40 cm, adalah 80,1 ton. Daya dukung ijin tiang pancang ini didapat dengan menjumlahkan daya dukung ujung tiang yang diijinkan ($SF=2$) sebesar $P_b = 67,85$ ton, dengan daya dukung friksi yang diijinkan ($SF=2$) sebesar $P_s = 12,3$ ton. Besarnya daya dukung tiang pancang yang diijinkan : $P_a = (P_b + P_f) = (67,85 + 12,3) = 80,1$ ton.

Beban vertikal maksimum yang harus didukung tiang pancang adalah 61,8 ton. Beban ini lebih kecil dari daya dukung tiang pancang yang diijinkan yaitu 80,1 ton. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tiang pancang berdiameter 40 cm, mampu memikul beban-beban yang bekerja di atas struktur *slab on pile*.

4.9 Evaluasi Kekakuan Struktur

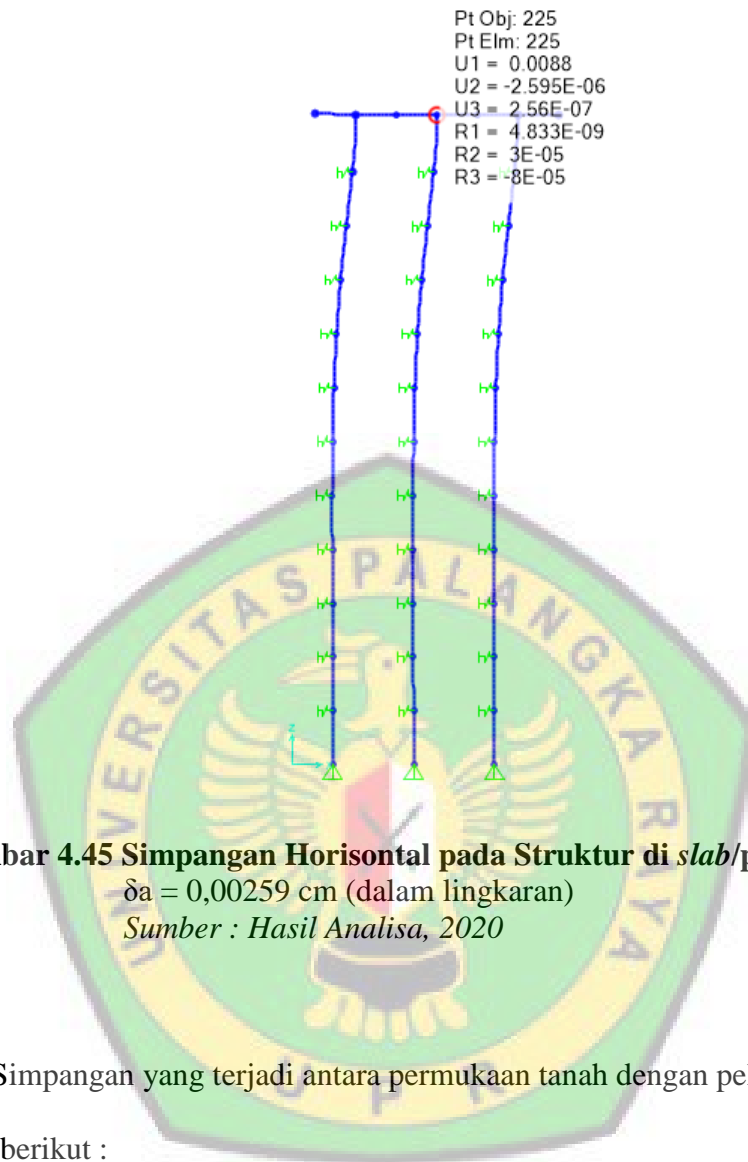
Kekakuan struktur *slab on pile* diperiksa dengan menghitung besarnya simpangan kearah horisontal dari struktur akibat kombinasi pembebanan yang ditinjau di dalam analisis.



Gambar 4.44 Simpangan Horisontal pada Struktur di Permukaan Tanah

$\delta_b = 0,00256$ cm (dalam lingkaran)

Sumber : Hasil Analisa, 2020



$$(\delta_a - \delta_b) = (0,00259 - 0,00256) = 0,00003 \text{ cm.}$$

Tinggi pelat dari permukaan tanah : $H = 215$ cm, maka besarnya simpangan yang diijinkan untuk struktur *slab on pile* dengan Kriteria Risiko I sesuai dengan Tabel 16 - SNI 1726 – 2012, adalah :

$$= 0,02.(H) = 0,02.(215) = 4,3 \text{ cm}$$

Untuk struktur *slab on pile* dengan Faktor Pembesaran Defleksi : $C_d = 4,5$
dan Faktor Keutamaan Gempa : $I_e = 1,0$, besarnya simpangan yang diperbesar :

$$\Delta = (\delta_a - \delta_b) \cdot C_d / I_e = (0,00003) \cdot 4,5 / 1,0 = 0,000135 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan simpangan terbesar yang dapat terjadi
= 0,000135 cm. Simpangan ini lebih kecil dari simpangan yang diijinkan yaitu
= 4,3 cm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kekakuan dari struktur *slab
on pile* memenuhi syarat kekakuan.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil evaluasi kekuatan struktur *slab on pile* pada Pembangunan Jembatan Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban, ruas jalan Ujung Pandaran - Kuala Pembuang, Kabupaten Kotawaringin Timur, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Momen rencana yang dianalisis berdasarkan pembebanan yang terjadi terhadap *pile cap* dan *spun pile* dengan tulangan lentur dan tulangan geser terpasang seperti yang tergambar di *shop drawing*. Dari hasil analisis struktur didapatkan nilai momen rencana sebesar ($M_u^- = 22,6$ ton-m) dan ($M_u^+ = 13,94$ ton-m). Gaya geser yang diperlukan sebesar ($V_u = 35,72$ ton). Mengambil dari lebar ekuivalen masing-masing dimensi dari *pile cap*, dengan *pile cap* eksisting sebesar ($b = 1,48$ m) dan ($h = 0,90$ m). *Pile cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement* sebesar ($b = 1,83$ m) dan ($h = 0,37$ m). *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement* sebesar ($b = 1,48$ m) dan ($h = 0,90$ m). *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement* sebesar ($b = 0,77$ m) dan ($h = 0,84$ m). Kebutuhan tulangan lentur masing-masing *pile cap*, tulangan 13D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang *pile cap* eksisting, mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*. Tulangan 13D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang *pile cap Integral*

Column Bents With Drop Panel Reinforcement, mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*. Tulangan 12D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang *pile cap* *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement*, mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*. Kemudian tulangan 12D25 dipasang di bagian atas dan bawah penampang *pile cap* *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement*, mampu memikul momen lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*. Kebutuhan tulangan geser pada *pile cap* eksisting dan keseluruhan variasi *pile cap*, dengan tulangan geser yang digunakan pada *pile cap* eksisting dan masing-masing variasi sebesar : D13-150, lebih rapat dari pada tulangan yang diperlukan yaitu D13-153. Dengan demikian seluruh struktur *pile cap* dianggap mampu menahan gaya geser yang terjadi pada akibat beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile*.

2. Elemen-elemen struktur *pile cap* dan *slab* dengan tulangan lentur dan tulangan geser seperti yang tergambar di *shop drawing*, cukup kuat untuk memikul beban-beban yg bekerja pada struktur *slab on pile*. Dari hasil analisis struktur didapatkan nilai rasio tegangan (*stress ratio*) maksimum dari *pile cap* eksisting = 0,78 dan *slab* = 0,52. *Pile cap Integral Column Bents With Drop Panel Reinforcement* = 0,79 dan *slab* = 0,52. *Integral Pile Cap Bents with Drop Panel Reinforcement* = 0,89 dan *slab* = 0,52. *Integral Pile Cap Bents Without Drop Panel Reinforcement* = 0,88 dan *slab* = 0,52. Karena

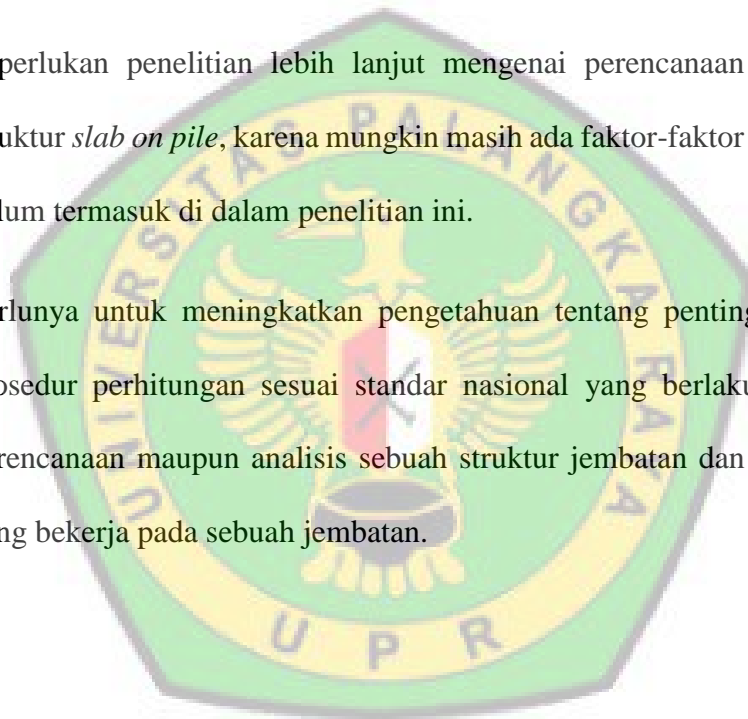
nilai rasio tegangan dari seluruh variasi *pile cap* dan *slab* ini lebih kecil dari 1, maka dapat disimpulkan *pile cap* dan *slab* cukup kuat.

3. Dari hasil pengujian lentur skala penuh pada tiang pancang, dapat diketahui bahwa kapasitas momen lentur aktual dari tiang pancang prategang berdiameter 40 cm sebesar (5,93 ton-m) lebih besar dari pada momen lentur yang terjadi pada tiang pancang akibat beban-beban yang bekerja pada struktur *slab on pile* sebesar (-4,13 ton-m). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tiang pancang prategang ini cukup kuat digunakan sebagai pondasi struktur *slab on pile*. Kemudian dari hasil analisis geoteknik dan analisis struktur diketahui bahwa, daya dukung pondasi tiang pancang yang diijinkan adalah 80,1 ton, sedangkan besarnya beban maksimum yang harus didukung tiang pancang adalah 61,8 ton. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pondasi tiang pancang mampu mendukung beban-beban yang bekerja di atasnya.
4. Simpangan horisontal yang terjadi pada struktur *slab on pile* akibat kombinasi beban lalu lintas dengan beban-beban yang berarah horisontal, seperti beban gempa dan beban angin struktur pada jembatan, masih dalam batas simpangan yang diijinkan. Simpangan horisontal maksimum yang terjadi pada struktur adalah 0,000135 cm, sedangkan simpangan yang diijinkan adalah 4,3 cm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konfigurasi struktur *slab on pile* ini cukup kaku, sehingga struktur *slab on pile* tidak memerlukan rangka pengaku (*bracing*).

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka dapat diambil beberapa saran. Saran-saran tersebut yaitu:

1. Disarankan agar menggunakan *pile cap* dengan *stress ratio* minimum yang diijinkan dan penggunaan jumlah besi tulangan terpasang yang mampu memikul beban yang bekerja.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai perencanaan *pile cap* pada struktur *slab on pile*, karena mungkin masih ada faktor-faktor lain yang masih belum termasuk di dalam penelitian ini.
3. Perlunya untuk meningkatkan pengetahuan tentang pentingnya mengikuti prosedur perhitungan sesuai standar nasional yang berlaku untuk sebuah perencanaan maupun analisis sebuah struktur jembatan dan meliputi beban yang bekerja pada sebuah jembatan.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional SNI 1725.2016. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta.
http://nspkjembatan.pu.go.id/public/uploads/TahapPerancangan/SNI/1510826306sni_1725-2016.pdf (diakses pada 19 November 2019)
-
- SNI 2833. 2008. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan*. Jakarta.
[http://nspkjembatan.pu.go.id/public/uploads/TahapPerancangan/SNI/1511098269\(17\)_sni_2833-2008.pdf](http://nspkjembatan.pu.go.id/public/uploads/TahapPerancangan/SNI/1511098269(17)_sni_2833-2008.pdf) (diakses pada 19 November 2019)
-
- SNI 03.2847.2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
<https://tekniksipil.usu.ac.id/images/PDF/2002-12-SNI-03-2847-2002-Beton.pdf> (diakses pada 24 Oktober 2020)
-
- SNI 03.2847.2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/dr-slamet-widodo-st-nt/sni-1726-2012.pdf> (diakses pada 24 Oktober 2020)
- Bowles, J.E. 1989. *Analisis Dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Dokumen kontrak PUPR Provinsi Kalimantan Tengah. 2017. *Jembatan Pile Slab Sei Kalap Gadur dan Sei Kalap Seban Kabupaten Kotawaringin Timur*. PUPR Provinsi Kalimantan Tengah: Palangka Raya.
- Fadillah, Anisa & Roestaman. 2017. *Analisis Struktur Bawah Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan*. Garut : Sekolah Tinggi Teknologi Garut.
- Ilham, Noer. 2008. *Perhitungan Pilecap Jembatan Pantai Hambawang - Ds. Danau Caramin*.
<https://docplayer.info/58255028-Perhitungan-pilecap-jembatan-pantai-hambawang-ds-danau-caramin-cs.html> (diakses pada 19 November 2019)
- Indarto, Himawan. 2015. *Evaluasi Kekuatan Struktur Slab On Pile Pada Pembangunan Ruas Jalan Sebelimingan-Martadipura Kota Bangun, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur*. Semarang : Universitas Diponegoro.

Kementrian Pekerjaan Umum. 1992. *Indonesian Bridge Management System (IBMS)*. Jakarta.

<https://leosentosa0.files.wordpress.com/2010/03/5-bms-bridge-design-manual-vol-1.pdf>

Kurniadi. 2015. *Desain Struktur Slab On Pile*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Meyerhof. 1965. *Perhitungan Daya Dukung Tanah*.

<https://teras.unimal.ac.id/teras/article/download> (diakses pada 19 November 2019)

Missouri Department of Transportation Bridge Division. 2000. *Bridge Design Manual Section 3.52*.

Purwanto, Dwi. 2006. *Uji Tiang Pancang Beton Prategang Menggunakan Standar Uji JIS A 5335*.

<https://www.scribd.com/doc/26598821/2-Uji-Tiang-Pancang-Beton-Prategang-Menggunakan-Standar-Uji-Jis-a-5335> (diakses pada 19 November 2019)

Supriyadi, Bambang & Muntohar. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta: CV. Beta Offset.

Veen, Van Der & Struyk, H.J. 1984. *Jembatan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

