



TUGAS AKHIR

PENINJAUAN ULANG STRUKTUR BAWAH PADA JEMBATAN B KALIKEMBAR PADA PROYEK PEMBANGUNAN KAWASAN INDUSTRI TERPADU BATANG

Disusun Oleh :

Reyhan Irfan Fauzan

40030118060082

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Studi Pada Program Studi
Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

2022

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : REYHAN IRFAN FAUZAN

NIM : 40030118060082

Tanda Tangan :

Tanggal : 25 Maret 2022

HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAS AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Reyhan Irfan Fauzan
NIM : 40030118060082
Jurusan/Program Studi : Diploma III Teknik Sipil
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembana ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksekutif (Non-executive Royalti Free Righ) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Peninjauan Ulang Struktur Bawah (Pondasi & Pilar) Jembatan B Kalikembar pada Proyek Pembangunan Jalan Kawasan Industri Terpadu Batang”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/noneksekutif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media, mengelola dalam bentuk pangakal data (database), merawat dan mempublikasi tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 25 Maret 2022

Yang menyatakan,

Reyhan Irfan Fauzan
NIM. 40030118060082

HALAMAN PENGESAHAN



TUGAS AKHIR

Peninjauan Ulang Struktur Bawah Jembatan B Kalikembar pada Proyek Pembangunan Jalan Kawasan Industri Terpadu Batang

Tugas akhir ini telah diperiksa dan diserahkan pada :

Hari :

Tanggal :

Disusun oleh

Reyhan Irfan Fauzan 40030118060082

Dosen pembimbing

Asri Nurdiana, ST, MT.

NIP. 198512092012122001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil

Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Asri Nurdiana, ST, MT.

NIP. 198512092012122001

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, Laporan Tugas Akhir: **“Peninjauan Ulang Struktur Bawah (Pondasi & Pilar) Jembatan B Kalikembar pada Proyek Pembangunan Jalan Kawasan Industri Terpadu Batang”** dapat terselesaikan dengan baik secara tepat waktu. Laporan ini penulis susun dalam rangka memenuhi salah satu mata kuliah Tugas Akhir Jurusan DIII Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Selama menjalani penulisan laporan ini, penulis telah menerima berbagai masukan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan demikian, penulis mengucapkan banyak terima kasih pada:

1. Ibu Asri Nurdiana, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Ibu Asri Nurdiana, ST. MT., sebagai dosen pembimbing kerja praktik dan Tugas Akhir yang senantiasa membimbing penulis selama menjalani kerja praktik dan Tugas Akhir serta mengoreksi penulisan laporan sebaik mungkin.
3. Seluruh Dosen, Staff dan Karyawan Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro
4. Keluarga yang tak henti-hentinya memanjatkan do’a, memberi masukan dan semangat selama ini.
5. Teman-teman tercinta yang selalu mendoakan, menyemangati, membantu mengerjakan, dan menghibur dikala hampir putus asa.
6. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan tentu saja jauh dari sempurna, karena keterbatasan kemampuan penulis. Untuk

itu, penulis selalu terbuka menerima saran dan kritik yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini dan juga untuk kebaikan dimasa yang akan datang sehingga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, 25 Maret 2022

Reyhan Irfan Fauzan

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Uraian Umum.....	4
2.1.1 Struktur Bangunan Atas (<i>Upper Structure</i>).....	4
2.1.2 Struktur Bangunan Bawah (<i>Sub Structure</i>).....	5
2.2 Pilar Jembatan (<i>Pier</i>).....	6
2.2.1 Jenis Pilar Jembatan.....	7

2.2.2 Perhitungan Pembebanan Jembatan.....	8
2.2.2.1 Beban Primer.....	8
2.2.2.2 Beban Sekunder.....	13
2.2.2.3 Beban Khusus	18
2.3 Pondasi <i>Bore Pile</i>	22
2.3.1 Uji Penetrasi Standar (SPT).....	24
2.3.1.1 Prosedur Uji SPT.....	24
2.3.2 Kapasitas Daya Dukung Aksial Tunggal (<i>Single Pile</i>).....	26
2.3.3 Kapasitas Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang (<i>Pile Group</i>).....	38
BAB 3 METODOLOGI.....	43
3.1 Subjek dan Objek Penulisan.....	43
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	43
3.3 Pengolahan Data.....	45
BAB 4 ANALISIS DAN PERHITUNGAN.....	46
4.1 Perhitungan Pilar.....	46
4.1.1 Data Konstruksi.....	46
4.1.2 Perhitungan Beban Konstruksi.....	47
4.1.2.1 Beban Mati.....	47
4.1.2.2 Beban Hidup.....	51
4.1.2.3 Beban Sekunder.....	54
4.1.3 Kombinasi Pembebanan.....	63
4.1.4 Penulangan Pilar.....	65
4.1.4.1 Penulangan Pilar Pierhead.....	65
4.1.4.2 Penulangan Kolom.....	70
4.1.4.3 Penulangan Pilecap.....	76

4.2 Perhitungan <i>Bore Pile</i>	81
4.2.1 Data Pondasi <i>Bore Pile</i>	81
4.2.1.1 Data Bahan.....	81
4.2.1.2 Dimensi <i>Bore Pile</i>	82
4.2.1.3 Dimensi Pilecap.....	82
4.2.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Tunggal.....	82
4.2.2.1 Berdasarkan Kekuatan Bahan.....	82
4.2.2.2 Berdasarkan Kekuatan Tanah.....	83
4.2.3 Perhitungan Efisiensi dan Beban Maksimum Pondasi <i>Bore Pile</i>	86
4.2.4 Perhitungan Penulangan Pondasi <i>Bore Pile</i>	88
BAB 5 PENUTUP.....	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe Dinding Penuh.....	7
Gambar 2.2 Tipe Dua Kolom.....	7
Gambar 2.3 Tipe Balok Cap.....	7
Gambar 2.4 Beban “D”.....	10
Gambar 2.5 Ketentuan Penggunaan Beban “D”.....	11
Gambar 2.6 Lokasi Pembagian Daerah Gempa.....	17
Gambar 2.7 Jenis-Jenis <i>Bore Pile</i>	23
Gambar 2.8 Tabung Belah Standar dan Uji SPT.....	25
Gambar 2.9 Tipe Pemukul SPT.....	26
Gambar 2.10 Faktor Kapasitas Dukung Tanah Meyerhof.....	30
Gambar 2.11 Contoh Susunan Tiang.....	40
Gambar 2.12 Baris Tiang Kelompok.....	41
 Gambar 4.1 Perkerasan Aspal	 47
Gambar 4.2 Slab Jembatan.....	48
Gambar 4.3 Barrier Tepi.....	48
Gambar 4.4 Potongan Memanjang Balok Girder.....	50
Gambar 4.5 Pembebanan Angin.....	54
Gambar 4.7 Skema Tekanan Tanah.....	57
Gambar 4.8 Pilar.....	59

Gambar 4.9 Pier head	59
Gambar 4.10 Kolom.....	60
Gambar 4.11 Pembebanan pada Pilar.....	62
Gambar 4.12 Penulangan Pierhead.....	70
Gambar 4.13 Penulangan Kolom.....	75
Gambar 4.14 Penulangan Pilecap.....	81
Gambar 4.15 Nilai Faktor Daya Dukung.....	84
Gambar 4.16 Denah Pondasi <i>Bore Pile</i>	88
Gambar 4.17 Penulangan <i>Bore Pile</i>	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah Jalur Lalu Lintas.....	9
Tabel 2.2 Jumlah Median Anggapan untuk Menghitung Reaksi Perletakan.....	12
Tabel 2.3 Modulus Young dan Koefisien Muai Panjang ϵ	15
Tabel 2.4 Sudut Gesek antara Dinding Tiang dan Tanah Granuler (δ).....	30
Tabel 2.5 Adhesi Ultimit c_d	31
Tabel 2.6 Hubungan Kepadatan Relatif, Sudut Geser Tanah dan Nilai N	32
Tabel 4.1 Kombinasi Beban Angin.....	36
Tabel 4.2 Kombinasi Pembebanan.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang oleh karena itu dibutuhkan pembangunan di segala bidang. Salah satunya pembangunan jalan dan jembatan yang digunakan sebagai sarana transportasi yang memiliki peran penting di dalam kelancaran untuk memenuhi kebutuhan hidup.

Perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil yang sangat pesat mengakibatkan perubahan system konstruksi baik ditinjau dari segi mutu, bahan, struktur konstruksi dan dari segi ekonomisnya. Metode yang digunakan semakin beragam dan inovatif. Untuk itu, perlu disadari bahwa seseorang yang telah terjun ke dunia konstruksi harus dapat mengantisipasi dan beradaptasi dengan perkembangan teknologi. Usaha pemeliharaan akan berlangsung secara optimal jika disertai dengan usaha.

Jembatan Kalikembar adalah bagian dari paket pembangunan jalan Kawasan Industri Terpadu Batang di Kabupaten Batang. Pembangunan Jembatan Kalikembar dibangun sebagai akses kendaraan menuju Kawasan Industri Terpadu Batang.

Pada umumnya jembatan terdiri dari dua struktur utama yaitu struktur atas dan struktur bawah. (Siswanto,1993) Struktur atas merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, dan sebagainya. Sedangkan struktur bawah merupakan bagian yang berfungsi untuk memikul beban struktur yang

ada di atasnya serta beban yang ditimbulkan akibat tekanan tanah, aliran dan gesekan pada tumpuan.

Berdasarkan penjelasan yang ada diatas dan kurikulum yang berlaku di Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang mewajibkan mahasiswanya untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul “ **Peninjauan Kembali Struktur Pondasi dan Pilar pada Proyek Pembangunan Jembatan Kalikembar**”.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari peninjauan kembali struktur bawah pada Proyek Pembangunan Jembatan Kalikembar dalam tugas akhir ini diharapkan mahasiswa mampu merangkum dan mengaplikasikan semua pengalaman pendidikan untuk memecahkan masalah dalam bidang studi yang ditempuh secara sistematis, logis, kritis, dan kreatif. Berdasarkan data yang akurat dan didukung oleh analitis yang tepat, dan menuangkannya dalam bentuk penulisan karya ilmiah.

Tujuan penulisan Tugas Akhir adalah untuk meninjau atau menguji kembali hasil perencanaan Struktur Bawah Pada Jembatan Kaliprogo dari beton bertulang yang meliputi perhitungan dan gambar struktur yang ekonomis dan mempunyai kekuatan yang memadai sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Tujuan penulis pada tugas akhir ini yaitu :

1. Meninjau perencanaan ulang pondasi Borepile pada Jembatan Kalikembar.
2. Meninjau Perencanaan ulang Pilar pada Jembatan Kalikembar.

1.3 Ruang Lingkup

Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah peninjauan kembali struktur bawah yang meliputi peninjauan ulang pondasi *bore pile*, dan Pilar Jembatan Kalikembar.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang gambaran umum rencana pembahasan materi secara singkat, yaitu latar belakang, maksud dan tujuan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan dasar teori yang digunakan sebagai pedoman dalam penyusunan Tugas Akhir.

BAB III METODE PENULISAN

Berisikan tata cara penulisan dan teknik pengumpulan data sebagai pedoman penyusunan Tugas Akhir

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA

Berisikan peninjauan dan perhitungan struktur pondasi *Bore pile*, dan Pilar.

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran mengenai keseluruhan penyusunan Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Menurut KBBI (2020), Jembatan adalah suatu konstruksi yang menghubungkan rute/lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, rel kereta api, dan pelintasan lainnya. Jenis jembatan dapat dibedakan berdasarkan fungsi, lokasi bahan konstruksi, tipe struktur, dan bentangnya. Secara garis besar struktur konstruksi jembatan terdiri dari dua komponen utama yaitu struktur bangunan atas (upper structure) dan struktur bangunan bawah (sub structure).

2.1.1 Struktur Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Struktur bangunan atas (upper structure) adalah bagian konstruksi jembatan yang berfungsi menahan beban yang ditimbulkan oleh arus lalu lintas, orang, dan kendaraan yang kemudian disalurkan ke bangunan dibawahnya (sub structure). (pengantar prinsip-prinsip Perencanaan Bangunan Jembatan PUPR, 1988)

Konstruksi bagian atas jembatan terdiri dari :

a. Plat Lantai

Plat lantai merupakan komponen jembatan yang memiliki fungsi utama untuk mendistribusikan beban sepanjang potongan melintang jembatan dan beban-beban sepanjang bentang jembatan (Hardiyanto, 2010)

b. Gelagar Induk

Gelagar induk merupakan komponen utama yang berfungsi untuk mendistribusikan beban-beban secara longitudinal dan biasanya di desain untuk menahan lendutan. (Hardiyanto, 2010)

c. Gelagar Melintang

Gelagar Melintang merupakan pengikat antar gelagar induk yang didesain untuk menahan deformasi melintang dari rangka struktur atas dan membantu pendistribusian bagian dari beban vertical antara gelagar induk. (Hardiyanto, 2010)

d. Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap pada jembatan adalah bangunan yang dibangun dengan maksud untuk menambah keamanan konstruksi jembatan dan juga pejalan kaki. Bangunan pelengkap biasanya meliputi tiang sandaran (railing), saluran pembuangan (drainase), lampu jembatan, dan lain-lain. (Hardiyanto, 2010)

2.1.2 Struktur Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Struktur bagian bawah (sub structure) adalah bagian konstruksi yang menahan beban dari bangunan atas jembatan dan menyalurkan ke pondasi yang kemudian disalurkan ke tanah dasar. (Pengantar Prinsip – Prinsip Perencanaan Bangunan Jembatan PUPR, 1998)

Ditinjau dari konstruksinya, struktur bangunan bawah jembatan terdiri dari :

a. Pondasi

Pondasi adalah Konstruksi jembatan yang terletak di paling bawah dan berfungsi untuk menerima beban dan meneruskannya ke lapisan tanah,

sehingga beban dapat dipikul oleh struktur secara keseluruhan. (Hardiyanto, 2010)

b. Abutmen

Abutmen adalah suatu konstruksi jembatan yang terdapat pada ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai penahan beban dari bangunan atas dan tekanan tanah lateral yang kemudian diteruskan ke pondasi. (Hardiyanto, 2010)

c. Pilar

Pilar adalah salah satu konstruksi bangunan bawah jembatan yang terletak diantara dua abutmen yang juga berfungsi sebagai penahan beban bangunan atas dan meneruskannya ke pondasi. (Hardiyanto, 2010)

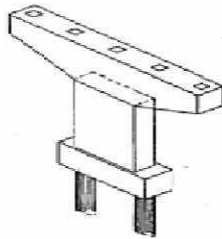
2.2 Pilar Jembatan (*Pier*)

Pilar jembatan (*pier*) adalah suatu konstruksi beton bertulang yang menumpu di atas pondasi dan terletak diantara dua abutmen yang berfungsi sebagai pemikul antara bentang tepid an bentang tengah bangunan atas jembatan. Pilar (*pier*) jembatan juga berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya vertical dan horizontal dari bangunan atas ke pondasi. (Hardiyanto, 2010)

2.2.1 Jenis Pilar Jembatan

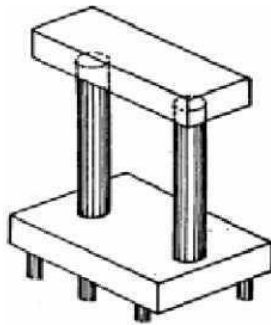
Secara umum, ada beberapa macam jenis pilar jembatan, yaitu :

1. Tipe dinding penuh



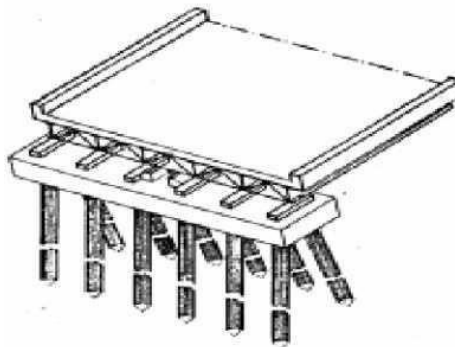
Gambar 2.1 Tipe Dinding Penuh

2. Tipe dua kolom



Gambar 2.2 Tipe Dua Kolom

3. Tipe balok cap



Gambar 2.3 Tipe Balok Cap

2.2.2 Perhitungan Pembebanan Jembatan

Dasar teori merupakan materi yang didasarkan pada buku-buku referensi dengan tujuan memperkuat materi pembahasan, mampu sebagai dasar dalam menggunakan rumus-rumus tertentu guna mendesain suatu struktur. Dalam Perencanaan Pilar Jembatan Kaliproggo, dipakai referensi Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Raya (PPJR) tahun 1987 yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman pembebanan meliputi beban primer dan beban sekunder.

2.2.2.1 Beban Primer

Beban primer adalah beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan, (Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

Adapun yang termasuk beban primer adalah :

a. Beban Mati (M)

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Dalam menentukan besarnya beban mati, harus digunakan nilai berat isi untuk bahan-bahan bangunan seperti tersebut dibawah ini :

Baja Tuang	7,85 t/m ³
Besi Tuang	7,25 t/m ³
Alumunium Paduan	2,80 t/m ³
Beton Bertulang/Pratekan	2,50 t/m ³

Beton Biasa, Tumbuk, Siklop.....	2,20 t/m ³
Pasangan Batu Bata.....	2,00 t/m ³
Kayu	1,00 t/m ³
Tanah, Pasir, Kerikil.....	2,00 t/m ³
Perkerasan Jalan Beraspal	2,00-2,50 t/m ³
Air	1,00 t/m ³

*) untuk bahan-bahan yang belum disebut diatas, harus diperhitungkan berat isi yang sesungguhnya.

Apabila bahan bangunan setempat memberikan nilai berat isi yang jauh menyimpang dari nilai-nilai yang tercantum di atas, maka berat ini harus ditentukan sendiri dan nilai yang didapat, setelah disetujui oleh orang yang berwenang. Selanjutnya digunakan dalam perhitungan. (Pedoman Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1998)

b. Beban Hidup (H)

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/ lalu lintas dan pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

Beban hidup dinyatakan dalam dua macam yaitu :

- Beban “ T”

Lebar lantai kendaraan	Jumlah Jalur Lalu Lintas
3 m sampai dengan 5,50	1
5,50 sampai dengan 8,25 m.	2
Lebih dari 8,25 m sampai dengan 11,25 m	3
Lebih dari 11,25 m sampai dengan 15,00 m	4

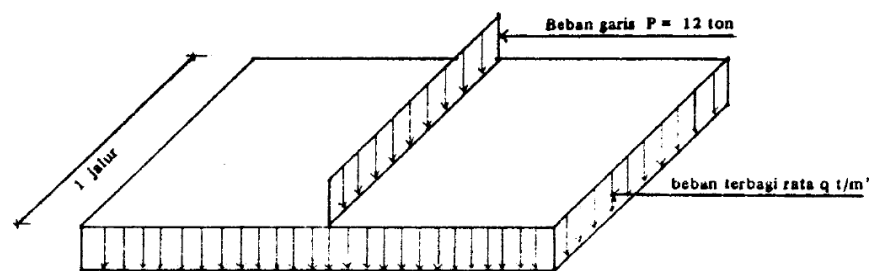
Lebih dari 15,00 m sampai dengan 18,75 m	5
Lebih dari 18,75 m sampai dengan 32,50 m	6

Table 2.1 Jumlah Jalur Lalu Lintas

Beban “T” adalah beban kendaraan truk yang memiliki beban roda ganda (dual wheel load)

- Beban “D”

Beban hidup pada jembatan harus ditinjau dari beban “D” yang merupakan beban jalur untuk gelagar. Beban “D” atau beban jalur adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata besar “q” ton per meter panjang per jalur, dan beban garis “p” ton per jalur lalu lintas tersebut.



Gambar 2.4 beban “D”

Besar “q” ditentukan sebagai berikut:

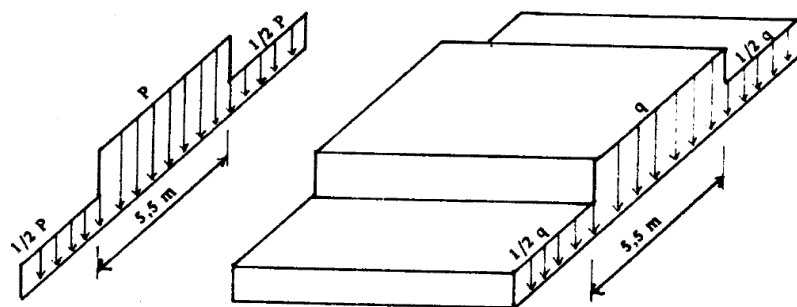
$$q = 2.2 \text{ t/m} \dots\dots\dots \text{ untuk } L < 30\text{m}$$

$$q = 2,2 \text{ t/m} - 1,1/60 \times (L - 30) \text{ t/m} \dots\dots\dots \text{ untuk } 30 \text{ m} < L < 60\text{m}$$

$$q = 1,1 \times (1+30/L) \text{ t/m} \dots\dots\dots \text{ untuk } L > 60 \text{ m}$$

Ketentuan penggunaan beban “D” dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut :

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100%) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,50 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban “D”



Gambar 2.5 Ketentuan Penggunaan Beban “D”

Dalam menentukan beban hidup (beban terbagi rata dan beban garis) perlu diperhatikan ketentuan bahwa beban hidup per meter lebar jembatan menjadi sebagai berikut :

$$\text{Beban Terbagi Rata} = \frac{q \text{ ton-meter}}{2,75 \text{ meter}}$$

$$\text{Beban Garis} = \frac{p \text{ ton}}{2,75 \text{ meter}}$$

*) angka pembagi 2,75 meter diatas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu lintas.

Beban “D” tersebut harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan pengaruh terbesar dengan pedoman sebagai berikut :

- Dalam menghitung momen-momen maksimum akibat beban hidup (beban terbagi rata dan bebean garis) pada gelagar menerus di atas untuk momen positif menghasilkan pengaruh maksimum. Dua beban garis

untuk momen negative yang menghasilkan pengaruh maksimum. Beban terbagi rata tempatkan pada beberapa bentang/bagian bentang yang akan menghasilkan momen maksimum.

- Dalam menghitung momen maksimum positif akibat beban hidup pada gelagar dua perletakan digunakan beban terbagi rata sepanjang bentang gelagar dan satu beban garis.

Dalam menghitung reaksi perletakan pada pangkal jembatan dan pilar perlu diperhatikan jumlah jalur lalu lintas sesuai ketentuan. Dan untuk jumlah lalu lintas mulai 4 (empat) jalur atau lebih, beban “D” harus diperhitungkan dengan menganggap median sebagai berikut:

Jumlah	Jumlah median anggapan
n = 4	1
n = 5	1
n = 6	1
n = 7	1
n = 8	3
n = 9	3
n = 10	3

Table 2.2 Jumlah Median Anggapan untuk Menghitung Reaksi Perletakan

c. Beban Kejut

Untuk memperhitungkan pengaruh getaran-getaran dan pengaruh dinamis lainnya, tegangan-tegangan akan memberikan hasil maksimum sedangkan beban merata “q” dan beban “T” tidak dikalikan dengan koefisien kejut.

Koefisien kejut ditentukan dengan rumus:

$$K = 1 + \frac{20}{50+L}$$

keterangan :

K = Koefisien Kejut

L = Panjang bentang dalam keadaan meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan (keadaan statis) dan kedudukan muatan garis “P”

Koefisien kejut tidak diperhitungkan terhadap bangunan bawah apabila bangunan bawah dan bangunan atas merupakan satu kesatuan maka koefisien kejut diperhitungkan terhadap bangunan bawah.

(Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

2.2.2.2 Beban Sekunder

Beban Sekunder adalah beban yang merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. (Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

Yang termasuk beban sekunder antara lain :

a. Beban Angin

Pengaruh beban angina sebesar 150 kg/m² pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angina horizontal terbagi rata pada bidang vetikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertical bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angina ditetapkan secara satu persentase tertentu terhadap luas bagian-bagian

sisi jembatan dan luas bidang vertical beban hidup. Bidang vertical beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertical yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 meter di atas lantai kendaraan. Dalam menghitung jumlah luas bagian-bagian sisi jembatan yang terkena angin dapat digunakan ketentuan sebagai berikut :

- Keadaan tanpa beban hidup
 - Untuk jembatan gelagar penug diambil sebesar 100% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 50% luas bidang sisi lainnya.
 - Untuk jembatan rangka diambil sebesar 30% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 15% luas bidang sisi lainnya.
- Keadaan dengan beban hidup
 - Untuk jembatan diambil sebesar 50% terhadap luas bidang.
 - Untuk beban hidup diambil sebesar 100% luas bidang sisi yang langsung terkena angin.

- Jembatan menerus diatas lebih dari 2 perletakan

Untuk perletakkan tetap perlu diperhitungkan beban angin dalam arah longitudinal jembatan yang terjadi bersamaan dengan beban angin yang sama besar dalam arah lateral jembatan, dengan beban angin masing-masing sebesar 40% terhadap luas bidang menurut keadaan. Pada jembatan yang memerlukan perhitungan pengaruh angin yang teliti, harus diadakan penelitian khusus.

(pedoman perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

b. Gaya Akibat Perbedaan Suhu

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan structural karena adanya perubahan suhu akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditetapkan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat.

Pada umumnya pengaruh perbedaan suhu tersebut dapat dihitung dengan mengambil perbedaan suhu untuk :

- Bangunan Baja

Perbedaan suhu maksimum/minimum = 30 derajat celcius

Perbedaan suhu antara bagian jembatan = 15 derajat celcius

- Bangunan Beton

Perbedaan suhu maksimum/minimum = 15 derajat celcius

Perbedaan suhu antara bagian jembatan < 10 derajat celcius

Jenis Bahan	E (Kg/cm ²)	ε per derajat Celcius
Baja	$2,1 \times 10^6$	12×10^{-6}
Beton	2 sampai 4×10^5 *	10×10^{-6}
Kayu : sejajar serat	*	5×10^{-6}
Kayu : tegak Lurus Serat	*	50×10^{-6} *

*) tergantung pada mutu bahan

Tabel 2.3 Modulus Young (e) dan koefisien muai panjang ε

c. Gaya Rangkak dan Susut

Pengaruh rangkak dan susut bahan beton terhadap konstruksi, harus ditinjau besarnya pengaruh tersebut apabila tidak ada ketentuan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15 oc .

(Pedoman Perencanaan Jembatan Jalan Raya, 1987)

d. Gaya Rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem, harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban “D” tanpa koefisien kejut yang memnuhi semua jalur lalu lintas yang ada, dan salam satu jurusan Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap seetinggi 1,80 meter diatas permukaan lantai kendaraan . (Pedoma Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

e. Gaya Akibat Gemba Bumi

Jembatan-jembatan yang akan dibangun pada daerah-daerah dimana diperkirakan terjadi pengaruh-pengaruh gempa bumi, harus direncanakan dengan menghitung pengaruh-pengaruh gempa bumi tersebut sesuai dengan “Buku Petunjuk Perencanaan Tahan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya 1986”. Pengaruh-pengaruh gempa bumi pada jembatan dihitung senilai dengan pengaruh suatu gaya gaya horizontal pada konstruksi akibat beban mati konstruksi/bagian konstruksi yang ditinjau dan perlu ditinjau pula gaya-gaya lain yang berpengaruh seperti gaya gesek pada perletakan, tekanan hidrodinamik akibat gempa, tekanan tanah akibat gempa dan gaya angkat

apabila pondasi yang direncanakan merupakan pondasi terapung/pondasi langsung. (Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

$$G_h = E \times G$$

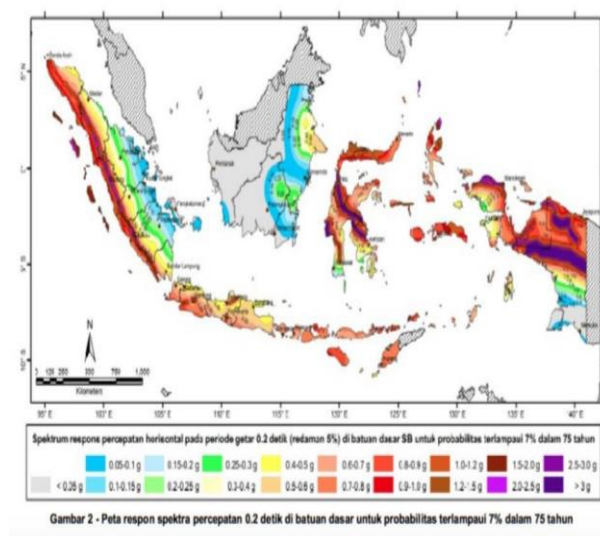
Keterangan :

G_h = Gaya Horizontal

E = Muatan mati pada konstruksi (kN)

G = Koefisien gempa

*) nilai koefisien gempa (G) di ambil dari peta pembagian daerah gempa yang ada di Indonesia.



Gambar 2.6 Lokasi Pembagian Daerah Gempa

f. Gaya Akibat Gesekan

Jembatan harus pula ditinjau terhadap gaya yang timbul akibat gesekan pada tumpuan bergerak, karena adanya pemuaian dan penyusutan dari jembatan akibat perbedaan suhu atau akibat-akibat lain. Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau akibat beban mati saja, sedang besarnya ditentukan berdasarkan

koefisien gesek pada tumpuan yang bersangkutan dengan nilai sebagai berikut:

- Tumpuan rol baja :
Dengan satu atau dua rol 0,01
Dengan tiga atau lebih rol 0,05
- Tumpuan Gesekan
Antara baja dengan campuran tembaga keras & baja ... 0,15
Antara baja dengan baja atau besi tuang 0,25
Antara karet dengan baja/beton 0,15-0,18

2.2.3 Beban Khusus

A. Gaya Sentrifigural

Konstruksi jembatan yang ada pada tikungan harus diperhitungkan terhadap suatu gaya horizontal radial yang dianggap bekerja pada tinggi 1,80 meter diatas lantai kendaraan. Gaya horizontal tersebut dinyatakan dalam proses terhadap beban “D” yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan koefisien kejut. (Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

Besar nya presentase tersebut dapat ditentukan dengan rumus:

$$K_s = 0,79 V^2 / R$$

Keterangan :

K_s = koefisien gaya sentrifigural (prosen)

V = kecepatan rencana (km/jam)

R = jari-jari tikungan (meer

B. Beban dan Gaya Selama Pelaksanaan

Gaya-gaya khusus yang mungkin timbul dalam masa pelaksanaan pembangunan jembatan, harus ditinjau dan besarnya dihitung dengan cara pelaksanaan pekerjaan yang digunakan. (Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1987)

2.2.2.3 Penyebaran Gaya

a. Beban Mati

- Beban Mati Primer

Beban mati yang digunakan dalam perhitungan kekuatan gelagar-gelagar (baik gelagar tengah maupun gelagar pinggir) adalah berat sendiri pelat dan system lainnya yang dipikul langsung oleh masing-masing gelagar tersebut.

- Beban Mati Sekunder

Beban mati sekunder yaitu kerb, trotoir, tiang sandaran dan lain-lain yang dipasang setelah pelat di cor, dan dapat dianggap terbagi rata di semua gelagar.

b. Beban Hidup

- Beban “T”

Dalam menghitung kekuatan lantai akibat beban “T” dianggap bahwa beban tersebut menyebar ke bawah dengan arah 45 derajat sampai ke tengah-tengah tebal lantai.

- Beban “D’

Dengan menghitung momen dan gaya lintang dianggap bahwa gelagar-gelagar mempunyai jarak dan kekuatan yang sama atau hampir sama, sehingga penyebaran beban “D” melalui lantai kendaraan ke gelagar-gelagar harus dihitung dengan cara sebagai berikut:

- Perhitungan Momen

Gelagar hidup yang diterima oleh tiap gelagar tengah adalah sebagai berikut:

$$\text{Beban merata (q')} = q/2,75 \times \alpha \times s$$

$$\text{Beban garis (P')} = P/2,75 \times \alpha \times s$$

keterangan :

s = jarak gelagar yang berdekatan (yang ditinjau) dalam meter, diukur dari sumbu ke sumbu.

α = faktor distribusi.

$\alpha = 0,75$ bila kekuatan gelagar melintang di perhitungkan.

$\alpha = 1,00$ bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan.

Gelagar pinggir, beban hidup yang diterima oleh gelagar pinggir adalah r adalah beban hidup tanpa memperhitungkan faktor distribusi ($\alpha = 1,00$).

Bagaimana pun juga gelagar pinggir harus direncanakan minimum sama kuat dengan gelagar tengah. Dengan demikian beban hidup yang diterima oleh tiap gelagar pinggir tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Beban merata (q')} = q/2,75 \times s'$$

$$\text{Beban garis (P')} = P/2,75 \times s'$$

keterangan :

s' = Lebar pengaruh beban hidup pada gelagar pinggir

α = faktor distribusi.

$\alpha = 0,75$ bila kekuatan gelagar melintang di perhitungkan.

$\alpha = 1,00$ bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan.

- Perhitungan Gaya Lintang

Gelagar tengah, beban hidup yang diterima oleh gelagar tengah adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban merata (q')} = q/2,75 \times \alpha \times s$$

$$\text{Beban garis (P')} = P/2,75 \times \alpha \times s$$

keterangan :

s' = Lebar pengaruh beban hidup pada gelagar pinggir

α = faktor distribusi.

$\alpha = 0,75$ bila kekuatan gelagar melintang di perhitungkan.

$\alpha = 1,00$ bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan.

Gelagar pinggir, baik beban merata maupun beban garis yang diterima oleh gelagar pinggir adalah beban tanpa perhitungan distribusi. Bagaimana pun juga gelagar pinggir harus direncanakan minimum sama kuat dengan gelagar tengah. Dengan demikian beban hidup yang diterima oleh tiap gelagar pinggir tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Beban merata } (q') = q/2,75 \times s'$$

$$\text{Beban garis } (P') = P/2,75 \times s'$$

keterangan :

s' = Lebar pengaruh beban hidup pada gelagar pinggir

α = faktor distribusi.

$\alpha = 0,75$ bila kekuatan gelagar melintang di perhitungkan.

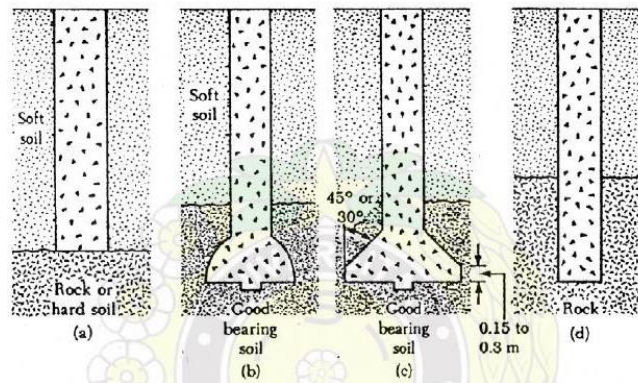
$\alpha = 1,00$ bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan.

2.3 Pondasi *Bore pile*

Pondasi *Borepile* adalah jenis pondasi dalam yang mempunyai bentuk seperti tabung memanjang yang terdiri dari campuran beton dengan besi bertulang dengan dimensi diameter tertentu yang dipasang didalam tanah dengan menggunakan metode pengeboran dengan instalasi pemasangan besi setempat serta pengecoran beton setempat. Panjang tiang pondasi *bore pile* harus sampai pada kedalaman dengan tingkat kekerasan daya dukung tanah yang disyaratkan untuk pondasi dasar konstruksi bangunan. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang. (Hardiyatmo, 2010)

Adapun jenis-jenis pondasi *borepile* adalah sebagai berikut :

- a. *Borepile* lurus untuk tanah keras
- b. *Borepile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
- c. *Borepile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapezium
- d. *Borepile* lurus untuk tanah batuan



Gambar 2.7 Jenis-jenis Borepile

Fungsi pondasi tiang bor pada umumnya dipengaruhi oleh besar atau bobot dan fungsi bangunan yang hendak didukung dan jenis tanah sebagai pendukung konstruksi seperti:

- a. Transfer beban dari konstruksi bangunan atas (*upper structure*) ke dalam tanah melalui selimut tiang dan perlawanan ujung tiang.
- b. Menahan daya desak ke atas (*up live*) maupun guling yang terjadi akibat kombinasi beban struktur yang terjadi.
- c. Memampatkan tanah, terutama pada lapisan tanah yang lepas (*non cohesive*).
- d. Mengontrol penurunan yang terjadi pada bangunan terutama pada bangunan yang berada pada tanah yang mempunyai penurunan yang besar.

2.3.1 Uji Penetrasi Standar (SPT)

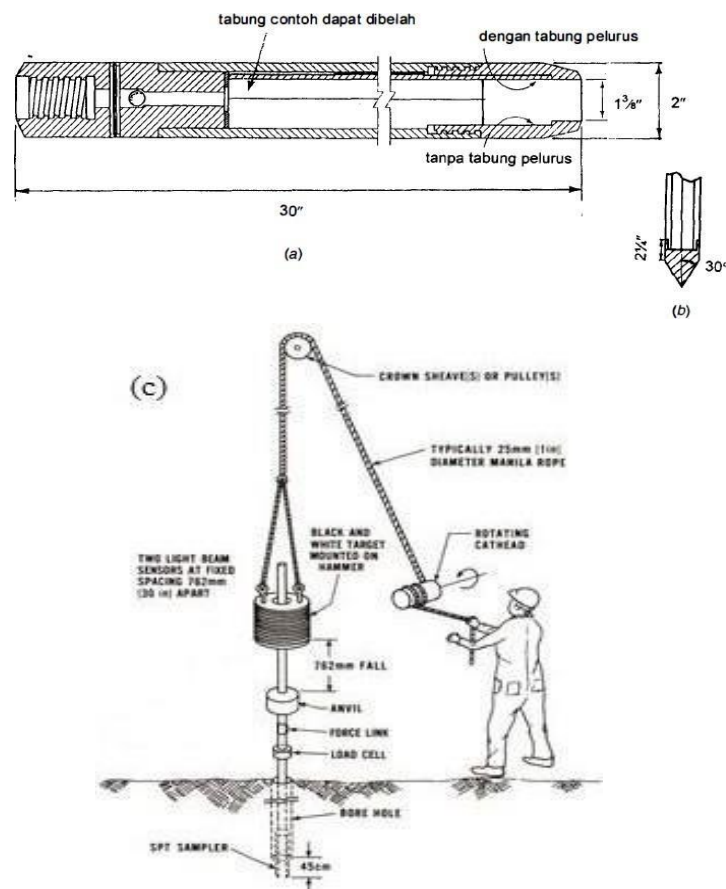
Penyelidikan tanah di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban pondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan tanah akibat operasi pengeboran dan. SPT (*Standard Penetration Test*) merupakan salah satu cara pengujian lapangan yang dilakukan karena sulitnya memperoleh contoh tanah tak terganggu pada tanah granular. Pada pengujian ini, sifat-sifat tanah pasir ditentukan dari pengukuran kerapatan relatif secara langsung di lapangan. Pengujian untuk mengetahui nilai kerapatan relatif yang sering digunakan adalah Uji Penetrasi Standar (SPT). (SNI 4153-2008)

2.3.1.1 Prosedur Uji SPT

Sewaktu melakukan pengeboran inti, jika kedalaman pengeboran telah mencapai lapisan tanah yang akan diuji, mata bor dilepas dan diganti dengan alat yang disebut tabung belah standar (*standard split barrel sampler*). Setelah tabung ini dipasang, bersama-sama dengan pipa bor, alat diturunkan sampai ujungnya menumpu lapisan tanah dasar, dan kemudian dipukul dari atas. Pukulan diberikan oleh alat pemukul yang beratnya 63,5 kg, yang ditarik naik turun dengan tinggi jatuh 76,2 cm. (SNI 4153-2008)

Untuk memperoleh Nilai N-SPT, dilakukan dengan tahap pertama, tabung belah standar dipukul hingga sedalam 15 cm, kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30,48 cm. Jumlah pemukulan tahap kedua ini, yaitu jumlah pemukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30,48 cm, didefinisikan sebagai nilai-N. Pengujian

yang lebih baik dilakukan dengan menghitung pukulan pada tiap- tiap penembusan sedalam 7,62 cm atau setiap 15 cm dengan cara ini, kedalaman sembarang jenis tanah di dasar lubang bor dapat ditaksir, dan elevasi dimana gangguan terjadi dalam usaha menembus lapisan yang keras seperti batu, dapat dicatat. (SNI 4153-2008)

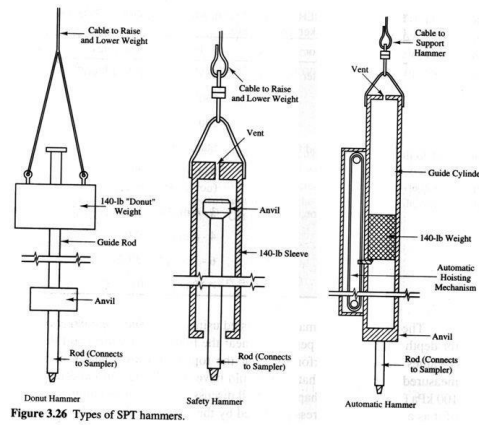


Gambar 2.8 Tabung Belah Standar dan Uji SPT

Dalam prakteknya, terdapat 3 tipe pemukul untuk uji SPT, yaitu :

- Pemukul Donat (*Donut Hammer*)
- Pemukul Aman (*Safety Hammer*)
- Pemukul Otomatis (*Automatic Hammer*)

Common SPT Hammers



Gambar 2.9 Tipe Pemukul SPT

Hasil uji SPT sangat bergantung pada tipe alat yang digunakan dan pengalaman operator yang melakukan pengujian. Suatu hal yang penting supaya data yang diperoleh baik adalah dengan memperhatikan efisiensi energi dari sistem. Dalam praktek, terdapat beberapa tipe pemukul, hampir tidak ada yang efisiensinya 100%. Secara teoritis, energi jatuh bebas dari sistem pemukul dan tinggi jatuh yang diberikan adalah 48 kg/m, tapi ternyata energi sebenarnya lebih kecil dari nilai tersebut akibat dari gesekan dan eksentrisitas, yang nilainya bergantung pada tipe pemukulnya. Pada saat ini, banyak digunakan alat pengerek naik-turun pemukul secara otomatis, karena hasilnya lebih mendekati kenyataan. (SNI 4153-2008)

2.3.2 Kapasitas Daya Dukung Aksial Tunggal (Single Pile)

Daya dukung single pile adalah daya dukung per-satu tiang pancang. Untuk menentukan nilai kapasitas daya dukung tiang aksial tunggal (single pile), dapat digunakan beberapa metode perhitungan, diantaranya :

a. Kapasitas Daya Dukung Pondasi berdasarkan hasil Uji Laboratorium

Kapasitas ultimit netto tiang tunggal (Q_u) adalah jumlah tahanan ujung bawah tiang (Q_b) dan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang, bila dinyatakan dengan persamaan adalah : (Hardiyatmo, 2010)

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

keterangan :

Q_u = kapasitas dukung ultimit netto (kN)

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

W_p = berat sendiri tiang (kN)

Tahanan ujung (end bearing) ultimit secara pendekatan dapat dihitung menggunakan persamaan kapasitas dukung pondasi dangkal.

$$q_u = Q_b / A_b = c_b \cdot N_c + p_b \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

keterangan :

q_u = tahanan ujung per satuan luas tiang (kN/m²)

Q_b = tahanan ujung ultimit tiang (kN)

A_b = luas penampang bawah tiang (m²)

c_b = kohesi diujung tiang (kN/m²)

$p_b = z \cdot \gamma$ = tekanan overburden pada ujung tiang (kN/m²)

D = diameter tiang (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung tiang (fungsi dari ϕ)

Dari persamaan diatas dapat dinyatakan :

$$Q_b = A_b \cdot [c_b \cdot N_c + p_b \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma]$$

Tahanan gesek ultimit dapat menggunakan persamaan menurut Coulumb,yaitu:

$$\tau_d = Q_s A_s = c_d + \sigma_n \cdot \tan \phi_d$$

keterangan :

τ_d = tahanan geser tiang (kN)

c_d = kohesi antara dinding dengan tanah (kN/m²)

σ_n = tegangan normal pada sisi tiang (kN/m²)

ϕ_d = sudut gesek antara sisi tiang dengan tanah (°)

Besarnya tegangan normal pada sisi tiang (σ_h) atau tegangan horizontal pada tiang (σ_h), tergantung pada koefisien tekanan tanah lateral (k).

$$k = \sigma_h / \sigma_v \text{ atau } \sigma_h = k \cdot \sigma_v$$

keterangan :

σ_h = tegangan horisontal atau lateral dari tanah di sekitar tiang

σ_v = tegangan vertikal akibat berat tanah

Pada persamaan diatas, tegangan horizontal σ_h sama dengan tegangan normal σ_n yang bekerja tegak lurus dengan sisi tiang. Dengan demikian notasi baru untuk koefisien tekanan tanah lateral (k) diganti menjadi koefisien tekanan tanah lateral pada sisi tiang (k_d), maka persamaan diatas menjadi :

$$\sigma_h = \sigma_n = k_d \cdot p_o$$

Dengan $p_o = \sum z \cdot \gamma$ = tekanan overburden rata - rata disepanjang tiang (kN/m²), z = kedalaman dari muka tanah (m). Dari kedua persamaan, maka diperoleh persamaan :

$$\tau_d = Q_s A_s + k_d \cdot p_o \cdot \tan \phi_d$$

Jadi persamaan untuk tahanan gesek ultimit tiang (Q_s) adalah :

$$Q_s = \sum A_s \cdot [c_d + k_d \cdot p_o \cdot \tan \phi_d]$$

keterangan :

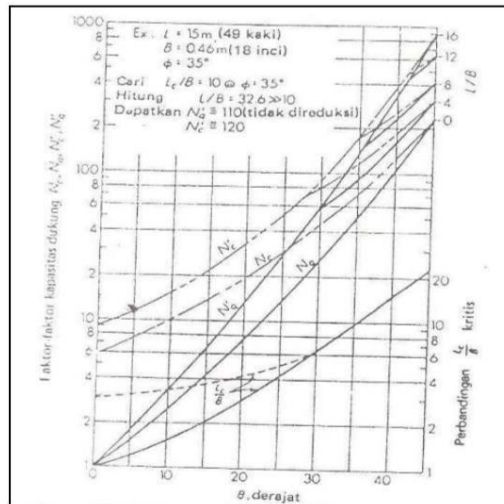
A_s = luas selimut tiang (m²) = keliling penampang tiang dikalikan dengan panjang tiang.

$\phi_d = \delta$ = sudut gesek antara dinding dengan tanah (°)

Dengan demikian dapat diperoleh persamaan umum untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal, yaitu :

$$Q_u = A_b [c_b \cdot N_c + p_b \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma] + \sum A_s [c_d + k_d \cdot p_o \cdot \tan \phi_d] - W_p$$

Untuk nilai N_c , N_q , N_γ disini menggunakan grafik berdasarkan metode Meyerhof (1976).



Gambar 2.10 Faktor Kapasitas Dukung Tanah Meyerhof (1976)

Aas (1966) mengusulkan nilai-nilai δ yang dapat digunakan dalam menghitung tahanan gesek seperti yang ditunjukkan pada tabel. Pada tabel ini bahan tiang yang terbuat dari beton dan kayu, nilai δ ditentukan dari hubungan sudut gesek dari hubungan sudut gesek dalam efektif tanah (ϕ').

Bahan Tiang	$\delta = \phi d'$
Baja	20°
Beton	$0,75\phi'$
Kayu	$0,66\phi'$

Tabel 2.4 Sudut Gesek antara Dinding Tiang dan Tanah Granuler (δ)

Bahan Tiang	Kohesi Cu (k/ft ²)	Adhesi Ultimit Cd (k/ft ²)
Beton dan Kayu	0 - 0,75	0 - 0,70
	0,75 - 1,	0,70 - 1,00
	1,50 - 3,00	1,00 – 1,30
Baja	0 - 0,75	0 - 0,70
	0,75 - 1,50	0,70 - 1,00
	1,50 - 3,00	1,00 - 1,20

Tabel 2.5 Adhesi Ultimit cd (Tomlinson, 1997)

b. Kapasitas Daya Dukung Pondasi dari Data Standart Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (relative density), sudut geser tanah (ϕ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Harga N yang diperoleh dari SPT tersebut diperlukan untuk memperhitungkan daya dukung tanah. Daya dukung tanah tergantung pada kuat geser tanah. Hipotesis pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh Coulomb yang dinyatakan dengan: (SNI 4153-2008)

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

keterangan :

τ = kekuatan geser tanah (kg/m²)

c = kohesi tanah (kg/m²)

σ = tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/m²)

φ = sudut geser tanah (°)

Untuk mendapatkan sudut geser tanah dari tanah tidak kohesif (pasir)

biasanya dapat dipergunakan rumus Dunham (1962) sebagai berikut:

- Tanah berpasir berbentuk bulat dengan gradasi seragam, atau butiran pasir bersegi-segi dengan gradasi tidak seragam, mempunyai sudut geser sebesar :

$$\varphi = 12N + 15$$

- Butiran pasir bersegi dengan gradasi seragam, maka sudut gesernya adalah :

$$\varphi = 0,3N + 27$$

Angka penetrasi sangat berguna sebagai pedoman dalam eksplorasi tanah dan untuk memperkirakan kondisi lapisan tanah. Hubungan antara kepadatan relatif, sudut geser tanah dan nilai N dari pasir dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Angka Penetrasi Standart (N)	Kepadatan Relatif (%)	Sudut Geser Dalam φ (°)
0 – 5	0 – 5	26 – 30

5 – 10	5 – 30	28 – 35
10 – 30	30 – 60	35 – 42
30 – 50	60 – 65	38 – 48

Tabel 2.6 Hubungan Kepadatan Relatif, Sudut Geser Tanah dan Nilai N

Pada tanah tidak kohesif daya dukung sebanding dengan berat isi tanah, hal ini berarti bahwa tinggi muka air tanah banyak mempengaruhi daya dukung pasir. Tanah dibawah air mempunyai berat isi efektif yang kira-kira setengah berat isi tanah diatas muka air. Tanah dapat dikatakan mempunyai daya dukung yang baik, dapat dilihat dari ketentuan berikut :

1. Lapisan kohesif mempunyai nilai SPT, $N > 35$.
2. Lapisan kohesif mempunyai harga kuat tekan (q_u) 3 – 4 kg/m², atau harga SPT, $N > 15$.

Hasil percobaan pada SPT ini hanya merupakan perkiraan kasar, jadi bukan merupakan nilai yang teliti. Dalam pelaksanaan umumnya hasil sondir lebih dapat dipercaya dari pada percobaan SPT. Perlu menjadi catatan bagi kita bahwa jumlah pukulan untuk 15 cm pertama yang dinilai N_1 tidak dihitung karena permukaan tanah dianggap sudah terganggu. Untuk perencanaan kapasitas daya dukung tanah dari data SPT, daya dukung tiang pancang dapat dihitung berdasarkan jenis tanah dan berdasarkan rumus empiris dari metode Meyerhof.

1. Daya dukung tiang pancang dari jenis tanah dapat di bagi menjadi dua yaitu berdasarkan tanah non kohesif dan tanah kohesif.

a. Tanah Non Kohesif

Daya dukung ujung pondasi (Q_b) pada tanah non kohesif, diperoleh dari persamaan:

$$Q_b = 40 \times N - SPT \times A_p < 400 \times N - SPT \times A_p$$

Tahanan geser selimut tiang pancang (Q_s) pada tanah non-kohesif diperoleh dari persamaan :

$$Q_s = 2 \times N - SPT \times p \times L_i$$

keterangan :

$N - SPT$ = N yang telah dikoreksi,

L_b = panjang tiang (m)

D = diameter tiang (m)

L_i = panjang lapisan tanah (m)

p = keliling tiang (m)

A_p = luas penampang tiang (m^2)

b. Tanah Kohesif Daya dukung ujung pondasi (Q_p) pada tanah kohesif diperoleh dari persamaan :

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

Tahanan geser selimut tiang pancang (Q_s) pada tanah kohesi diperoleh dari persamaan :

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times L_i$$

keterangan :

α = faktor adhesi antara tanah dan tiang

L_i = panjang lapisan tanah (m)

p = keliling tiang (m)

A_p = luas penampang tiang (m^2)

C_u = kohesi undrained (kN/m^2) = $2/3 \times N - SPT \times 10$

2. Daya dukung pondasi berdasarkan rumus empiris menggunakan metode Meyerhof.

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

a. Tiang Beton

$$Q_u = 40 \times N_b \times A_b + A_s$$

b. Tiang Baja

$$Q_u = 40 \times N_b \times A_b + A$$

keterangan :

Q_u = kapasitas ultimit tiang (ton)

Q_b = tahanan ujung tiang (ton)

Q_s = tahanan gesek tiang (ton)

A_b = luas dasar tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

N_b = nilai N dari hasil uji SPT pada tanah sekitar dasar tiang = nilai rata – rata dari 8d di atas dasar tiang sampai 4d di bawah tiang

N = nilai N rata – rata uji SPT disepanjang tiang

3. Kapasitas Dukung Aksial Tiang dengan Metode Skempton

a. Tahanan Ujung Ultimit (End Bearing Resistance) (Q_b) Tahanan ujung satuan tiang bore pile (f_b) menurut Skempton (1966) dinyatakan oleh persamaan :

$$f_b = \mu \times c_b \times N_c$$

Tahanan ujung ultimit :

$$Q_b = A_b \times f_b$$

Atau

$$Q_b = A_b \times \mu \times c_b \times N_c$$

Keterangan :

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

μ = faktor koreksi, dengan

$\mu = 0,8$ untuk $d < 1m$, dan

$\mu = 0,75$ untuk $d \geq 1m$

A_b = luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

c_b = kohesi tanah di bawah ujung tiang pada kondisi tak terdrainase (undrained) (kN/m^2)

N_c = faktor kapasitas dukung ($N_c = 9$)

Untuk menghitung tahanan ujung, Skempton (1966) menyarankan faktor kapasitas dukung $N_c = 9$. Kedalam penembusan tiang bored pile pada lapisan pendukung

disarankan paling sedikit 5 kali diameter tiang. Jika tanah termasuk jenis tanah lempung retak-retak, maka C_b nilai minimumnya.

b. Tahanan Gesek Ultimit (Skin Friction) (Q_s)

Tahanan gesek tiang bored pile dinyatakan oleh persamaan :

$$Q_s = A_s \times f_s$$

$$f_s = c_d = \alpha \times c_u$$

keterangan :

A_s = luas selimut tiang (m^2)

f_s = tahanan gesek per satuan luas (kN/m^2)

c_d = adhesi (kN/m^2)

α = faktor adhesi

c_u = kohesi tak terdrainase (undrained) (kN/m^2)

Untuk menghitung tahanan gesek sisi tiang bor, Skempton (1966) menyarankan faktor adhesi $\alpha = 0,45$. Dengan demikian, persamaan tahanan gesek sisi tiang bor, menjadi :

$$Q_s = 0,45 \times c_u \times A_s$$

Faktor adhesi pada tiang bore pile yang ujung bawahnya dibesarkan dapat diambil lebih kecil. Hal ini karena waktu pelaksanaan pekerjaannya yang lebih lama. Umumnya, tiang bore pile harus segera dicor sesudah pengeboran. Air yang dipakai untuk membantu proses pengeboran mengakibatkan penurunan faktor adhesi.

c. Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u)

Kapasitas dukung ultimit tiang bore pile dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

Dengan substitusi Q_b dan Q_s , akan diperoleh :

$$Q_u = A_b \times \mu \times c_b \times N_c + 0,45 \times c_u \times A_s$$

2.3.3 Kapasitas Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang (Pile Group)

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali kita dapatkan tiang pancang yang berdiri sendiri (Single Pile), akan tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok (Pile Group), yang dimaksud berkelompok adalah gabungan dari beberapa tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu bagian atasnya dengan menggunakan pile cap. (Hardiyatmo, 2010)

Dalam perhitungan pilecap dianggap atau dibuat kaku sempurna, sehingga:

- Bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan, maka setelah penurunan bidang pilecap tetap merupakan bidang datar.
- Gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang

Untuk menghitung besarnya kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, dan efisiensi kelompok tiang.

a. Jumlah Tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada fondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut ini :

$$n = P / Q_a$$

keterangan :

P = beban yang bekerja (kN)

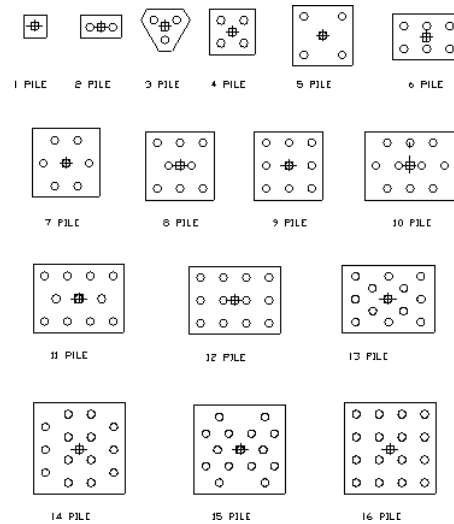
Q_a = kapasitas dukung ijin tiang tunggal (kN)

b. Jarak Tiang (s)

Jarak antar tiang pancang di dalam kelompok tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut. Untuk bekerja sebagai kelompok tiang, jarak antar tiang yang dipakai adalah menurut peraturan-peraturan bangunan pada daerah masing-masing. Pada prinsipnya jarak tiang (s) makin rapat, ukuran pilecap makin kecil dan secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen. (Hardiyatmo, 2010)

c. Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah pilecap, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah pilecap akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak. (Hardiyatmo, 2010)



Gambar 2.11 Contoh Susunan Tiang

d. Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
- Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
- Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
- Urutan pemasangan tiang.
- Macam tanah.
- Waktu setelah pemasangan.
- Interaksi antara pelat penutup tiang (pile cap) dengan tanah.
- Arah dari beban yang bekerja.

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut:

Converse – Lebarre

$$E_g = 1 - \frac{(n-1) + (m-1)/n}{90mn}$$

keterangan :

E_g = efisiensi kelompok tiang

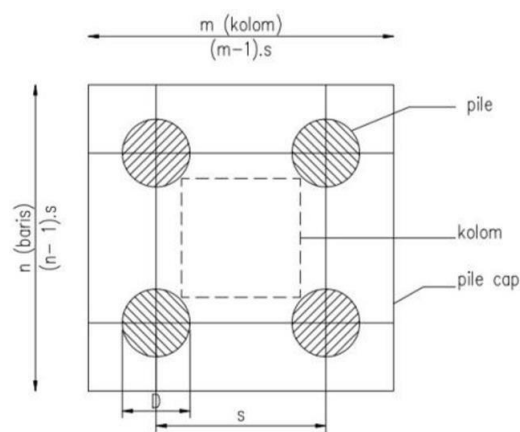
$\Theta = \arctan d/s, (^{\circ})$

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

d = diameter tiang (m)

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)



Gambar 2.12 Baris Tiang Kelompok

Los Angeles Group – Action Formula

$$E_g = 1 - \frac{D n s m}{[m(n-1) + \sqrt{2}(m-1)(n-1)]}$$

keterangan :

E_g = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

D = diameter tiang (m)

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a$$

keterangan :

Q_g = kapasitas ultimit kelompok tiang (kN)

E_g = efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = kapasitas dukung ijin tiang (kN)

BAB III

METODOLOGI

3.1 Subjek dan Objek Penulisan

Subjek penulisan tugas akhir ini adalah Jembatan Kalikembar Pada Proyek Pembangunan Jembatan Kalikembar, sedangkan yang menjadi objek pada penulisan ini adalah peninjauan ulang pada struktur bawah jembatan meliputi peninjauan perencanaan ulang pilar dan bore pile pada P1 jembatan B Kalikembar.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Secara umum untuk merencanakan suatu pekerjaan maka diperlukan suatu acuan. Acuan tersebut dapat berupa data, baik data teknik maupun non teknis. Data tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan sehingga hasil yang dicapai setelah pelaksanaannya diharapkan sesuai dengan maksud dan tujuan diadakannya pekerjaan tersebut. Berdasarkan fungsinya data-data yang diperoleh dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a. Data Teknis

Data Teknis merupakan data-data yang berhubungan langsung dengan analisa struktur bawah jembatan seperti : shop drawing, time schedule, spesifikasi bahan, dll

b. Data Non Teknis

Data non teknis merupakan data yang bersifat sebagai penunjang untuk mempertimbangkan perkembangan lalu lintas di daerah tersebut, seperti arah perkembangan daerah, kondisi sosial ekonomi, tingkat kepemilikan kendaraan

dan sebagainya.

Menurut sifat data maka dapat dibagi menjadi dua yaitu :

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan dengan cara mengadakan survei lapangan. Untuk metode pengumpulan data tersebut dapat dilakukan dengan metode observasi, yaitu melakukan survei langsung ke lokasi. Hal ini mutlak diperlukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya lokasi proyek.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari beberapa instansi terkait, seperti shop drawing, time schedule, spesifikasi bahan, dll.

Secara umum metode pengumpulan data dilakukan dengan cara :

1. Metode Literatur

Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis, dan metode kerja yang digunakan sebagai input proses perencanaan.

2. Metode Observasi

Metode ini dilakukan dengan pengamatan langsung ke lokasi untuk mengetahui kondisi sebenarnya di lapangan.

3. Metode Wawancara

Metode ini dilakukan dengan menanyakan langsung pada narasumber atau instansi yang terkait.

4. Metode Dokumentasi

Metode ini dilakukan dengan pengambilan data melalui dokumen tertulis maupun elektronik yang digunakan sebagai pendukung kelengkapan data.

3.3 Pengolahan Data

1. Pilar

Peninjauan ulang perencanaan pilar meliputi dimensi dan penulangan yang digunakan

2. Pondasi Borepile

Peninjauan ulang perencanaan borepile meliputi kapasitas daya dukung tiang tunggal, kapasitas daya dukung tiang kelompok, dan penulangan yang digunakan.

BAB IV

ANALISIS DAN PERHITUNGAN

4.1 Perhitungan Pilar

Pilar jembatan merupakan struktur perantara antara struktur atas dengan struktur bawah jembatan. Pilar jembatan berfungsi untuk mendistribusi dan mentransfer beban struktur atas ke struktur bawah jembatan. Maka, pilar jembatan ini merupakan salah satu bagian dari substruktur sebuah jembatan. Dalam bab ini, akan dibahas mengenai tinjauan perhitungan pembebanan dan penulangan pada struktur beton pilar jembatan dengan menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) tahun 1987 yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum.

4.1.1 Data Konstruksi

Data Struktur Atas

Panjang jembatan	: 82	meter
Lebar Jembatan	: 9,55	meter
Lebar Perkerasan	: 8	meter
Tebal Slab	: 0,25	meter
Tebal Perkerasan	: 0,05	meter
Jarak Antar Gelagar	: 1,85	meter
Jenis Kontruksi (Girder)	: PCI	
Berat jenis beton bertulang	: 25 Kn/m ³	

a. Dimensi Kolom P1

Tinggi : 11,5 meter

Panjang : 1,25 meter

Lebar : 1,5 meter

b. Dimensi Pierhead P1

Tinggi : 1,5 meter

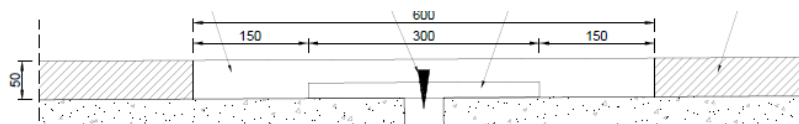
Panjang : 1,9 meter

Lebar : 13,6 meter

4.1.2 Perhitungan Beban Konstruksi

4.1.2.1 Beban Mati

a) Beban Perkerasan aspal



Gambar 4.1 Perkerasan Aspal

Volume = panjang bentang x lebar x tebal

$$= 82 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 0,05 \text{ m}$$

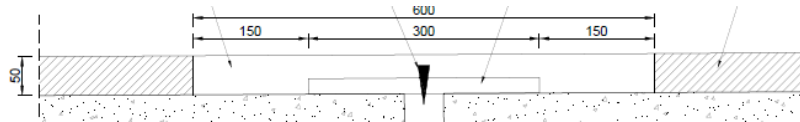
$$= 33,6 \text{ m}^3$$

Berat = Volume x γ_{aspal}

$$= 33,6 \text{ m}^3 \times 2,2 \text{ t/m}^3$$

$$= 73,92 \text{ ton} = \mathbf{739,2 \text{ kN}}$$

b) Beban Slab

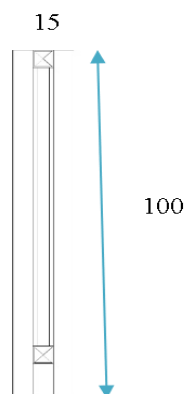


Gambar 4.2 Slab Jembatan

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{panjang bentang} \times \text{lebar slab} \times \text{tebal} \\ &= 84 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \\ &= 168 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban Slab} &= \text{Volume} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 168 \text{ m}^3 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 \\ &= 4200 \text{ kN}\end{aligned}$$

c) Berat Barrier Tepi Railing



Gambar 4.3 Barrier Tepi

$$\text{Luas} = \text{Panjang} \times \text{lebar}$$

$$= 0,25 \times 1$$

$$= 0,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = \text{Luas} \times \text{Panjang}$$

$$= 0,25 \times 82$$

$$= 21 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban beton} = \text{Volume} \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$= 21 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$= 525 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Pipa} = 2 \times 0,371 \times 78,5 \text{ kN/m}^3$$

$$= 58,247 \text{ Kn}$$

$$\text{Total} = 525 + 58,247$$

$$= 583,247 \text{ kN}$$

d) Berat Barrier Tepi Parapet

$$\text{Luas} = (\text{Panjang} \times \text{lebar}) + (0,5 \times (a+b) \times t)$$

$$= 0,2 \times 1 + (0,5 \times (0,1 + 0,3) \times 0,1)$$

$$= 0,22 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = \text{Luas} \times \text{Panjang}$$

$$= 0,22 \times 82$$

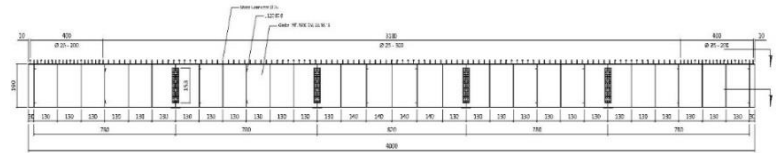
$$= 18,48 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat beton} = \text{Volume} \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$= 18,48 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$$

$$= 462 \text{ kN}$$

e) Berat PCI Girder



Gambar 4.4 Potongan Memanjang Balok Girder

Berat sendiri beton (pelat lantai)

$q = \text{Volume} \times \gamma \text{ beton}$

$$= (2,00 \times 1,4 \times 0,53) \times 25$$

$$= 37,1 \text{ kN}$$

Berat sendiri baja profil (diafragma + alat sambung)

$q = G \times 120 \%$

$$= 286 \times 1,2$$

$$= 3,36 \text{ kN}$$

Total = Berat sendiri beton + Berat sendiri baja profil

$$= 37,1 + 3,36$$

$$= 40,46 \text{ kN}$$

- Total beban mati :

Berat Lantai Kendaraan (W1) = 739,2 kN

Berat Slab (W2) = 4200 kN

Berat Barrier Tepi Railing (W3) = 583,247 kN

Berat Barrier Tepi Parapet (W4) = 462 kN

Berat Balok Girder (W5) = 40,46 kN

- **Beban mati untuk satu jembatan :**

$$\begin{aligned}\mathbf{W_{TOTAL}} &= W1 + W2 + W3 + W4 + W5 \\ &= 739,2 + 4200 + 583,247 + 462 + 40,46 \\ &= 6024,907 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{Momen MM} &= \text{Gaya} \times \text{Jarak} \\ &= 6024,907 \times 1,85 \\ &= 11146,078 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4.1.2.2 Beban Hidup

A. Beban “D” Menghitung menggunakan bentang gelagar

Bentang gelagar (L) = 82 meter

Untuk bentang $L > 60$ m menggunakan rumus :

$$q = 1,1 \times (1 + 30/L) \text{ t/m}$$

maka besar q adalah :

$$q = 1,1 \times (1 + 30/L)$$

$$q = 1,1 \times (1 + 30/82)$$

$$q = 1,1 \times 1,357$$

$$q = 1,49 \text{ t/m}$$

Beban hidup parameter lebar jembatan, dengan rumus :

$$\text{Beban terbagi rata (Q)} = \frac{q}{2,75}$$

$$\text{Beban garis (P)} = \frac{p}{2,75}$$

Untuk beban garis digunakan nilai $P = 12$ (menurut PPPJJR tahun 1987)

$$(Q) = \frac{1,49}{2,75}$$

$$= 0,542 \text{ t}$$

$$(P) = \frac{p}{2,75}$$

$$= 4,364 \text{ t}$$

Muatan merata diperhitungkan berdasarkan lebar lantai kendaraan. Lebar lantai jembatan = 3 meter

Ketentuan PPPJJR 1987 :

“Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,50 m, beban “D” sepenuhnya (100%) dibebankan pada lebar jalur 5,50 m. Sedangkan lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban “D” (50%)”

Sehingga besarnya muatan merata adalah :

$$q = (100\% \times q \times 5,50) + 2 (100\% \times q \times 8,95)$$

$$p = (100\% \times p \times 5,50) + 2 (100\% \times p \times 8,95)$$

dengan berat $Q = 0,542 \text{ t}$ dan $P = 4,364 \text{ T}$

$$q = (100\% \times q \times 5,50) + 2 (100\% \times q \times 8,95)$$

$$= 2,981 + 2(18,30)$$

$$= 39,581$$

$$p = (100\% \times p \times 5,50) + 2 (100\% \times p \times 8,95)$$

$$= 2,981 + 2(19,529)$$

$$= 42,039$$

$$Q = p \times l$$

$$= 39,581 \times 42,039$$

$$= 1663,946 \text{ t}$$

B. Beban Kejut

Untuk memperhitungkan beban kejut digunakan beban “P” dan “Q”.

Untuk beban “P” dikalikan dengan koefisien kejut.

$$K = 1 + \frac{20}{50+L}$$

keterangan :

K = koefisien kejut

L = panjang bentang

Nilai koefisien kejut sebesar :

$$K = 1 + \frac{20}{50+L}$$

$$K = 1 + \frac{20}{50+82}$$

$$= 1,149$$

Untuk beban “P” (beban garis) :

$$P = K \times P$$

$$= 1,149 \times 42,039$$

$$= 48,303 \text{ t}$$

Σ Beban Hidup :

a. “D” = 1663,946 t

b. “P” = 48,303 t +

$$= 1712,249 \text{ t} = \mathbf{17122,5 \text{ kN}}$$

Momen MH = Gaya x Jarak

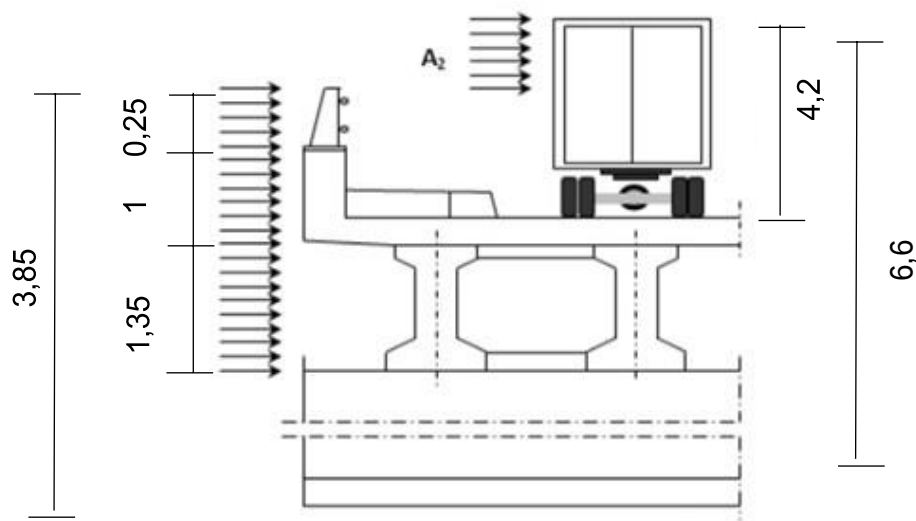
$$= 17122,5 \times 1,85$$

$$= \mathbf{31676,625 \text{ kNm}}$$

4.1.2.3 Beban Sekunder

A. Beban Angin

Pengaruh Tekanan angin sebesar 1,5 kPa pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal, terbagi rata pada bidang vertikal jembatan dalam arah tegak lurus sumbu memanjang. Tekanan angin: $P = 1,5 \text{ kPa} = 1,5 \text{ kN/}$



Gambar 4.5 Pembebanan Angin

Keadaan tanpa beban hidup untuk jembatan gelagar penuh diambil 100% luas sisi jembatan yang terkena angin, ditambah 50% luas bidang lainnya.

Luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin:

$$\begin{aligned} L_1 &= (1,35+1) \times 82 \\ &= 197,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$L2 = 0,25 \times 82$$

$$= 21 \text{ m}^2$$

Gaya angin yang bekerja :

$$A1 = [100\%(L1 \times P) + 50\% (L2 \times P)] / 2$$

$$= [100\%(197,4 \times 1,5) + 50\% (21 \times 1,5)] / 2$$

$$= (296,1 + 15,75) / 2$$

$$= 155,925 \text{ kN}$$

$$MA1 = A1 \times Y1$$

$$= 155,925 \times 3,85$$

$$= 600,311 \text{ kN/m}$$

Keadaan dengan beban hidup untuk jembatan diambil sebesar 50% terhadap luas bidang terhadap luas sisi jembatan.

$$L3 = (50\% L1) + (50\% L2)$$

$$= (50\% \times 197,4) + (50\% \times 21)$$

$$= 98,7 + 10,5$$

$$= 109,2 \text{ m}^2$$

$$L4 = (4,20 - 1,35) \times 82$$

$$= 239,4 \text{ m}^2$$

Gaya Angin yang bekerja:

$$A2 = [50\%(L3 \times P) + 100\%(L4 \times P)] / 2$$

$$= [50\%(109,2 \times 1,5) + 100\%(239,4 \times 1,5)] / 2$$

$$= [327,6 + 359,1] / 2$$

$$= 343,35 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 MA_2 &= A_2 \times Y_2 \\
 &= 343,35 \times 6,6 \\
 &= 2266,11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Beban Angin	Beban	Z (m)	Momen
A1	155,925	3,85	600,311
A2	343,35	6,6	2266,11
ΣA	499,275		2866,421

Tabel 4.1 Kombinasi Beban Angin

B. Gaya Rem

Pengaruh gaya rem yang diperhitungkan senilai atau sebesar 5% dan muatan D tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dan dalam satu jurusan.

$$\begin{aligned}
 R_m &= 5\% \times (P + \frac{1}{2} \times q \times l) \\
 &= 5\% \times (39,581 + \frac{1}{2} \times 42,039 \times 82) \\
 &= 5\% \times 1805,219 = \mathbf{90,261 \text{ Kn}}
 \end{aligned}$$

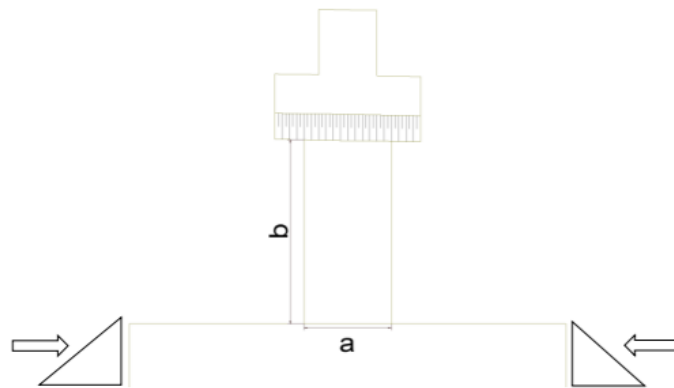
$$\begin{aligned}
 MR_m (\text{Gaya Rem}) &= 90,261 \times 4,35 \\
 &= \mathbf{392,635 \text{ kNm}}
 \end{aligned}$$

C. Gaya Akibat Gempa

$$\begin{aligned}
 GH &= 0,9 \times \text{Beban Mati} \\
 &= 0,9 \times 11146,078 \\
 &= \mathbf{10031,47 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{GH} &= 10031,47 \times 2,88 \\
 &= 28890,634 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

D. Gaya akibat tekanan tanah



Gambar 4.7 Skema Tekanan Tanah

Gaya terjadi pada pilecap yang berada dibawah permukaan tanah.

$$(\gamma) = 14,7 \text{ kN/m}^3$$

$$(c) = 22,359 \text{ kPa}$$

$$(\varphi) = 33,81^\circ$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

$$K_a = \frac{1 - \sin 33,81}{1 + \sin 33,81}$$

$$K_a = 0,285$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,285 \times 14,7 \times 3^2$$

$$= 18,853 \text{ kN}$$

$$M_a = P_a \times 6,6$$

$$= 18,853 \times 6,6$$

$$= 124,43 \text{ kNm}$$

$$K_p = 1 / K_a$$

$$= 1 / 0,285$$

$$= 3,509$$

$$P_p = 1,2 \times K_p \times \lambda \times H^2$$

$$= 1,2 \times 3,509 \times 14,7 \times 3,2$$

$$= 232,12 \text{ kN}$$

$$M_p = P_p \times 6,6$$

$$= 1532 \text{ kNm}$$

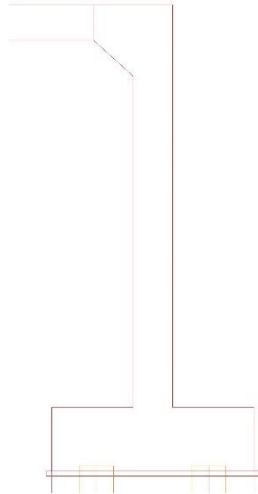
$$\text{Gaya Total} = K_a + K_p$$

$$= 250,973 \text{ kN}$$

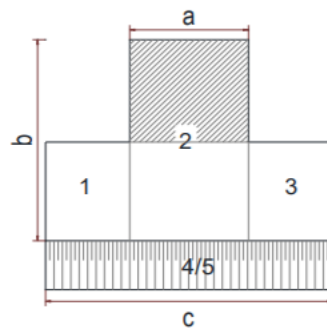
$$\text{Momen} = M_a + M_p$$

$$= 1656,43 \text{ kNm}$$

E. Beban akibat berat sendiri pilar



Gambar 4.8 Pilar



Gambar 4.9 Pier head

$$\begin{aligned}\text{Area 1} &= 1,5 \times 1,5 \times 13,6 \\ &= 30,6 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Area 2} &= 2,0 \times 4,0 \times 13,6 \\ &= 108,8 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Area 3} &= 1,4 \times 1,5 \times 13,6 \\ &= 28,56 \text{ m}^3\end{aligned}$$

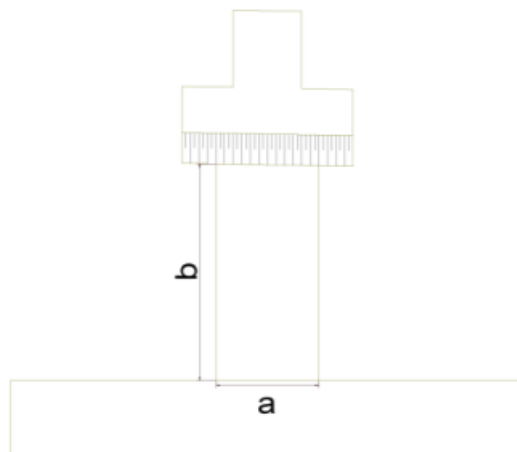
$$\begin{aligned}\text{Area 4} &= \frac{1}{2} (5+7) \times 5,00 \times 1,00 \\ &= 12 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Area 5} &= \frac{1}{2} (5+7) \times 5,00 \times 1,00 \\ &= 12 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{Area 1} + \text{Area 2} + \text{Area 3} + \text{Area 4} + \text{Area 5} \\ &= 191,96 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \text{Volume} \times \gamma \\ &= 191,96 \times 25 \\ &= 4799 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen} &= 4799 \times 6,8 \\ &= 32633,2 \text{ kNm}\end{aligned}$$



Gambar 4.10 Kolom

$$\begin{aligned}\text{Kolom 1} &= 1,5 \times 11,5 \times 1,25 \\ &= 21,56 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kolom 2} &= 1,5 \times 11,5 \times 1,25 \\ &= 21,56 \text{ m}^3\end{aligned}$$

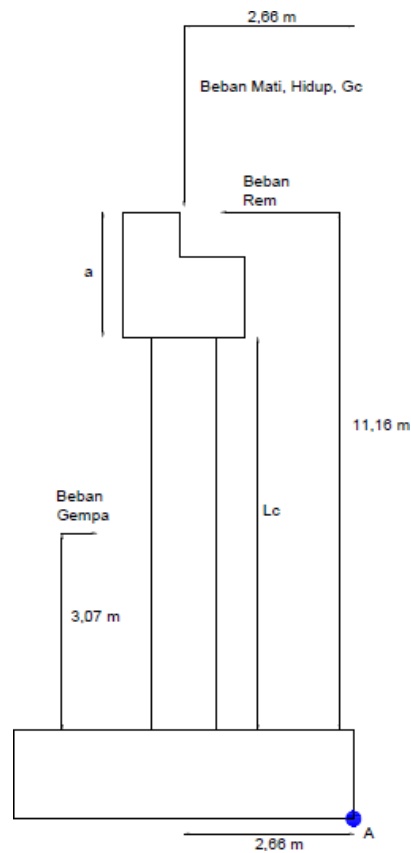
$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{Kolom 1} + \text{Kolom 2} \\ &= 43,12 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \text{Volume} \times \gamma \\ &= 43,12 \times 25 \\ &= 1078 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen} &= 1078 \times 1,5 \\ &= 1617 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\textbf{Beban Total Pilar (Gc)} &= \text{Berat Pierhead} + \text{Berat Kolom} \\ &= 4799 \text{ kN} + 1078 \text{ kN} \\ &= 5877 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\textbf{MGc} &= 32633,2 \text{ kNm} + 1617 \text{ kNm} \\ &= \textbf{34250,2 kNm}\end{aligned}$$



Gambar 4.11 Pembebanan pada Pilar

Sumber : (Mnoerilham,2008)

Panjang lengan terhadap dasar pier wall pada beban akibat berat sendiri, beban hidup, dan mati.

L = Jarak antara titik sentris dasar pierwall dengan titik tinjauan A $L = 2,66$ m

Panjang lengan terhadap dasar pier wall pada beban

akibat gaya rem $Y = L_c + a + hb$

$$= 6,14 + 1,95 + 3,07$$

$$= 11,16 \text{ m}$$

Panjang lengan terhadap dasar pier wall pada beban akibat gempa

Y = jarak antara titik berat pier dengan dasar pier wall

$$Y = 3,07 \text{ m}$$

4.1.3 Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan-kemungkinan pada setiap beban yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi yang bersangkutan dinaikan terhadap tegangan yang diizinkan sesuai keadaan elastis.

a. Kombinasi I $\{(M+(H+K) + Ta)\}$

$$\begin{aligned} V &= \{M + (H + K) + G_c + Ta\} \times 100\% \\ &= \{6024,907 + 17122,5 + 5877 + 250,973\} \times 100\% \\ &= 29275,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= (MM + MH+K + MG_c + MTa) \times 100\% \\ &= (11146,078 + 31676,625 + 34250,2 + 1656,43) \times 100\% \\ &= 78729,333 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Kombinasi II $(M + A)$

$$\begin{aligned} V &= (M + A + Ta) \times 125\% \\ &= (6024,907 + 499,275 + 250,973) \times 125\% \\ &= 8468,944 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= (MM + MA + MTa) \times 125\% \\ &= (11146,078 + 2866,421 + 1656,43) \times 125\% \\ &= 19586,161 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c. Kombinasi III (Kombinasi I + Rm + A)

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 \times 140\% \\
 &= 29275,38 \times 140\% \\
 &= 40985,532 \text{ kN} \\
 M &= (M_{y1} + M_{Rm} + M_A) \times 140\% \\
 &= (46194,06 + 392,635 + 2866,421) \times 140\% \\
 &= 69234,11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

d. Kombinasi IV (M + Ta + G_H)

$$\begin{aligned}
 V &= \{(M + T_a + G_H)\} \times 150\% \\
 &= \{6024,907 + 250,973 + 10031,47\} \times 150\% \\
 &= 24461,025 \text{ kN} \\
 M &= (M_M + M_{Ta} + M_{G_H}) \times 150\% \\
 &= (11146,078 + 1656,43 + 28890,634) \times 150\% \\
 &= 62539,713 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 4
V (kN)	29275,38	8468,944	40985,532	24461,025
M (kN.m)	78729,333	19586,161	69234,11	62539,713

Tabel 4.2 Kombinasi Beban

4.1.4 Penulangan Pilar

4.1.4.1 Penulangan Pilar Pierhead

- Tulangan Utama

$$h = 1250 \text{ mm}$$

$$D = 32 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - p - 1/2D \\ &= 1250 - 100 - 16 \\ &= 1134 \end{aligned}$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_u = \frac{62539,713}{\text{Lebar Pierhead}} = \frac{62539,713}{13,6} = 4598,508 \text{ kNm}$$

$$= 4598,508 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u / \phi = \frac{4598,508 \times 10^6}{0,8}$$

$$= 5748,135 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$C_b = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} \times d$$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 420/200000} \times 1134$$

$$= 667,059 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned}
 a &= \beta_1 \times C_b \\
 &= 0,85 \times 667,059 \\
 &= 567 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{M_n}{f_y \left(dx - \frac{q}{2}\right)} \\
 &= \frac{5748,135 \times 10^6}{420 \left(1134 - \frac{567}{2}\right)} \\
 &= 8737,391 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ I buah} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2 \\
 &= 803,84 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{8737,391}{803,84} \\
 &= 17,86 = 18 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

- Cek rasio penulangan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_{sperlu}}{b \times d} \\
 &= \frac{8737,391}{1250 \times 1134} \\
 &= 0,0062
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,85 \times \frac{0,85 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,0304
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{maks} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0304 \\
 &= 0,0228
 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0062 < 0,0228 \dots \dots \text{OK}$$

Jarak spasi Tulangan (s)

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times S}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2 \times 1250}{8737,391} \\ &= 115 \text{ mm} \end{aligned}$$

Spasi Tulangan maksimum :

$$S \leq (2 \times h = 2 \times 1250 = 2500 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 100 \text{ mm} (< 115 \text{ mm})$ **OK**

$$\begin{aligned} A_{s \text{ terpasang}} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2 \times 1250}{100} \\ &= 10048 > A_{s \text{ perlu}} = 8737,391 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan $A_{s \text{ perlu}} 8737,391 \text{ mm}^2$ serta $A_{s \text{ untuk satu buah tulangan}} 803,84 \text{ mm}^2$, maka sesuai dengan table A-40 SNI 1991 tulangan yang digunakan adalah 18D32 dengan $A_{s \text{ terpasang}} = 10048 \text{ mm}^2$

- Tulangan Sengkang

$$h = 1350 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$dx = h - p - 1/2D$$

$$= 1350 - 100 - 8$$

$$= 1242 \text{ mm}$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_u = \frac{62539,713}{\text{Lebar Pierhead}} = \frac{62539,713}{13,6} = 4598,508 \text{ kNm}$$

$$= 4598,508 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u / \phi = \frac{4598,508 \times 10^6}{0,8}$$

$$= 5748,135 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$C_b = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} \times d$$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 420/200000} \times 1242$$

$$= 730,588 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \times c_b$$

$$= 0,85 \times 730,588$$

$$= 621 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_n}{f_y \left(d x - \frac{x^2}{2} \right)}$$

$$= \frac{5748,135 \times 10^6}{420 \left(1242 - \frac{621^2}{2} \right)}$$

$$= 1352,509 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ I buah} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2$$

$$= 200,96 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{1352,509}{200,96}$$

$$= 6,7 = 7 \text{ batang}$$

- Cek rasio penulangan

$$\rho = \frac{A_{sperlu}}{b.d}$$

$$= \frac{1352,509}{1350 \times 1242}$$

$$= 0,0008$$

$$\rho_b = \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,85 \times \frac{0,85 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,0304$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0304$$

$$= 0,0228$$

$$\rho < \rho_{maks}$$

$$0,0008 < 0,0228 \dots \dots \dots \text{ok}$$

Jarak spasi Tulangan (s)

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times S}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 1350}{1352,509}$$

$$= 200,587 \text{ mm}$$

Spasi Tulangan maksimum :

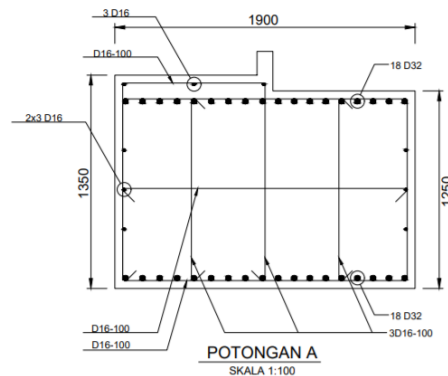
$$S \leq (2 \times h = 2 \times 1350 = 2700 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan s = 200 mm (<200,587 mm) **OK**

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 1350}{200}$$

$$= 1356,48 > A_s \text{ perlu} = 1352,509$$

Dengan menggunakan A_s perlu 1352,509 mm² serta A_s untuk satu buah tulangan 200,96 mm², maka sesuai dengan table A-40 SNI 1991 tulangan yang digunakan adalah 7D16 – 200 dengan A_s terpasang = 1356,48 mm².



Gambar 4.12 Penulangan Pierhead

4.1.4.2 Penulangan Kolom

- Tulangan Utama

$$h = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$dx = h - p - 1/2D$$

$$= 1500 - 100 - 16$$

$$= 1384$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_u = \frac{62539,713}{\text{Lebar kolom}} = \frac{62539,713}{1,5} = 41693,142 \text{ kNm}$$

$$= 4169,142 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u/\phi = \frac{41693,142 \times 10^6}{0,8}$$

$$= 5211,428 \times 10^6$$

$$C_b = \frac{0,003}{0,003+420/200000} \times 1384$$

$$= 814,118 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \times c_b$$

$$= 0,85 \times 814,118$$

$$= 692 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_n}{f_y \left(dx - \frac{a}{2}\right)}$$

$$= \frac{5211,428 \times 10^6}{420 \left(1384 - \frac{692}{2}\right)}$$

$$= 11954,059 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ I buah} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2$$

$$= 803,84 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{11954,059}{803,84}$$

$$= 14,87 = 15 \text{ batang}$$

- Cek rasio penulangan

$$\rho = \frac{A_{sperlu}}{b.d}$$

$$= \frac{11954,059}{1500 \times 1384}$$

$$= 0,00576$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \frac{0,85 \times 30}{420} \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0304\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{maks} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0304 \\ &= 0,0228\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{maks}$$

$$0,00576 < 0,0228 \dots \dots \dots \text{ok}$$

Jarak spasi Tulangan (s)

$$\begin{aligned}S &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times S}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2 \times 1500}{11954,059} \\ &= 150,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Spasi Tulangan maksimum :

$$S \leq (2 \times h = 2 \times 1500 = 3000 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 100 \text{ mm} (< 150,7 \text{ mm})$ **OK**

$$\begin{aligned}A_s \text{ terpasang} &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2 \times 1500}{100} \\ &= 12057,6 > A_s \text{ perlu} = 11954,059\end{aligned}$$

Dengan menggunakan A_s perlu 11954,059 mm² serta A_s untuk satu buah tulangan 803,84 mm², maka sesuai dengan table A-40 SNI 1991 tulangan yang digunakan adalah 15D32 – 100 dengan A_s terpasang = 12057,6 mm²

- Tulangan sengkang

$$h = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - p - 1/2D \\ &= 1500 - 100 - 8 \\ &= 1392 \end{aligned}$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{62539,713}{\text{Lebar kolom}} = \frac{62539,713}{1,5} = 41693,142 \text{ kNm} \\ &= 4169,142 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi = \frac{41693,142 \times 10^6}{0,8} \\ &= 5211,428 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{0,003}{0,003 + 420/200000} \times 1392 \\ &= 818,824 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c_b \\ &= 0,85 \times 818,824 \\ &= 696 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{M_n}{f_y \left(dx - \frac{q}{2}\right)} \\
 &= \frac{5211,428 \times 10^6}{420 \left(1392 - \frac{696}{2}\right)} \\
 &= 1288,154
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ I buah} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\
 &= 200,96
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{1288,153}{200,96} \\
 &= 6,41 = 7 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

- Cek rasio penulangan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \cdot d} \\
 &= \frac{1288,153}{1500 \times 1392} \\
 &= 0,0006
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,85 \frac{0,85 \times 30}{420} \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,0304
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{maks} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0304 \\
 &= 0,0228
 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{maks}$$

$$0,0006 < 0,0228 \dots \dots \dots \text{ok}$$

Jarak spasi Tulangan (s)

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times S}{As \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 1500}{1288,154}$$

$$= 234,009 \text{ mm}$$

Spasi Tulangan maksimum :

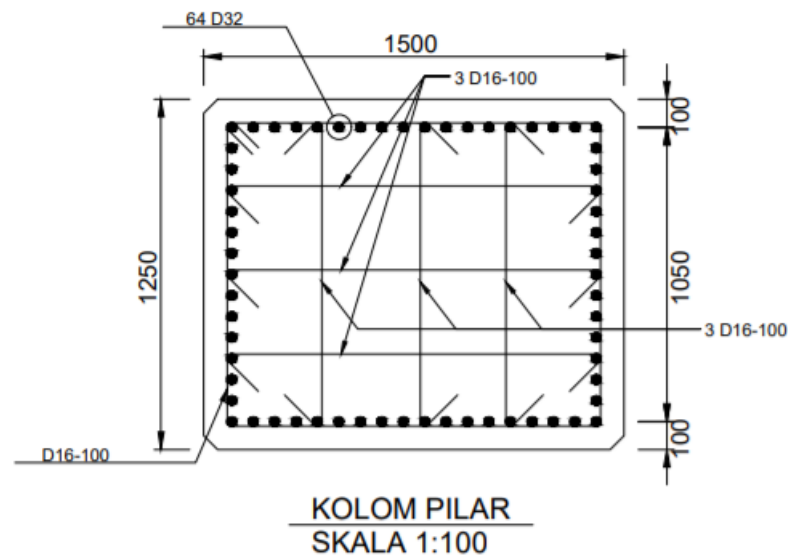
$$S \leq (2 \times h = 2 \times 1500 = 3000 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 100 \text{ mm}$ (234,009 mm) **OK**

$$As \text{ terpasang} = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 1500}{100}$$

$$= 2014,4 > As \text{ perlu} = 1288,154$$

Dengan menggunakan As perlu 1288,154 mm² serta As untuk satu buah tulangan 200,96 mm², maka sesuai dengan table A-40 SNI 1991 tulangan yang digunakan adalah 7D16 – 100 dengan As terpasang = 2014,4 mm²



Gambar 4.13 Penulangan Kolom

4.1.4.3 Penulangan Pilecap

- Tulangan Utama

$$h = 2500 \text{ mm}$$

$$d = 19 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - p - 1/2D \\ &= 1500 - 100 - 9,5 \\ &= 2390,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{62539,713}{\text{Lebar pilecap}} = \frac{62539,713}{9,5} = 6583,128 \text{ kNm} \\ &= 6583,128 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi = \frac{6583,128 \times 10^6}{0,8} \\ &= 8228,91 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{0,003}{0,003 + 420/200000} \times 2390,5 \\ &= 1406,177 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c_b \\ &= 0,85 \times 1406,177 \\ &= 1195,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s = \frac{M_n}{f_y \left(dx - \frac{a}{2}\right)}$$

$$= \frac{8228,91 \times 10^6}{420(2390,5 - \frac{1195,25}{2})}$$

$$= 2781,91 \text{ mm}^2$$

$$\text{As I buah} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2$$

$$= 283,385 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{2781,91}{283,385}$$

$$= 9,82 = 10 \text{ batang}$$

- Cek rasio penulangan

$$\rho = \frac{A_{\text{perlu}}}{b.d}$$

$$= \frac{2781,91}{2500 \times 2390,5}$$

$$= 0,00004$$

$$\rho_b = \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,85 \times \frac{0,85 \times 30}{420} \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,0304$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0304$$

$$= 0,0228$$

$$\rho < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,00004 < 0,0228 \dots \text{ok}$$

Jarak spasi Tulangan (s)

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times S}{A_{\text{perlu}}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 2500}{2781,91}$$

$$= 254,668 \text{ mm}$$

Spasi Tulangan maksimum :

$$S \leq (2 \times h = 2 \times 1500 = 3000 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 200 \text{ mm}$ (254,668 mm) **OK**

$$\text{As terpasang} = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 2500}{200}$$

$$= 3542,313 > \text{As perlu} = 2781,91$$

Dengan menggunakan As perlu 2781,91 mm² serta As untuk satu buah tulangan 283,385 mm², maka sesuai dengan table A-40 SNI 1991 tulangan yang digunakan adalah 10D19 – 200 dengan As terpasang = 3542,313 mm²

- Tulangan Sengkang

$$h = 4500 \text{ mm}$$

$$d = 19 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$dx = h - p - 1/2D$$

$$= 4500 - 100 - 9,5$$

$$= 4390,5 \text{ mm}$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_u = = \frac{62539,713}{\text{Lebar pilecap}} = \frac{62539,713}{9,5} = 6583,128 \text{ kNm}$$

$$= 6583,128 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u/\phi = \frac{6583,128 \times 10^6}{0,8}$$

$$= 8228,91 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$C_b = \frac{0,003}{0,003+420/200000} \times 4390,5$$

$$= 2582,647 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \times c_b$$

$$= 0,85 \times 2582,647$$

$$= 2195,25 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_n}{f_y \left(dx - \frac{a}{2}\right)}$$

$$= \frac{8228,91 \times 10^6}{420 \left(4390,5 - \frac{2195,25}{2}\right)}$$

$$= 6202,902 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ I buah} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2$$

$$= 283,385 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{6202,902}{283,385}$$

$$= 21,89 = 22 \text{ batang}$$

- Cek rasio penulangan

$$\rho = \frac{A_{sperlu}}{b.d}$$

$$= \frac{6202,902}{4500 \times 4390,5}$$

$$= 0,00031$$

$$\rho_b = \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,85 \times \frac{0,85 \times 30}{420} \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,0304$$

$$P_{maks} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0304$$

$$= 0,0228$$

$$\rho < \rho_{maks}$$

$$0,00031 < 0,0228 \dots \dots \dots \text{ok}$$

Jarak spasi Tulangan (s)

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times S}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 4500}{6202,902}$$

$$= 205,586 \text{ mm}$$

Spasi Tulangan maksimum :

$$S \leq (2 \times h = 2 \times 4500 = 9000 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 200 \text{ mm} (< 205,586 \text{ mm})$ **OK**

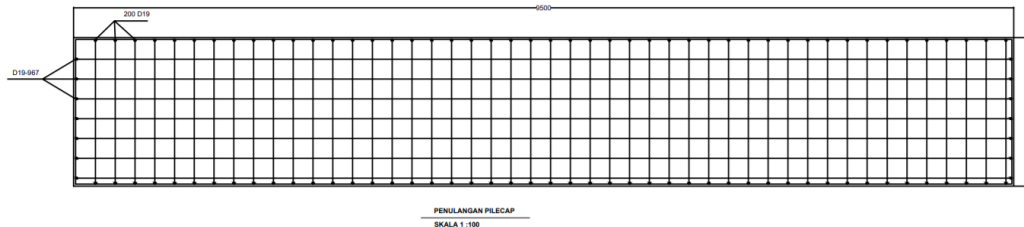
$$A_s \text{ terpasang} = \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 4500}{200}$$

$$= 6376,162 > A_s \text{ perlu} = 6202,902$$

Dengan menggunakan A_s perlu $6202,902 \text{ mm}^2$ serta A_s untuk satu buah

tulangan $283,385 \text{ mm}^2$, maka sesuai dengan table A-40 SNI 1991

tulangan yang digunakan adalah 22D19 – 200 dengan As terpasang = 6376,162 mm².



Gambar 4.14 Penulangan Pilecap

4.2 Perhitungan Bore Pile

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis terhadap daya dukung pondasi tunggal dan kelompok tiang dari data sifat dan karakteristik tanah dan *Standart Penetration Test* (SPT). Data - data yang digunakan diperoleh dari hasil pelaksanaan di lapangan dan beberapa literatur.

4.2.1 Data Pondasi Borepile

4.2.1.1 Data Bahan

Mutu beton	(K)	= 350
Kuat tekan beton	(fc')	= 30 Mpa
Mutu baja tulangan	(BJTS)	= 420B
Tegangan leleh baja	(fy)	= 420 Mpa
Modulus elastis beton	(Ec)	= 25310 Mpa
Berat beton bertulang	(Wc)	= 25 Mpa

4.2.1.2 Dimensi Borepile

Diameter	(D)	= 1 m
Panjang	(L)	= 16,00 m
Jumlah borepile arah X	(n_x)	= 2
Jumlah borepile arah Y	(n_y)	= 5
Jarak antar borepile arah X	(X)	= 2,00 m
Jarak antar borepile arah Y	(Y)	= 2,80 m

4.2.1.3 Dimensi Pilecap

Lebar arah X	(B_x)	= 13,6 m
Lebar arah Y	(B_y)	= 9,50 m
Tinggi	(h)	= 1,50 m

4.2.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Tunggal

4.2.2.1 Berdasarkan Kekuatan Bahan

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan beton (f}_c\text{)} &= 30 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan ijin beton (f}_c'\text{)} &= 0,3 \times f_c \times 1200 \\ &= 0,3 \times 30 \times 1200 \\ &= 10800 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Luas penampang borepile

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,0^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Keliling Borepile

$$K = \pi \times D$$

$$= 3,14 \times 1,0$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

Berat Borepile

$$W = A \times L \times W_c$$

$$= 0,785 \times 16 \times 25$$

$$= 314 \text{ kN}$$

Daya dukung ijin Borepile

$$(P \text{ ijin}) = A \times f_c' - W_c$$

$$= 0,785 \times 10800 - 314$$

$$= \mathbf{8164 \text{ kN}}$$

4.2.2.2 Berdasarkan Kekuatan Tanah

- **Menurut Terzhaghi**
- Berat tanah diambil dari data terdalam (γ) = 15,49 kN/m³
- Kohesi diambil dari data terdalam (c) = 47,35 kPa
- Sudut geser diambil dari data terdalam (ϕ) = 36°
- Safety Factor = 2

Nilai faktor daya dukung di ujung tanah (end bearing) dapat dilihat pada gambar 4.10

ϕ	N_c	N_q	$N_\gamma(H)$	$N_\gamma(M)$	$N_\gamma(V)$
0	5.14	1.0	0.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9
40	72.25	64.1	79.4	93.6	109.4
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3
50	266.50	318.50	567.4	871.7	762.84

Note: N_c and N_q are the same for all the three methods. Subscripts identify the author for N_γ .

Gambar 4.15 Nilai Faktor Daya Dukung

Berdasarkan nilai sudut geser tanah dari tabel didapat nilai parameter kekuatan tanah sebagai berikut :

$$N_c = 50,55$$

$$N_q = 37,7$$

$$N_\gamma = 40$$

- Daya dukung tanah

$$\begin{aligned}
 q_{ult} &= 1,3 \times C \times N_c + \gamma \times Df \times N_q + 0,3 \times b \times N_\gamma \\
 &= 1,3 \times 47,345 \times 50,55 + 15,49 \times 32 \times 37,7 + 0,3 \times 0,6 \times 40 \\
 &= 21805,61 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Daya dukung ijin borepile

$$\begin{aligned}
 P_{ijin} &= k \times q_{ult} / F \\
 &= 1,884 \times 21805,61 / 3 \\
 &= 1369,42 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Menurut Meyerhof

Luas dasar tiang (A_b)

$$\begin{aligned} A_s &= \pi \times D \times L \\ &= 3,14 \times 1,0 \times 16 \\ &= 50,24 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Menentukan nilai N pada tanah sekitar dasar tiang (N_b) berdasarkan nilai SPT.

8D diatas tiang

$$\begin{aligned} 8 \times 1,00 &= 8 \text{ m diatas tiang} \\ &= 16 - 8 \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$N_{b1} = 60 + 60 + 60 + 60 / 4 = 60$$

4D Dibawah tiang

$$\begin{aligned} 4 \times 1,00 &= 4 \text{ m di bawah tiang} \\ &= 16 - 4 \\ &= 12 \end{aligned}$$

$$N_{b2} = 60 + 60 / 2 = 60$$

$$\begin{aligned} N_b &= N_{b1} + N_{b2} / 2 \\ &= 60 + 60 / 2 = 60 \end{aligned}$$

Menentukan nilai N rata – rata di sepanjang tiang (N)

$$\begin{aligned} N &= 4 + 6 + 4 + 30 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 + 60 / 15 \\ &= 46,19 \end{aligned}$$

Menghitung nilai kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= 40 \times N_b \times A_b + 1/5 \times N \times A_s \\ &= 40 \times 60 \times 0,785 + 1/5 \times 46,19 \times 50,24 \\ &= 1884 + 464,117 \\ &= 2348,117 \text{ ton} \end{aligned}$$

Menghitung nilai kapasitas dukung ijin tiang satu borepile (Q_a)

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_u / 2 \\ &= 2348,117 / 2 \\ &= 1174,059 \text{ ton} \end{aligned}$$

Menghitung jumlah tiang (n)

$$\begin{aligned} &= \frac{p}{Q_{all}} \\ &= \frac{8164}{1174,059} \\ &= 6,95 \sim 20 \text{ tiang} \end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Efisiensi dan Beban Maksimum Pondasi Borepile

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= 1,5D - 3D \\ &= 1,5 \times 100 - 3 \times 100 \\ &= 150 - 300 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil jarak} = 250 \text{ cm}$$

Direncanakan denah pondasi borepile seperti berikut :

$$n = 5, m = 4$$

$$\mu = 1 - \frac{((n-1)m + (m-1)n)}{90 \times m \times n}$$

$$= 1 - \frac{(5-1)4 + (4-1)5}{90 \times 4 \times 5}$$

$$= 1 - 0,017$$

$$= 0,983$$

$$\emptyset = \arctan \frac{D}{5}$$

$$= \text{Arc tan } \frac{100}{200}$$

$$= 26,33^\circ$$

Daya dukung borepile dalam kelompok (QA'')

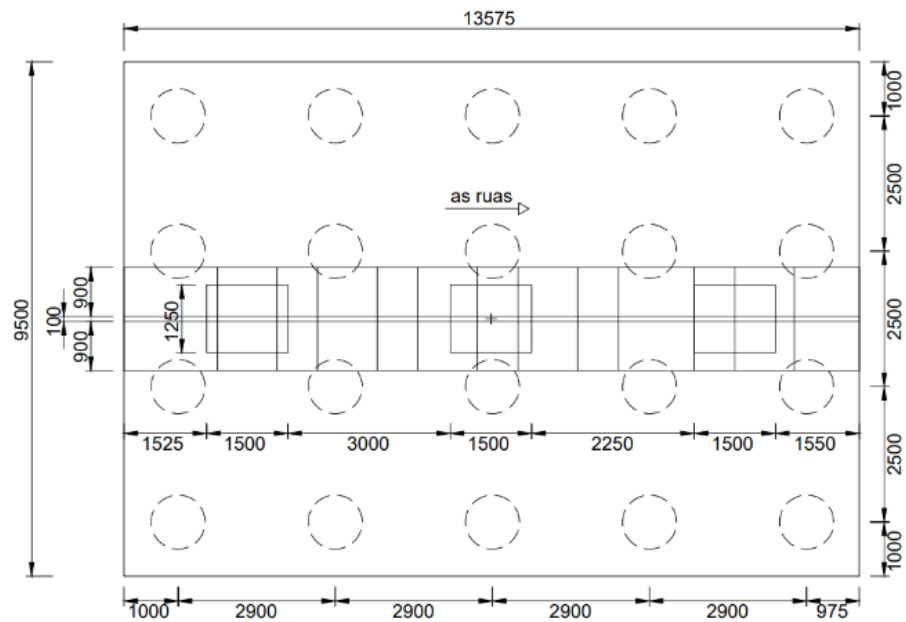
$$QA'' = \mu \times Q_{all} \times 36$$

$$= 0,9863 \times 1174,059 \times 10$$

$$= 11576,222 \text{ ton}$$

Syarat : $QA'' > P$

$$11576,222 \text{ ton} > 8164 \text{ ton (AMAN)}$$



Gambar 4.16 Denah Pondasi *Borepile*

Jadi, digunakan pondasi Borepile dengan diameter 1 meter dengan jumlah 20 tiang.

4.2.4 Perhitungan Penulangan Pondasi Borepile

D = 1000 mm

D tulangan utama = D25

D sengkang = D16-100

F_c = 30 MPa

f_y = 420 MPa

Selimut beton = 150 mm

d' = 2 x (selimut beton)

= 2 x 150

$$= 300$$

$$D = 1000 - 300$$

$$= 700 \text{ mm}$$

$$A_{st} = 28 \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \right)$$

$$= 13744,47 \text{ mm}^2$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1000^2$$

$$= 785398,16 \text{ mm}^2$$

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$= \frac{13744,47}{785398,16}$$

$$= 0,0175$$

Dengan $\rho = 0,0175$

$$A_s = \rho \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \right)$$

$$= 0,0175 \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 700^2 \right)$$

$$= 6731,375 \text{ mm}^2$$

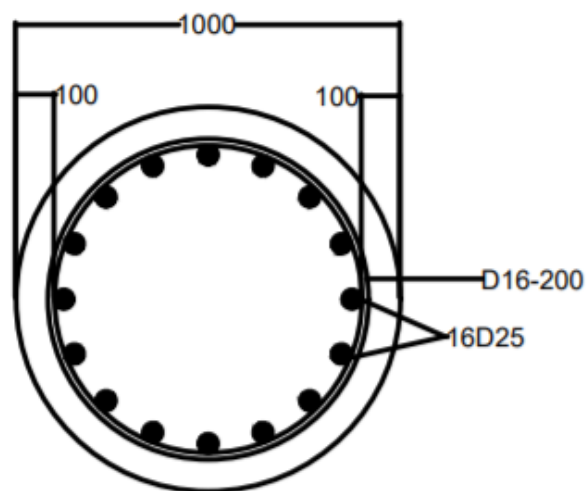
$$A_{s \text{ tul}} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2$$

$$= 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{6731,375}{490,87} \\
 &= 13,713 = 16 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

Maka jumlah tulangan D25 yang dibutuhkan adalah **16 batang**.

Digunakan sengkang spiral **D16 – 200**.



Gambar 4.17 Penulangan *Borepile*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis membatasi pembahasan pada peninjauan ulang struktur bawah, meliputi pilar dan borepile.
2. Berdasarkan perhitungan pembebanan pilar menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) tahun 1987 dengan total kombinasi pembebanan 24461,025 kN digunakan tulangan D32 – 100 dan D16 – 200 pada pierhead, sedangkan penulangan pada kolom digunakan tulangan D32 – 100 dan D16 – 100.
3. Berdasarkan perhitungan daya dukung pondasi digunakan pondasi borepile diameter 1 meter dengan panjang 16 meter. Dengan daya dukung 2946,1 kN, digunakan tulangan utama D25 dengan jumlah 16 batang dan tulangan sengkang spiral D16 – 200.

5.2 Saran

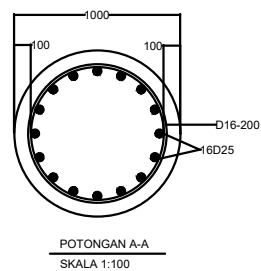
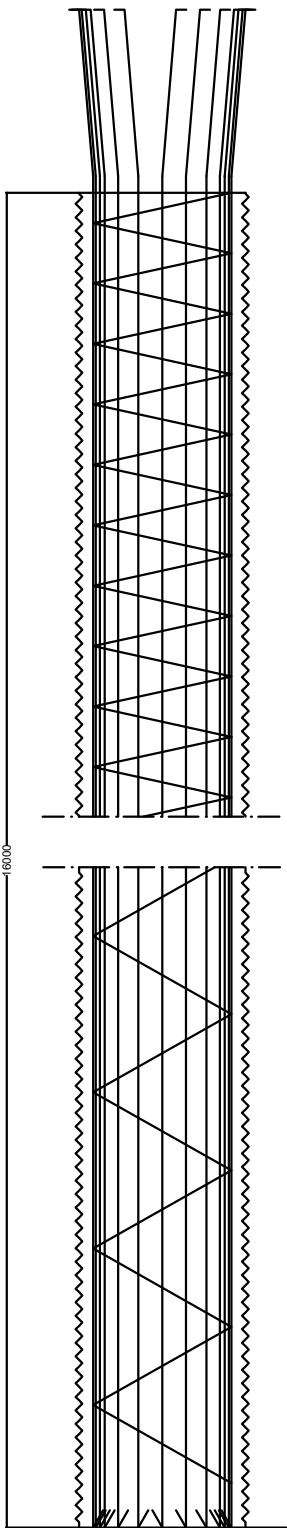
1. Perencanaan struktur jembatan tidak hanya berpedoman pada ilmu tetapi dipertimbangkan pula pada pedoman yang biasa dilaksanakan di lapangan.
2. Kelengkapan data mutlak dalam merencanakan suatu konstruksi jembatan sehingga perencanaan bisa lebih mendekati kondisi sebenarnya.
3. Ikuti ketentuan dalam peraturan-peraturan perencanaan struktur, sehingga didapat nilai yang paling ekonomis.

4. Estimasi beban dan analisa statika harus benar, agar didapatkan suatu konstruksi yang aman dan memenuhi syarat seperti yang telah ditentukan dalam perencanaan.
5. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, maka dibutuhkan pemahaman yang menyeluruh tentang tahap-tahap dalam proses peninjauan, dan teori-teori yang didapat di bangku kuliah harus selalu dikembangkan.

Demikian saran yang dapat penyusun berikan, semoga Tugas Akhir dari peninjauan pembangunan jembatan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Manu, Agus Iqbal. 1995. *Dasar - Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. Jakarta : PT. Mediatama Sapta Karya.
- SKBI-1.3.28.1987. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.



PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

TUGAS AKHIR

GAMBAR

PENULANGAN BORE PILE

SKALA

1:100

DOSEN PEMBIMBING

ASRI NURDIANA,ST.,MT.

PARAF

DIGAMBAR OLEH :

REYHAN IRFAN FAUZAN
40030118060082

CATATAN



PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

TUGAS AKHIR

GAMBAR

PENULANGAN PIERHEAD,
KOLOM

SKALA

1:100

DOSEN PEMBIMBING

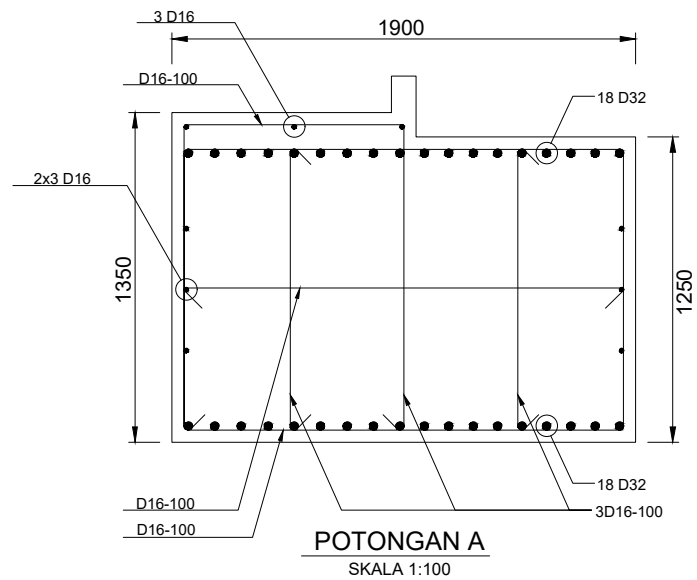
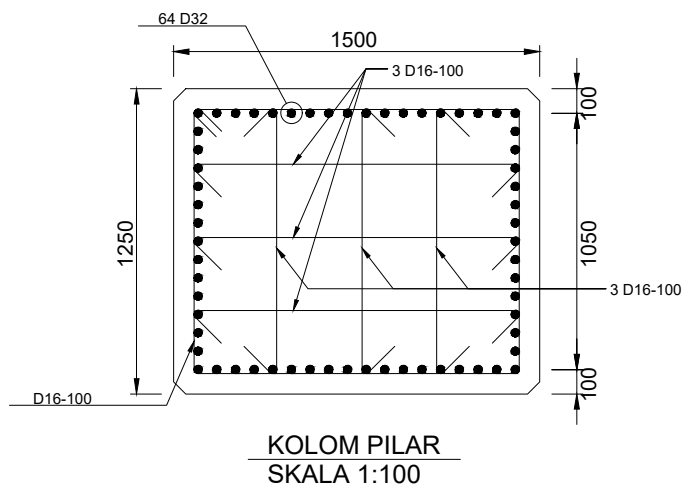
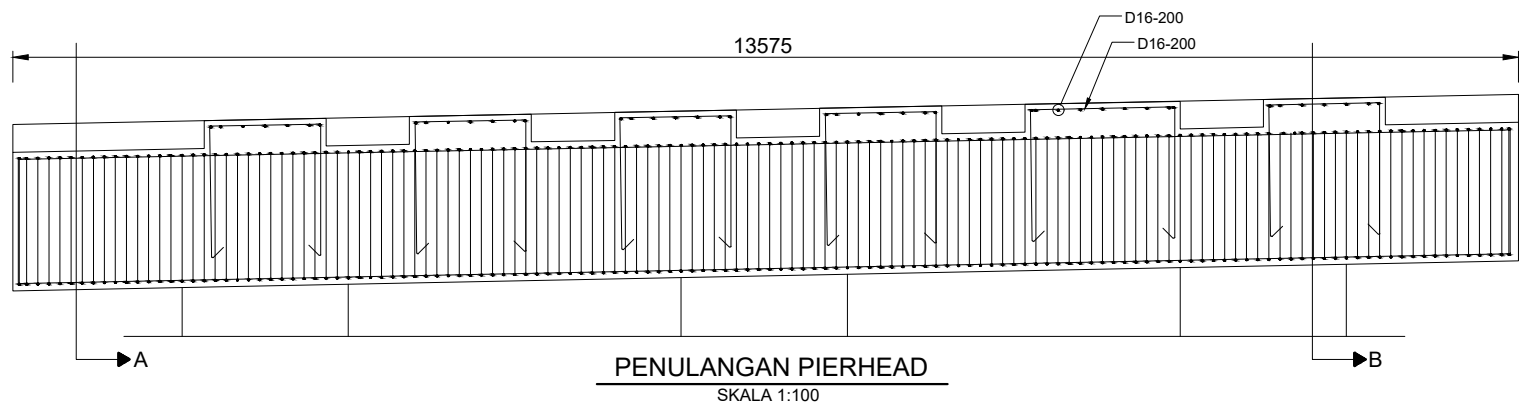
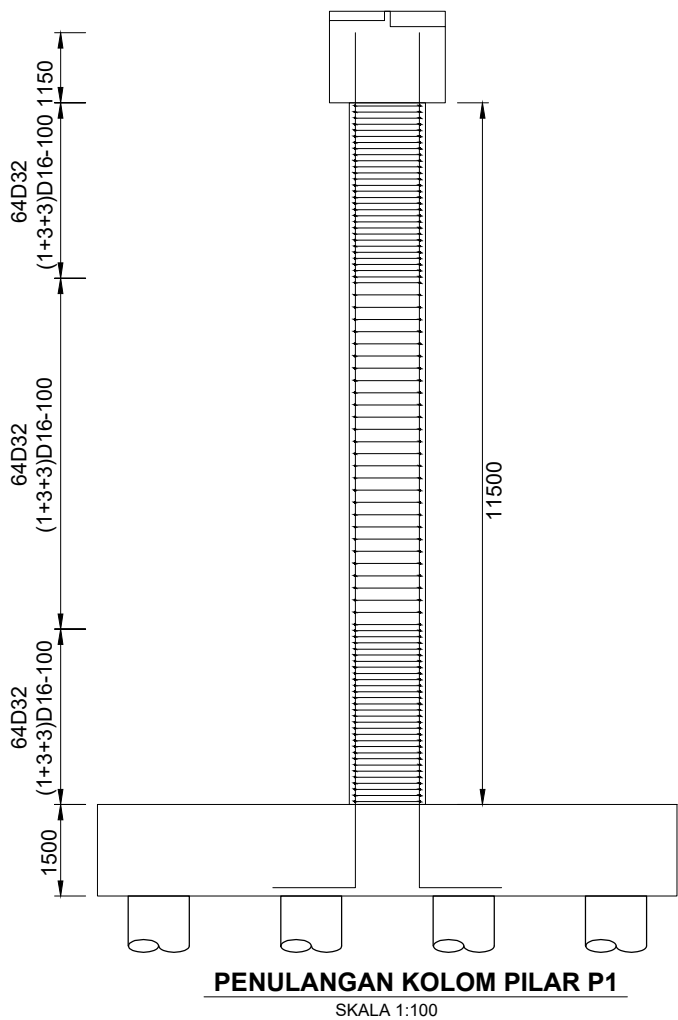
ASRI NURDIANA,ST.,MT.

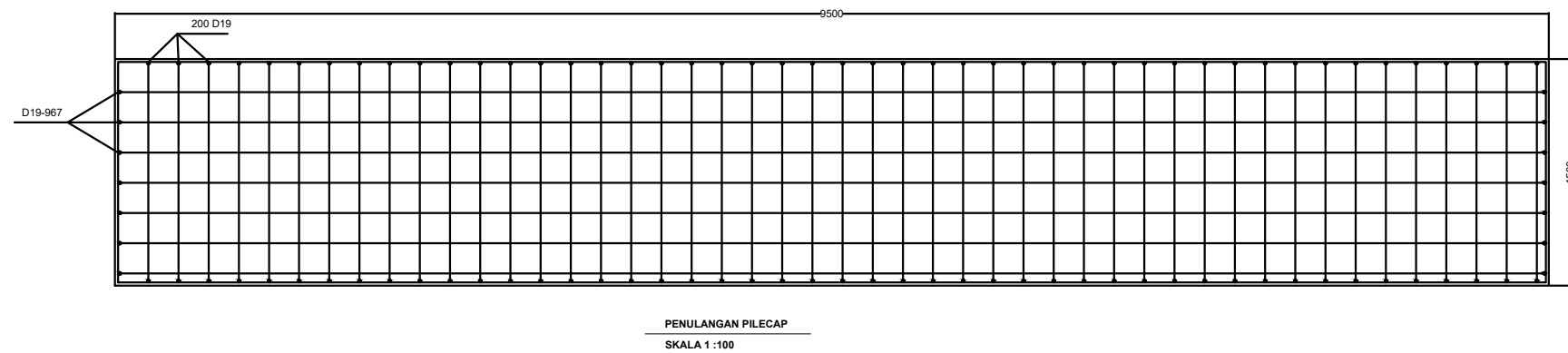
PARAF

DIGAMBAR OLEH :

REYHAN IRFAN FAUZAN
40030118060082

CATATAN





PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

TUGAS AKHIR

GAMBAR

PENULANGAN PILECAP

SKALA

1:100

DOSEN PEMBIMBING

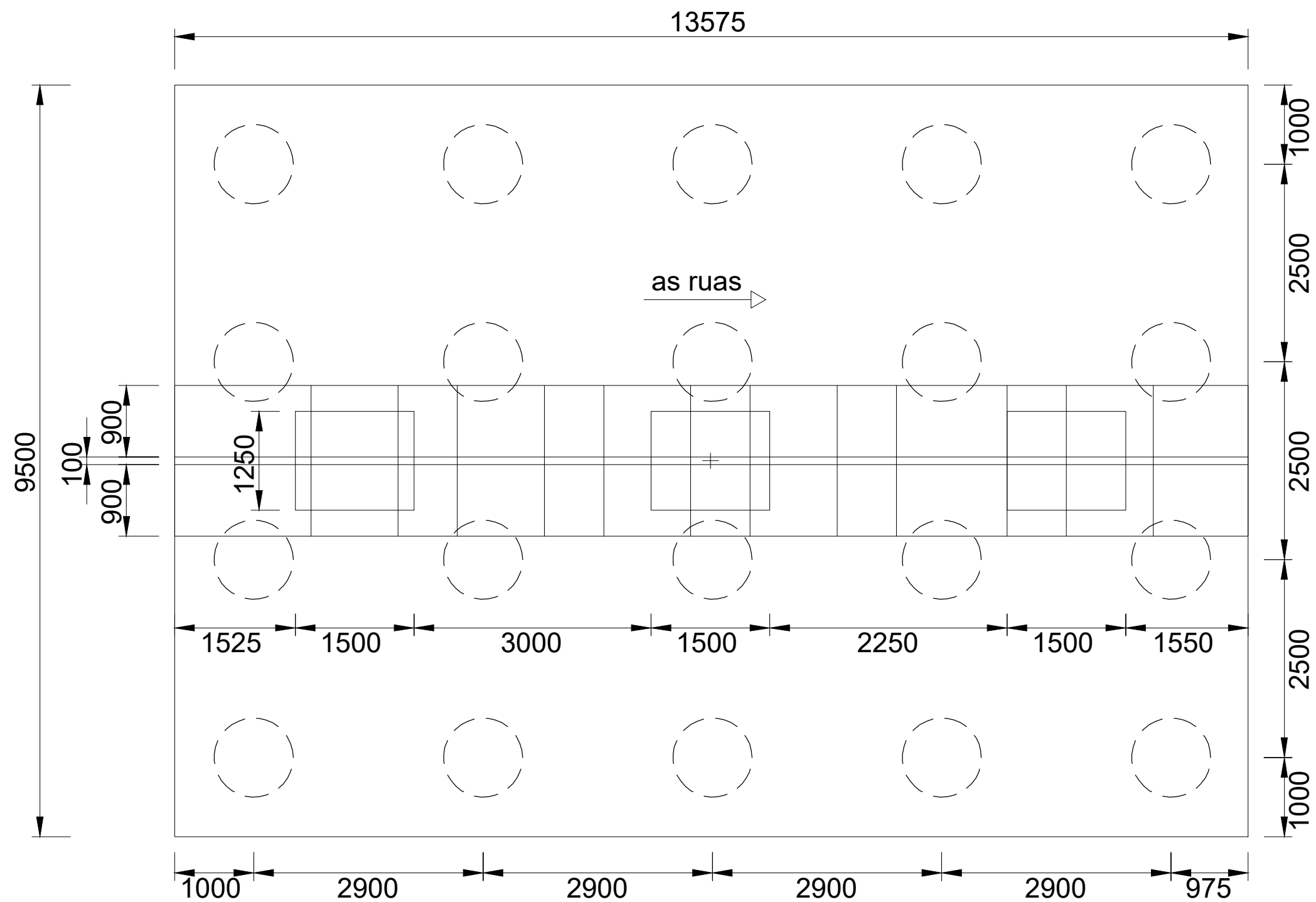
ASRI NURDIANA,ST.,MT.

PARAF

DIGAMBAR OLEH :

REYHAN IRFAN FAUZAN
40030118060082

CATATAN



DENAH PILAR P1
SKALA 1:100



PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

TUGAS AKHIR

GAMBAR

DENAH BORE PILE

SKALA

1:100

DOSEN PEMBIMBING

ASRI NURDIANA,ST.,MT.

PARAF

DIGAMBAR OLEH :

REYHAN IRFAN FAUZAN
40030118060082

CATATAN