

**Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum
No. 02/SE/M/2010**

tentang

**Pemberlakukan Pedoman Perencanaan dan
Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk
Pejalan Kaki**



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM



**MENTERI PEKERJAAN UMUM
REPUBLIK INDONESIA**

Jakarta, 17 Februari 2010

Kepada yang terhormat,

- 1) Gubernur di seluruh Indonesia
- 2) Bupati dan Walikota di seluruh Indonesia
- 3) Seluruh Pejabat Eselon I di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum
- 4) Seluruh Pejabat Eselon II di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum

Perihal : **Pemberlakuan Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki**

SURAT EDARAN

Nomor: 02/SE/M/2010

Dalam rangka melaksanakan Pasal 78, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan, perlu penetapan pedoman penyelenggaraan jalan mengenai perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki dengan ketentuan sebagai berikut:

I. UMUM

Surat Edaran ini diterbitkan untuk menjadi acuan bagi perencana dan/atau pelaksana dalam merencanakan dan/atau melaksanakan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki.

Tujuan ditetapkan pedoman ini adalah agar suatu konstruksi jembatan gantung pejalan kaki dapat memenuhi faktor-faktor yang diperlukan dalam desain, konstruksi hingga pemeliharaan.

Pemberlakuan Surat Edaran ini bagi Pejabat Eselon I dan Eselon II di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum untuk digunakan sebagaimana mestinya, sedangkan bagi Gubernur dan Bupati / Walikota di seluruh Indonesia agar dapat digunakan sebagai acuan sesuai kebutuhan.

II. MATERI MUATAN

Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki memuat perencanaan dan pelaksanaan termasuk pemeliharaan bangunan atas, bangunan bawah dan fondasi jembatan gantung untuk lalu lintas pejalan kaki dengan bentang utama maksimum 120 m.

Berikut kriteria perencanaan yang perlu dipertimbangkan untuk memastikan jembatan pejalan kaki aman, yaitu:

1. kekuatan,
2. lendutan,
3. berat dinamik.

Tahapan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki terdiri dari pembuatan blok angkur, pembuatan blok perletakan menara, pembuatan fondasi menara, pemasangan kabel utama dan pelana, pemasangan batang penggantung, pemasangan gelagar melintang dan memanjang, penyetelan kabel-kabel utama pada blok angkur, penyetelan tegangan kabel-kabel utama pada blok angkur, dan pemasangan kabel angin.

Pemeliharaan jembatan dilaksanakan 2 (dua) cara, yaitu pemeliharaan jembatan secara rutin dan berkala. Pemeliharaan rutin dilakukan pada bagian blok angkur, menara, kabel utama dan batang penggantung dan bentang utama jembatan. Hal-hal yang dilakukan dalam pemeliharaan jembatan berkala adalah pemeriksaan mur agar tetap bersih dan bebas karat, pemeriksaan klem-klem batang penggantung dan pengecatan baja paling singkat 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) tahun.

Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki dimuat secara lengkap dalam Lampiran, dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dengan Surat Edaran Menteri ini.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.


MENTERI PEKERJAAN UMUM,

DJOKO KIRMANTO

LAMPIRAN
SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
NOMOR: 02/SE/M/2010
TANGGAL: 17 Februari 2010

Daftar Isi

Daftar Isi	i
Prakata	iii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi.....	1
4 Perencanaan.....	2
4.1 Lokasi.....	2
4.2 Menentukan elevasi lantai jembatan.....	3
4.3 Pengguna jembatan pejalan kaki.....	4
4.4 Beban rencana	5
4.5 Kriteria perencanaan	7
4.6 Sketsa sederhana jembatan gantung untuk pejalan kaki	7
4.7 Syarat bahan.....	8
4.8 Fungsi struktur jembatan	10
4.9 Struktur pengaku	11
4.10 Gaya tarik kabel utama.....	11
4.11 Lendutan	12
4.12 Momen maksimum struktur pengaku dan komponen gaya horizontal kabel	13
4.13 Panjang kabel angkur.....	13
4.14 Panjang kabel utama.....	13
4.15 Baja penggantung	13
4.16 Kabel ikatan angin.....	14
4.17 Kelandaian memanjang jembatan	14
4.18 Menara	14
4.19 Blok angkur	14
4.20 Fondasi	14
4.21 Sandaran.....	15
4.22 Bagan alir perencanaan	15
5 Pelaksanaan	17
5.1 Peralatan.....	17
5.2 Tahap-tahap pelaksanaan	17
5.3 Bagan alir pelaksanaan	20

6	Pemeliharaan.....	21
6.1	Pemeliharaan jembatan secara rutin	21
6.2	Pemeliharaan jembatan secara berkala	21
	Lampiran A Contoh kasus sederhana perancangan jembatan	22
	Lampiran B Klarifikasi desain manual dengan program elemen hingga pemodelan 2 dimensi.	25
	Lampiran C Klarifikasi desain manual dengan program elemen hingga pemodelan 3 dimensi.	34
	Lampiran D Panduan pemilihan dimensi jembatan gantung pejalan kaki.....	46
	Lampiran E Contoh gambar jembatan gantung bentang 60 m	48
	Lampiran F Deviasi teknis dan keterangan	55

Prakata

Pedoman tentang *Perencanaan dan pelaksanaan teknik jembatan gantung untuk pejalan kaki* adalah revisi dari SNI 03-3428-1994, *Tata cara perencanaan teknik jembatan gantung untuk pejalan kaki* dan SNI 03-3429-1994, *Tata cara pelaksanaan jembatan gantung untuk pejalan kaki*, dengan melakukan modifikasi terhadap pengguna jembatan, kelas jembatan, besarnya beban hidup, syarat bahan, dan dilengkapi dengan contoh perhitungan manual yang diklarifikasi dengan hitungan program elemen hingga.

Pedoman ini disusun oleh Panitia Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan pada Subpanitia Teknis Rekayasa Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) Nomor 8 Tahun 2007 dan dibahas pada forum konsensus tanggal 19 Desember 2007 di Bandung, yang melibatkan para nara sumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Pedoman ini berisi perencanaan, dan pelaksanaan termasuk pemeliharaan jembatan gantung pejalan kaki. Perencanaan jembatan gantung meliputi pemilihan lokasi, penentuan elevasi dek, pengguna jembatan, beban rencana, kriteria perencanaan, sketsa sederhana jembatan, syarat bahan beton, baja, kabel dan kayu, fungsi struktur jembatan, gelagar pengaku, gaya tarik kabel utama, lendutan, momen maksimum gelagar pengaku dan komponen horizontal kabel, panjang kabel angkur, panjang kabel utama, kelandaian memanjang jembatan, menara, blok angkur, dan fondasi.

Pelaksanaan jembatan meliputi peralatan, pemasangan jembatan, pembuatan blok angkur, pembuatan fondasi menara, pemasangan kabel utama dan pelana, pemasangan batang penggantung, pemasangan gelagar melintang dan memanjang, penyetelan kabel utama pada blok angkur dan penyetelan tegangan kabel-kabel utama pada blok angkur.

Pemeliharaan jembatan meliputi pemeliharaan rutin dan pemeliharaan berkala.

Pedoman ini dilengkapi dengan contoh perhitungan sederhana untuk jembatan gantung dan klarifikasi dengan perhitungan analisis struktur dua dimensi dan tiga dimensi yang menggunakan program elemen hingga.

Perencanaan dan pelaksanaan jembatan gantung untuk pejalan kaki

1 Ruang lingkup

Pedoman ini meliputi perencanaan dan pelaksanaan termasuk pemeliharaan bangunan atas, bangunan bawah dan fondasi jembatan gantung untuk lalu lintas pejalan kaki dengan bentang utama maksimum 120 m.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi yang terkait dengan pedoman ini:

SNI 03-1724, *Tata cara perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai.*

SNI 03-1725, *Tata cara perencanaan pembebanan jembatan jalan raya.*

SNI 07-0722, *Baja canai panas untuk konstruksi umum.*

SNI 03-1974, *Metode pengujian kuat tekan beton.*

SNI 07-2529, *Metode pengujian kuat tarik baja beton.*

SNI 03-3527, *Mutu kayu bangunan.*

SNI 03-4433, *Spesifikasi beton siap pakai.*

SNI 03-4810, *Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan.*

SNI 03-2834, *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.*

AASHTO M 169-02, *Steel bars, carbon, cold finished, standard quality.*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini adalah sebagai berikut:

3.1

bangunan bawah jembatan

bagian dari konstruksi jembatan yang berfungsi memikul bangunan atas serta menyalurkan seluruh beban dan gaya-gaya yang bekerja ke fondasi jembatan

3.2

fondasi jembatan

bagian dari konstruksi jembatan yang berfungsi sebagai pemikul seluruh beban jembatan dan gaya-gaya yang bekerja pada fondasi serta menyalurkan ke lapisan tanah pendukung

3.3

jembatan gantung

bangunan atas jembatan yang berfungsi sebagai pemikul langsung beban lalu lintas yang melewati jembatan tersebut, terdiri dari lantai jembatan, gelagar pengaku, batang penggantung, kabel pemikul dan pagar pengaman.

Seluruh beban lalu lintas dan gaya-gaya yang bekerja dipikul oleh sepasang kabel pemikul yang menumpu di atas 2 pasang menara dan 2 pasang blok angkur

3.4

jembatan gantung pejalan kaki

jembatan gantung yang hanya boleh dilewati oleh lalu lintas pejalan kaki, dan kendaraan ringan seperti sepeda, gerobak, kendaraan yang ditarik hewan, motor dan kendaraan bermotor ringan dengan maksimum roda tiga dapat lewat untuk keadaan darurat

3.5

lapisan tanah pendukung

lapisan tanah pada kedalaman tertentu yang mempunyai daya dukung cukup untuk memikul beban dan gaya-gaya yang bekerja pada fondasi

3.6

menara

bagian yang menerima gaya atau beban dari kabel dan meneruskannya ke fondasi

4 Perencanaan

Bagian ini merangkum faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan dari desain dan pemasangan jembatan pejalan kaki.

4.1 Lokasi

Pemilihan lokasi jembatan pejalan kaki harus mempertimbangkan aspek ekonomis, teknis, dan kondisi lingkungan antara lain:

- a) Biaya pembuatan jembatan harus seminimal mungkin;
- b) Mudah untuk proses pemasangan dan perawatan;
- c) Mudah diakses dan memberikan keuntungan untuk masyarakat yang akan menggunakannya;
- d) Berada pada daerah yang memiliki resiko minimal terhadap erosi aliran sungai.

Proses pemilihan harus mempertimbangkan keseluruhan pemasangan jembatan maupun jalan masuk. Faktor-faktor berikut ini perlu dipertimbangkan:

- a) Panjang bentang terpendek yang mungkin dari jembatan;
- b) Jembatan pejalan kaki harus berada pada bagian lurus dari sungai atau arus, jauh dari cekungan tempat erosi dapat terjadi;
- c) Pilih lokasi dengan kondisi fondasi yang baik untuk penahan kepala jembatan;
- d) Lokasi harus sedekat mungkin dengan jalan masuk yang ada atau lintasan lurus;

- e) Lokasi harus memberikan jarak bebas yang baik untuk mencegah banjir dan harus meminimalisasi kebutuhan untuk pekerjaan tanah pada jalan masuk untuk menaikkan permukaan pada jembatan;
- f) Arus sungai harus memiliki penguraian yang baik dan jalan aliran yang stabil dengan resiko yang kecil dari perubahan karena erosi;
- g) Lokasi harus terlindung dan seminimal mungkin terkena pengaruh angin;
- h) Lokasi harus memberikan jalan masuk yang baik untuk material dan pekerja;
- i) Akan sangat membantu bila terdapat penyedia material setempat yang mungkin digunakan dalam konstruksi seperti pasir dan batu;
- j) Lokasi harus mendukung masyarakat setempat.

4.2 Menentukan elevasi lantai jembatan

Elevasi lantai jembatan ditentukan oleh jarak bebas dan tinggi banjir dengan periode ulang 20 tahun.

4.2.1 Jarak bebas

Jarak bebas yang dianjurkan adalah:

- a) Pada daerah yang agak datar ketika air banjir dapat menyebar ke batas ketinggian permukaan air dianjurkan jarak bebas minimum 1 m;
- b) Pada daerah berbukit dan memiliki kelandaian lebih curam ketika penyebaran air banjir lebih terbatas, jarak bebas harus ditingkatkan. Jarak bebas lebih dari 5 m disarankan untuk daerah berbukit dengan arus sungai yang mengalir pada tepi jurang yang curam.

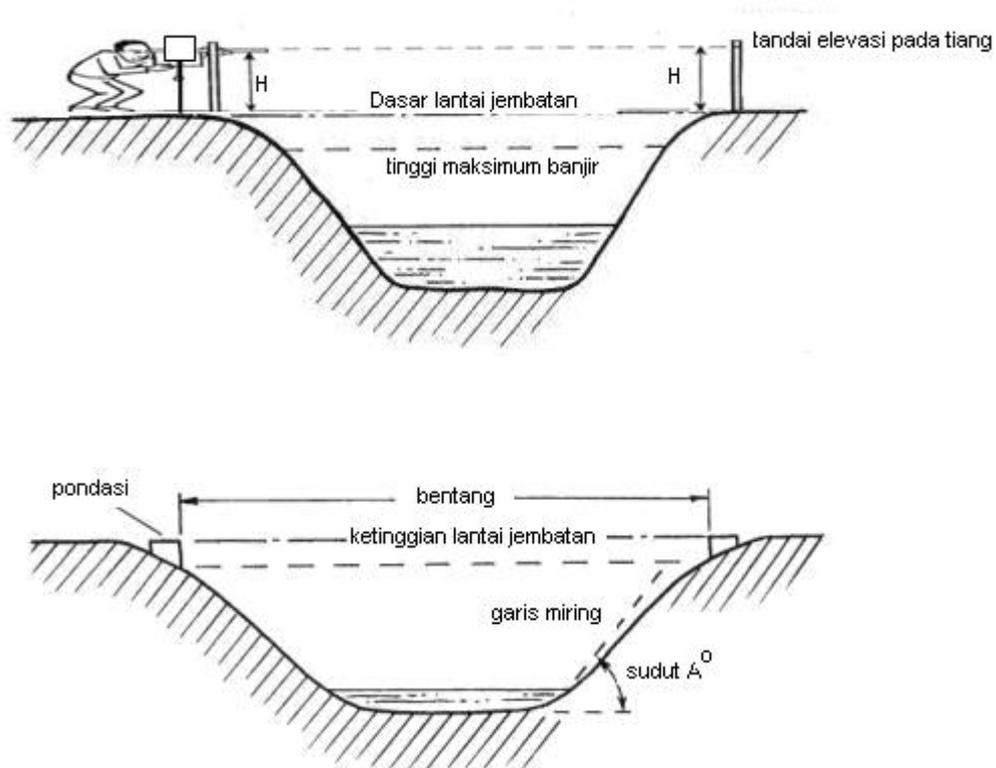
Faktor kritis lain dari jarak bebas untuk perahu dan lokasi dari kepala jembatan juga perlu diperiksa untuk melihat kriteria mana yang mengatur tinggi minimum lantai jembatan.

4.2.2 Tinggi banjir

Tinggi banjir rata-rata dapat diamati dengan:

- a) Observasi tempat yang ditandai oleh material yang tertahan pada tumbuhan, jenis arus, endapan pasir/tanah;
- b) Diskusi dengan masyarakat setempat;
- c) Data muka air banjir tertinggi.

Penentuan ketinggian lantai jembatan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 - Ketinggian dari lantai jembatan

4.3 Pengguna jembatan pejalan kaki

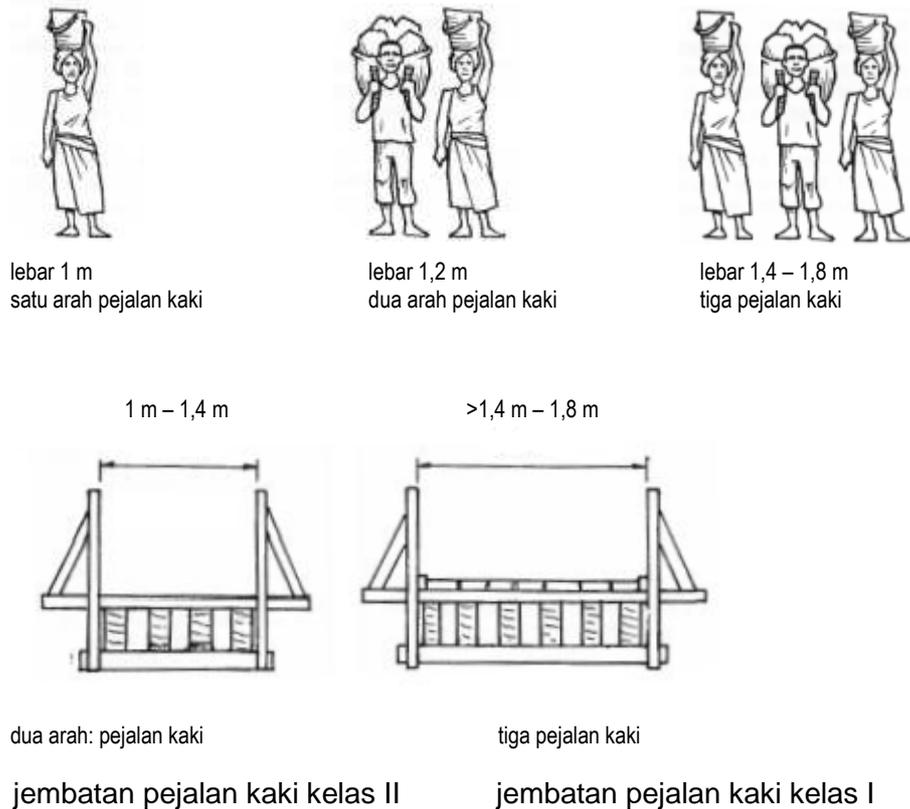
Pengguna jembatan dan tingkat lalu lintas harus diidentifikasi secara jelas karena akan menentukan lebar lantai jembatan yang diperlukan dan beban hidup pada jembatan yang akhirnya akan menentukan biaya konstruksi.

Gambar 2 menunjukkan lebar yang dianjurkan untuk jalan masuk dan lintasan untuk tipe-tipe yang berbeda dan tingkat-tingkat lalu lintas. Dua lebar standar yang dianjurkan pada pedoman ini:

- 1 m sampai dengan 1,4 m untuk pejalan kaki dua arah (jembatan pejalan kaki kelas II);
- 1,4 m sampai dengan 1,8 m untuk tiga pejalan kaki yang beriringan (jembatan pejalan kaki kelas I).

Lebar ini hanya akan memberikan akses satu arah pada beberapa tipe lalu lintas dan peringatan yang sesuai harus diletakkan pada setiap ujung jembatan.

Untuk jembatan kelas I dianjurkan lebar lantai jembatan dibuat 1,8 m, akses kendaraan bermotor lebih besar harus dicegah, misalnya dengan memasang tiang besi atau patok di ujung jembatan.



Gambar 2 - Penampang melintang jembatan pejalan kaki untuk berbagai pengguna (sesuai dengan lebarnya)

4.4 Beban rencana

Jembatan pejalan kaki harus kuat dan kaku (tanpa lendutan yang berlebih) untuk menahan beban berikut:

4.4.1 Beban vertikal

Beban vertikal berupa:

- Beban mati dari berat sendiri jembatan;
- Beban hidup dari pengguna jembatan.

Beban vertikal rencana adalah kombinasi dari beban mati dan beban hidup terbesar yang diperkirakan dari pengguna jembatan.

4.4.2 Beban samping

Beban samping disebabkan oleh:

- Tekanan angin;
- Gempa;
- Pengguna yang bersandar atau membentur pagar keselamatan;
- Benturan ringan yang diakibatkan oleh batuan-batuan yang terbawa oleh sungai/arus. Jika benturan keras dari objek yang lebih besar pada aliran air yang cepat maka jarak

bebas lantai jembatan harus ditambah untuk mengurangi resiko benturan dan kerusakan.

Beban samping yang harus dipertimbangkan dalam desain adalah beban angin yang terjadi pada sisi depan yang terbuka dari batang-batang jembatan dan beban yang diakibatkan oleh pengguna yang bersandar atau membentur pagar keselamatan dan tiang-tiang penahan. Benturan dari batuan-batuan tidak akan terjadi jika ada jarak bebas yang memadai di bawah jembatan.

Standar perencanaan untuk jembatan pejalan kaki mempertimbangkan standar perencanaan kecepatan angin 35 m/detik, yang mengakibatkan tekanan seragam pada sisi depan yang terbuka dari batang-batang jembatan dari 130 kg/m². Karena tidak mungkin lalu lintas di atas jembatan pada angin yang besar, beban angin dipertimbangkan terpisah dari beban hidup vertikal.

Beban gempa dihitung secara statik ekuivalen dengan memberikan beban lateral di puncak menara sebesar 15% sampai dengan maksimum 20% beban mati pada puncak menara. Beban gempa tidak dihitung bersamaan dengan beban angin karena tidak terjadi pada waktu yang sama.

4.4.3 Beban hidup

Ada dua aspek beban hidup yang perlu dipertimbangkan:

- Beban terpusat pada lantai jembatan jembatan akibat langkah kaki manusia untuk memeriksa kekuatan lantai jembatan;
- Beban yang dipindahkan dari lantai jembatan ke batang struktur yang kemudian dipindahkan ke tumpuan jembatan. Aksi beban ini akan terdistribusi pendek atau menerus sepanjang batang-batang longitudinal yang menahan lantai jembatan.

Beban hidup yang paling kritis yang dipikul karena pengguna jembatan pejalan kaki ditunjukkan pada Tabel 1. Dipertimbangkan bahwa beban terpusat 2000 kgf (20 kN) untuk kendaraan ringan/ternak dan beban merata 5 kPa memberikan batas yang cukup untuk keselamatan untuk semua pengguna biasa dari jembatan pejalan kaki.

Tabel 1 - Beban hidup yang dipikul dan lendutan izin jembatan gantung pejalan kaki

Kelas pengguna	Lebar	Beban terpusat	Beban terdistribusi merata	Lendutan izin $\bar{\Delta}$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas I (beban hidup maksimum sampai dengan kendaraan ringan)	1,8 m	20 kN (hanya ada satu kendaraan bermotor ringan pada satu bentang jembatan)	5 kPa	$\frac{1}{200}L$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas II (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,4 m	-	4 kPa	$\frac{1}{100}L$
Keterangan: L adalah bentang utama jembatan				

4.5 Kriteria perencanaan

Standar perencanaan jembatan menetapkan kriteria perencanaan yang perlu dipertimbangkan untuk memastikan bahwa jembatan pejalan kaki aman dan sesuai untuk pengguna.

a) Kekuatan;

Batang-batang jembatan harus cukup kuat untuk menahan beban hidup dan beban mati yang didefinisikan di atas dengan batas yang cukup untuk keselamatan untuk mengizinkan beban yang tidak terduga, properti material, kualitas konstruksi, dan pemeliharaan.

b) Lendutan;

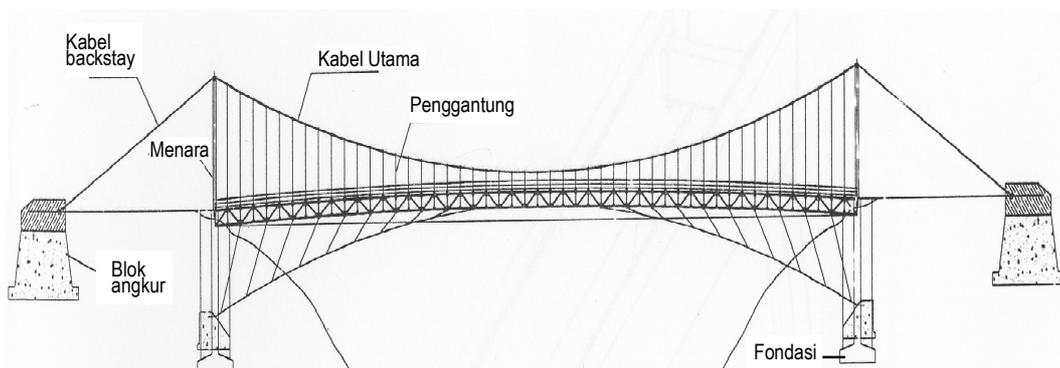
Jembatan pejalan kaki tidak boleh melendut untuk batas yang mungkin menyebabkan kecemasan atau ketidaknyamanan untuk pengguna atau menyebabkan batang-batang yang terpasang menjadi tidak rata. Batas maksimum untuk balok dan rangka batang jembatan pejalan kaki ditunjukkan pada Tabel 1. Batasan ini adalah lendutan maksimum pada seperempat bentang jembatan pejalan kaki ketika dibebani oleh beban hidup asimetris di atasnya.

c) Beban dinamik.

Pada jembatan pejalan kaki dapat saja terjadi getaran akibat angin atau orang yang berjalan di atasnya. Namun, beban ini dapat diatasi dengan ikatan angin dan pembatasan barisan pejalan kaki.

4.6 Sketsa sederhana jembatan gantung untuk pejalan kaki

Tipe yang lebih konvensional dari jembatan gantung yaitu yang menggunakan kabel menerus yang ditahan oleh menara pada setiap ujung jembatan. Kabel tersebut digunakan untuk menahan batang penggantung rantai jembatan. Sketsa skema dari tipe jembatan ini dapat dilihat pada Gambar 3. Rantai jembatan boleh lentur atau kaku, tetapi harus cukup kuat menahan beban lalu lintas antara kabel dan juga untuk menahan beban angin. Bagian ujung menara harus cukup tinggi untuk memungkinkan kabel utama melengkung, antara 1 : 8 dan 1 : 11.



Gambar 3 - Skema untuk jembatan pejalan kaki dan bagiannya

4.7 Syarat bahan

4.7.1 Beton

Mutu beton harus sesuai dengan SNI 03-1974 seperti tampak pada Tabel 2.

Tabel 2 - Mutu beton dan pedoman proporsi takaran campuran

Jenis beton	Mutu beton		Ukuran agregat maksimum (mm)	Rasio air/ semen maksimum (terhadap berat)	Kadar semen minimum (kg/m ³ dari campuran)
	f_c' (MPa)	σ_{bk}' (kgf/cm ²)			
Mutu tinggi	50	600	19	0,350	450
			37	0,400	395
			25	0,400	430
	45	500	19	0,400	455
			37	0,425	370
			25	0,425	405
	38	450	19	0,425	430
			37	0,450	350
			25	0,450	385
	35	400	19	0,450	405
			37	0,475	335
			25	0,475	365
Mutu sedang	30	350	19	0,475	385
			37	0,500	315
			25	0,500	345
	25	300	19	0,500	365
			37	0,550	290
			25	0,550	315
	20	250	19	0,550	335
			37	0,600	265
			25	0,600	290
Mutu rendah	15	175	19	0,600	305
			37	0,700	225
			25	0,700	245
	10	125	19	0,700	260
			37		
			25		

4.7.2 Baja

Persyaratan bahan:

a) Penyimpanan bahan;

Baja, baik ketika pabrikan di bengkel maupun di lapangan, harus ditumpuk di atas balok pengganjal atau landasan sedemikian rupa sehingga tidak bersentuhan dengan tanah. Jika baja ditumpuk dalam beberapa lapis, pengganjal untuk semua lapis harus berada dalam satu garis.

b) Pengecatan permukaan sebagai lapis pelindung;

- 1) Permukaan yang akan dicat harus bersih dan bebas dari lemak, debu, produk korosi, residu, garam dan sebagainya;
- 2) Perbaiki lapis pelindung struktur baja;

Bahan pelindung untuk struktur baja yang akan dilapis ulang dengan lapis pelindung harus disesuaikan dengan jenis bahan dasar struktur baja yang telah diberi lapisan pelindung. Sebelum dilakukan pelapisan ulang, struktur baja harus dibersihkan terlebih dahulu sampai kondisi permukaan tertentu sesuai dengan kondisi kerusakan pada lapisan tersebut.

c) Baja struktur.

Baja yang digunakan sebagai bagian struktur baja harus mempunyai sifat mekanis baja struktural seperti dalam Tabel 3.

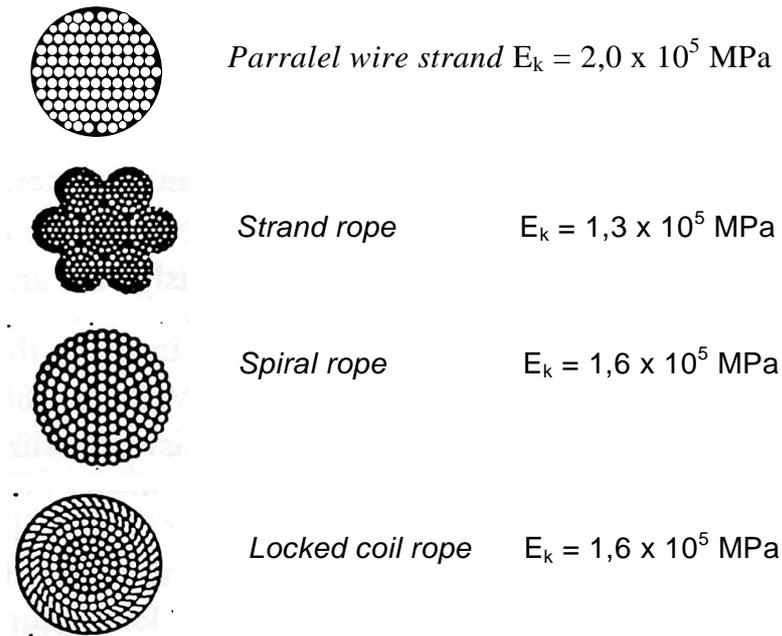
Mutu baja dan data yang berkaitan lainnya harus ditandai dengan jelas pada unit-unit yang menunjukkan identifikasi selama pabrikan dan pemasangan.

Tabel 3 - Sifat mekanis baja struktural

Jenis baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

4.7.3 Kabel

- a) Kabel utama yang digunakan berupa untaian (*strand*). Jenis-jenis kabel ditunjukkan dalam Gambar 4;
- b) Kabel dengan inti yang lunak tidak diizinkan digunakan pada jembatan gantung ini;
- c) Kabel harus memiliki tegangan leleh minimal sebesar 1500 MPa;
- d) Batang penggantung menggunakan baja bundar sesuai spesifikasi baja seperti tampak pada Tabel 3;
- e) Kabel ikatan angin menggunakan baja bundar sesuai spesifikasi baja seperti tampak pada Tabel 3.



Gambar 4 - Penampang melintang kabel

4.7.4 Kayu

a) Persyaratan bahan;

Jenis bahan kayu yang akan digunakan sebagai struktur utama jembatan kayu harus mempunyai mutu minimum sama dengan kayu kelas II yang sudah diawetkan dengan kuat lentur minimum 85 kgf/cm^2 .

b) Bahan pendukung;

Material pendukung mencakup pelat baja pengaku, baut sambungan, paku, klem serta bahan-bahan lain yang diperlukan dalam pekerjaan struktur kayu.

c) Bahan Pelindung.

Material pelindung dapat berupa cat dan bahan anti serangga.

4.8 Fungsi struktur jembatan

Jembatan gantung untuk pejalan kaki terdiri dari bagian-bagian struktur sebagai berikut:

a) Bangunan atas terdiri dari:

- 1) lantai jembatan, berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar melintang;
- 2) gelagar melintang berfungsi sebagai pemikul lantai dan sandaran serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang;
- 3) gelagar memanjang berfungsi sebagai pemikul gelagar serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke batang penggantung;
- 4) batang penggantung berfungsi sebagai pemikul gelagar utama serta melimpahkan beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja ke kabel utama;

- 5) kabel utama berfungsi sebagai pemikul beban dan gaya-gaya yang bekerja pada batang penggantung serta melimpahkan beban dan gaya-gaya tersebut ke menara pemikul dan blok angkur;
 - 6) pagar pengaman berfungsi untuk mengamankan pejalan kaki;
 - 7) kabel ikatan angin berfungsi untuk memikul gaya angin yang bekerja pada bangunan atas;
 - 8) menara berfungsi sebagai penumpu kabel utama dan gelagar utama, serta menyalurkan beban dan gaya-gaya bekerja melalui struktur pilar ke fondasi.
- b) Bangunan bawah terdiri dari:
- 1) blok angkur merupakan tipe gravitasi untuk semua jenis tanah yang berfungsi sebagai penahan ujung-ujung kabel utama serta menyalurkan gaya-gaya yang dipikulnya ke fondasi;
 - 2) fondasi menara dan fondasi angkur berfungsi sebagai pemikul menara dan blok angkur serta melimpahkan beban dan gaya-gaya yang bekerja ke lapisan tanah pendukung.

4.9 Struktur pengaku

Struktur pengaku dapat berupa:

- a) Kabel;
- b) Profil I;
- c) Rangka batang;

Untuk struktur pengaku berbentuk rangka batang, inersia gelagar pengaku dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = A_{bta} \cdot (d_{ta})^2 + A_{btb} \cdot (d_{tb})^2 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- I adalah inersia gelagar (mm⁴);
- A_{bta} adalah luas batang tepi atas (mm²);
- A_{btb} adalah luas batang tepi bawah (mm²);
- d_{ta} adalah jarak dari pusat masa gelagar ke tepi atas (mm);
- d_{tb} adalah jarak dari pusat masa gelagar ke tepi bawah (mm).

4.10 Gaya tarik kabel utama

a) Besarnya komponen horizontal gaya tarik H pada ujung kabel utama adalah:

- 1) akibat beban hidup merata penuh

$$H_1 = \frac{P L^2}{8d} \dots\dots\dots (2)$$

- 2) akibat beban hidup tidak simetris pada setengah bentang

$$H_2 = \frac{(P/2) L^2}{8d} \dots\dots\dots (3)$$

3) akibat beban mati

$$H_3 = \frac{w L^2}{8d} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

H_1, H_2, H_3 adalah komponen horizontal gaya tarik (kN)

P adalah beban hidup merata (kN/m)

w adalah berat sendiri struktur (kN/m)

L adalah bentang utama (m)

d adalah cekungan kabel di tengah bentang (m)

b) Besarnya cekungan kabel (d) berkisar antara $1/8 L$ sampai dengan $1/11 L$

c) Kabel utama dan *backstay* dihitung berdasarkan gaya tarik T maksimum:

untuk *backstay* : $T = \frac{H}{\cos \varphi} \dots\dots\dots (5)$

atau

untuk kabel utama : $T = \frac{H}{\cos \theta} \dots\dots\dots (6)$

Keterangan:

H adalah komponen horizontal gaya tarik, yang merupakan nilai maksimum dari kombinasi ($H_1 + H_3$) atau ($H_2 + H_3$) (kN)

T adalah gaya tarik kabel maksimum akibat beban merata penuh (kN)

θ adalah sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel bentang utama

φ adalah sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel angkur

4.11 Lendutan

Lendutan akibat beban hidup merata yang bekerja pada seperempat bentang utama, dihitung berdasarkan pembagian beban antara gelagar pengaku sebesar $(1-\alpha)$ dan kabel utama sebesar (α) :

$$\Delta' = \frac{5(1-\alpha)PL^4}{12288EI} \dots\dots\dots (7)$$

$$\Delta = \frac{\alpha (P/8)}{w + \alpha (P/2)} d \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

Δ' adalah lendutan gelagar pengaku pada seperempat bentang (m)

Δ adalah lendutan kabel pada seperempat bentang (m)

α adalah fraksi beban yang menunjukkan proporsi beban hidup yang ditahan oleh kabel, yang besarnya diperoleh dari $\Delta' = \Delta$

4.12 Momen maksimum struktur pengaku dan komponen gaya horizontal kabel

Momen maksimum struktur pengaku di seperempat bentang dihitung berdasarkan pembagian beban antara struktur pengaku sebesar $(1 - \alpha)$ dan kabel utama sebesar (α) :

$$M_{\text{maks}} = \frac{(1 - \alpha) PL^2}{64} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

M_{maks} adalah momen maksimum gelagar pengaku (kNm).

4.13 Panjang kabel angkur

- a) Panjang teoritis kabel angkur adalah jarak geometrik antara titik pusat blok angkur di permukaan tanah dan titik pusat kabel di pelana;
- b) Panjang bersih kabel angkur pada kondisi bebas beban, yaitu jarak bersih antara sumbu pelana dan titik untuk jangkar, diperoleh dengan mengadakan koreksi terhadap panjang teoritis.
 - 1) koreksi pengurangan panjang sesuai dengan dimensi blok angkur;
 - 2) koreksi penambahan panjang sesuai dengan lengkungan kabel di pelana;
 - 3) koreksi panjang ulur, yaitu panjang teoritis dikalikan tegangan kabel akibat beban mati penuh, dan dibagi dengan nilai modulus elastis;
 - 4) jika digunakan soket pada ujung kabel, panjang teoritis yang telah dikoreksi sesuai butir 1 sampai dengan 3, harus ditambah sepanjang keperluan soket;
 - 5) koreksi untuk sudut penyebaran kabel ke blok angkur adalah kecil dan diabaikan.

4.14 Panjang kabel utama

- a) Panjang teoritis kabel utama (L_k) adalah jarak parabolik antara titik-titik pusat kabel di pelana:

$$L_k = L \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

L adalah panjang bentang utama

d adalah cekungan kabel di tengah bentang

- b) Panjang bersih kabel utama pada kondisi bebas beban diperoleh dengan mengadakan koreksi pengurangan terhadap panjang teoritis:
 - 1) koreksi penambahan panjang sesuai lengkungan di pelana;
 - 2) koreksi pengurangan panjang ulur elastis sebanding dengan tegangan rata-rata akibat beban mati penuh berdasarkan tegangan kabel maksimum di menara dan minimum di tengah bentang;

4.15 Baja penggantung

Dimensi batang penggantung harus mampu menahan gaya aksial tarik yang berasal dari lantai kendaraan.

4.16 Kabel ikatan angin

Dimensi kabel ikatan angin harus mampu memberikan stabilitas lateral untuk menahan beban angin rencana.

4.17 Kelandaian memanjang jembatan

Jembatan dapat dibangun dengan kelandaian maksimum sebesar 1/20 bentang antara menara-menara. Untuk kelandaian sampai 1/100 bentang, tidak ada perubahan dalam pengukuran dan pemasangan jembatan. Penyesuaian dimensi untuk kelandaian n di atas 1/100 adalah:

a) Bentang horizontal aktual antara menara-menara:

$$L_a = L - \frac{n^2 L}{2} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

L_a adalah bentang horizontal aktual antara menara-menara

n adalah kelandaian memanjang jembatan

Pada kelandaian $n \leq 1/100$, L_a diambil sama dengan L dan pada kelandaian $n > 1/100$ bentang horizontal aktual dihitung dengan persamaan (11).

b) Koreksi sudut kabel X° terhadap horizontal:

$$\tan X^\circ = 0,63 n \dots\dots\dots (12)$$

Sudut kabel angkur untuk kondisi kelandaian n , adalah sudut kondisi horizontal yang dikoreksi dengan $+ X^\circ$ untuk sisi tinggi dan $- X^\circ$ untuk sisi rendah.

4.18 Menara

Menara yang digunakan harus didesain untuk mampu menahan aksial tekan dan lentur serta memiliki stabilitas terhadap tekuk dan beban gempa statik ekuivalen.

4.19 Blok angkur

Dimensi dari blok angkur harus didesain sedemikian rupa sehingga memiliki kapasitas yang lebih besar dari gaya pada kabel *backstay* (menahan minimum 120% gaya tarik kabel *backstay*).

Garis kerja gaya kabel, tekanan pasif tanah dan gaya gravitasi blok angkur harus bertemu pada satu titik tangkap agar tidak terguling. Blok angkur harus tertanam dalam tanah asli.

4.20 Fondasi

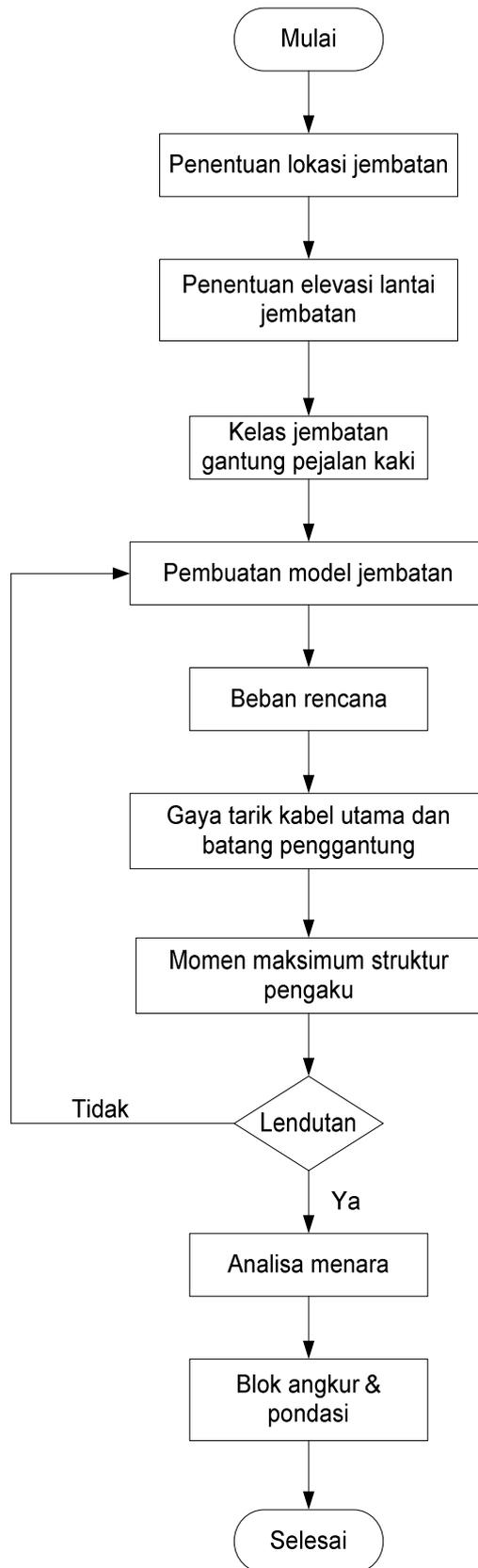
Dimensi dan jenis fondasi harus didesain sedemikian rupa sehingga memiliki kapasitas menahan beban sendiri, beban hidup dan beban angin yang bekerja pada bagian atas struktur jembatan dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat.

4.21 Sandaran

Sandaran harus aman bagi pengguna pejalan kaki baik anak-anak maupun dewasa. Tinggi minimum sandaran adalah 1 meter.

4.22 Bagan alir perencanaan

Bagan alir perencanaan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 - Bagan alir perencanaan

5 Pelaksanaan

5.1 Peralatan

Selain peralatan-peralatan yang biasa digunakan, peralatan dan perlengkapan untuk pengukuran dan pemasangan jembatan adalah sebagai berikut:

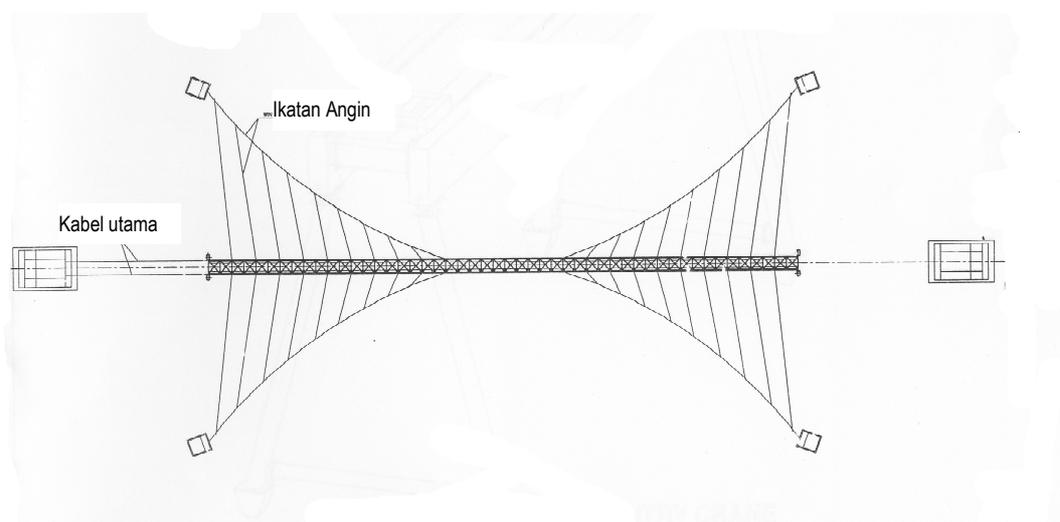
- a) Alat ukur: *teodolit*, *waterpas*, *total station*;
- b) Patok-patok kayu sebagai patok ukur yang dipasang pada jarak antara 15 m maksimum; patok-patok diberi tanda dengan paku untuk menyatakan titik pusat dan ketinggian yang diukur;
- c) Satu set tulkit (*tool kit*);
- d) Satu set peralatan las listrik lengkap jika diperlukan;
- e) Alat pengukur getaran.

5.2 Tahap-tahap pelaksanaan

- a) Tahap-tahap pemasangan jembatan gantung sebagai berikut:
 - 1) tetapkan lokasi jembatan dengan mempertimbangkan aspek teknik;
 - 2) lakukan pengukuran dan pembuatan peta lokasi jembatan;
 - (a) Lakukan pengukuran bentang sungai/jurang ditambah 50 m ke setiap sisi dengan koridor 15 m ke arah hulu dan hilir dari rencana lokasi jembatan;
 - (b) Identifikasi kondisi hidrolik, elevasi air banjir dan tinggi tebing, serta kondisi geoteknik setempat.
 - 3) bersihkan lapangan dan buat lintasan kabel untuk mengangkut bahan-bahan ke setiap sisi jembatan;
 - 4) lakukan pengukuran jembatan, meliputi menara, angkur dan fondasi; penentuan ketinggian lantai jembatan, ketinggian blok angkur, fondasi menara dan fondasi gelagar pengaku jembatan;
 - 5) buat blok angkur, fondasi menara, dan fondasi gelagar pengaku;
 - 6) beri tanda-tanda lokasi batang penggantung, sumbu pelana dan angkur pada kabel utama, sesuai hasil perhitungan dan pengukuran lapangan;
 - 7) buat menara, kabel dan pelana;
 - 8) pasang dan setel awal kabel utama;
 - 9) tempatkan dan ikat kabel-batang penggantung;
 - 10) pasang gelagar melintang, memanjang, pengaku secara bertahap;
 - 11) pasang lantai jembatan dan sandaran;
 - 12) setel akhir kabel utama pada blok angkur;
 - 13) pasang dan setel kabel angin;
 - 14) buat jalan masuk ke jembatan dan tembok pengaman.
- b) Pembuatan blok angkur;
 - 1) Buat blok angkur pada lokasi dan ketinggian yang tepat terhadap menara;
 - 2) Sesuaikan sumbu blok angkur dengan sumbu pen yang menjadi hubungan akhir antara baut angkur yang tertanam dalam blok dan kabel utama;

- 3) Pertahankan tanah asli pada waktu penggalian tanah untuk blok angkur;
 - 4) Buat acuan untuk baut angkur dengan kedalaman minimum 30 cm pada waktu pengecoran blok angkur;
 - 5) Setel baut angkur sebelum mortar mulai mengeras dan isi acuan dengan mortar dengan campuran air : semen : pasir = 0,4 : 1 : 1, sampai penuh dan jangan terjadi kantong udara dalam mortar.
- c) Pembuatan fondasi menara;
- 1) Dasar fondasi harus tertanam dalam tanah asli;
 - 2) Periksa kembali ketinggian perletakan, lalu isikan mortar kering (semen:pasir = 1:2) di bawah pelat;
 - 3) Tanam baut angkur dalam blok sesuai dengan cara pada butir b) dengan menggunakan mortar dengan campuran air : semen : pasir = 0,4 : 1 : 2.
- d) Pemasangan kabel utama dan pelana;
- 1) Kabel utama harus dilindungi terhadap korosi dengan cara galvanisasi atau terbungkus selubung polietilena yang diberi pelumas;
 - 2) Buat dan pasang pelana sehingga dudukan arah kabel ke blok angkur dapat membentuk sudut yang tepat sesuai rencana;
 - 3) Pemasangan kabel utama didahului oleh kabel semu yang digunakan untuk menarik kabel utama melintasi sungai;
 - 4) Beri tanda pada kabel utama penempatan pada sumbu pelana (sumbu perletakan atas menara) dan posisi batang penggantung dan angkur pada kondisi kabel diletakkan lurus di atas tanah dan belum ditegangkan;
 - 5) Kurangi panjang kabel dengan perpanjangan yang diperhitungkan sesuai dengan tegangan kabel akibat beban mati jembatan dan ditambah dengan lengkungan kabel di pelana;
 - 6) Pasang klem di belakang tanda-tanda (sesuai butir 2) yang berfungsi sebagai penahan selama pemasangan kabel;
 - 7) Pasang kabel utama pada satu sisi dan selanjutnya pasang pada sisi lainnya;
 - 8) Laksanakan pemasangan kabel dengan bantuan kabel semu untuk menarik kabel perlahan-lahan ke kiri atau ke kanan agar berada pada titik pusat menara.
- e) Pemasangan batang penggantung;
- Pasang batang penggantung dengan klem-klem agak longgar sehingga batang-batang tersebut mudah ditempatkan pada lokasi yang tepat.
- f) Pemasangan gelagar melintang dan memanjang;
- Pasang gelagar melintang dan memanjang secara bersamaan kemudian dilanjutkan dengan pemasangan lantai papan dan sandaran.
- g) Penyetelan kabel-kabel utama pada blok angkur;
- Pada akhir pemasangan, kedudukan jembatan mungkin dalam kondisi miring ke satu sisi, kondisi lurus, melendut atau dengan lawan lendut.
- Cara penyetelannya adalah sebagai berikut:
- 1) kencangkan kabel pada blok angkur; jembatan memperoleh lawan lendut;
 - 2) kendurkan kabel pada blok angkur; jembatan memperoleh lendutan;

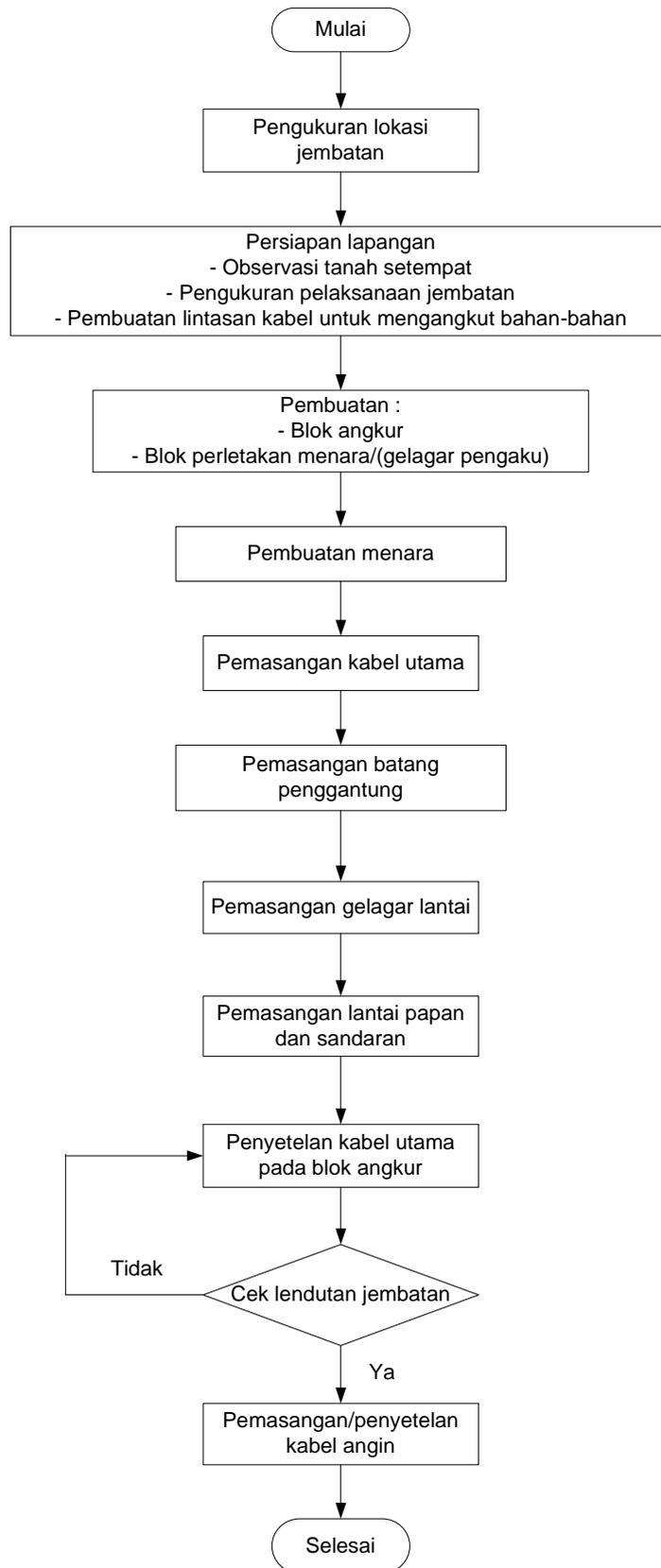
- 3) laksanakan penyetelan kabel dengan mur pengencang pada blok angkur dengan $\frac{1}{2}$ sampai maksimum 2 putaran per tahap, pada setiap kabel secara berurutan.
- h) Penyetelan tegangan kabel-kabel utama pada blok angkur;
- 1) Ratakan tegangan kabel-kabel pada blok angkur dengan pengukuran frekuensi getaran;
 - 2) Pegang kabel dengan tangan sambil dinaikturunkan sampai kabel bergetar dalam 1 gelombang dengan simpangan 20 cm. Kemudian kabel dilepas dan tangan ditahan dalam posisi sedemikian rupa sehingga terjadi pukulan setiap kali kabel bergetar;
 - 3) Ukur frekuensi dengan arloji ukur dalam jangka waktu $\frac{1}{2}$ menit pertama sampai frekuensi kabel berkisar antara 100 sampai dengan 150 pukulan per menit;
 - 4) Lakukan pengecekan lendutan jembatan dan frekuensi kabel setelah tegangan kabel-kabel diratakan dengan penyetelan mur pengencang ($\frac{1}{2}$ sampai maksimum 2 putaran).
- i) Hal-hal lain;
- 1) Pasang ikatan angin untuk memperkuat gelagar-gelagar. Ilustrasi ikatan angin ditunjukkan pada Gambar 6;
 - 2) Perkuat bangunan atas jembatan dengan kabel-kabel penahan yang diikatkan ke dalam tebing untuk mengurangi goyangan jembatan dalam arah horizontal;
 - 3) Lengkapi kabel penahan dengan mur pengencang untuk penyetelan, sambungan profil dan baut harus memenuhi persyaratan kekuatan dan keawetan.



Gambar 6 - Kabel-kabel ikatan angin

5.3 Bagan alir pelaksanaan

Bagan alir pelaksanaan ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7 - Bagan alir pelaksanaan

6 Pemeliharaan

6.1 Pemeliharaan jembatan secara rutin

Pemeliharaan jembatan dilaksanakan secara rutin setiap tahun. Dengan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin, maka jembatan dapat berfungsi dengan baik sekurang-kurangnya sampai dengan 20 tahun. Bagian-bagian jembatan yang perlu dipelihara adalah:

- a) Blok ankur;
 - 1) Buat drainase agar air permukaan dan air hujan tidak mengalir ke bagian ankur yang tertanam;
 - 2) Amati gerakan blok ankur ke arah dalam bentang; bila terjadi gerakan menerus, perlu diadakan pengecekan ketinggian lantai jembatan tengah bentang dan penyetelan mur pengencang kabel utama.
- b) Menara;

Lakukan pengamatan perbedaan penurunan antara fondasi tiang-tiang pada satu menara; bila terjadi beda penurunan lebih dari 25 mm, harus diadakan penyetelan elevasi perletakan dengan pelat pengisi/mortar;
- c) Kabel utama dan batang penggantung;
 - 1) Oleskan minyak kabel;
 - 2) Beri pelumas dan ikat dengan kanvas/ditutup pada mur pengencang dan bagian penyetelan kabel agar terlindung terhadap pengaruh luar;
 - 3) Setel ulang tegangan kabel sesuai cara dalam 5.2.g);
 - 4) Amati keutuhan benang-benang kabel. Kabel harus diganti jika lebih dari 5 benang putus dalam setiap 3 m interval dari panjang kabel.
- d) Bentang utama jembatan;
 - 1) Bersihkan perletakan gelagar memanjang/pengaku;
 - 2) Bersihkan gelagar terhadap rumput dan tanaman liar.

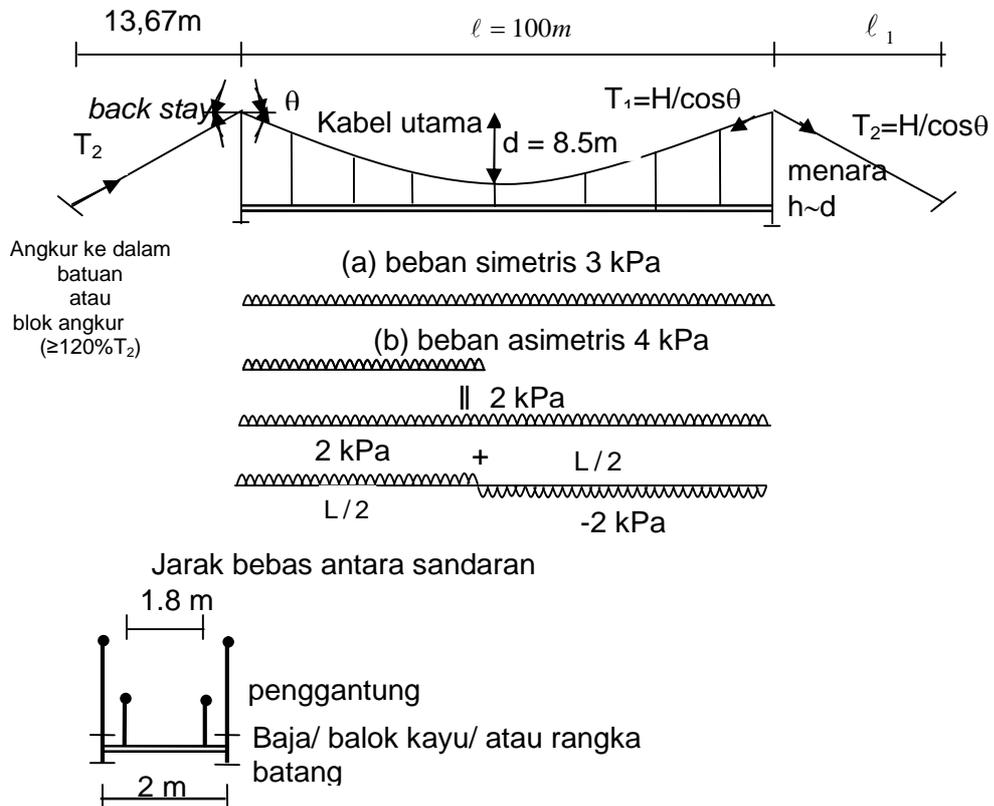
6.2 Pemeliharaan jembatan secara berkala

Pemeliharaan jembatan dilaksanakan secara berkala. Hal-hal yang dilakukan dalam pemeliharaan adalah:

- a) Gerakkan mur pengencang $\frac{1}{2}$ putaran dan kemudian diputar kembali ke kedudukan semula, agar mur tetap bersih dan bebas karat;
- b) Lakukan pemeriksaan dan pengencangan kembali klem-klem batang penggantung yang kendur akibat pengaruh lendutan kabel;
- c) Lakukan pengecatan baja minimal 1 kali dalam waktu 3 tahun.

**Lampiran A
(informatif)
Contoh kasus sederhana perancangan jembatan**

A.1 Struktur dan pembebanannya



A.2 Beban hidup per 1 kabel

Lebar jembatan = 0,9 m

$P = 3 \times 0,9 = 2,7 \text{ kN/m}$ Beban simetris per m panjang

$P = 4 \times 0,9 = 3,6 \text{ kN/m}$ Beban asimetris per m panjang

A.3 Dimensi kabel

Diameter kabel 80 mm, Luas = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 80^2 = 5026,55 \text{ mm}^2$

Berat satuan $7,849/\text{m}^3 \times \text{volume kabel } 5,026 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} = 0,39 \text{ kN/m}$

A.4 Dimensi balok

Dimensi balok W30x108, berat 1,57 kN/m, $W_x 4899,732 \text{ cm}^3$, $I_x 186055,4 \text{ cm}^4$

A.5 Berat lantai jembatan

Berat lantai jembatan $0,03 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \times 8 \text{ kN/m}^3 = 0,216 \text{ kN/m}$

A.6 Beban mati total kabel

Beban mati total kabel = berat baja + berat kayu per kabel
Beban mati balok + kabel + kayu = (1,57 + 0,39) + 0,216 + 0,33
ditambah sandaran, pengikat angin (batang baja),
penggantung & sambungan = berkisar 2,51 kN/m

A.7 Tegangan kabel

Desain kabel : Beban mati + beban hidup penuh = 2,51 + 2,7 = 5,21 kN/m

$$H_{\max} = w \cdot L^2 / 8d = 5,21 \times 100^2 / (8 \times 8,5) = 766,13 \text{ kN}$$

$$\text{sudut } \textit{backstay} = 36,18^\circ$$

$$T_{\max} \text{ pada } \textit{backstay} = H / \cos \varphi = 949,16 \text{ kN untuk } \varphi 36,18^\circ \text{ \& } L_1 = 10 / \tan 36,18^\circ = 13,67 \text{ m}$$

Sudut θ kabel utama didapat dari fungsi persamaan kabel = d^2y/dx^2

$$\therefore \tan \theta = dy/dx = 4d/L = 4 \times (8,5)/100 = 0,34$$

$$\therefore \theta = 18,77^\circ$$

$$T \text{ kabel utama} = H / \cos \theta = 809,206 \text{ kN} < T_{\max} \textit{ backstay}$$

$$\text{Tegangan pada kabel } (\sigma_{\max} \text{ kabel}) = \text{tegangan ultimit} / \text{faktor keamanan yang diizinkan} \\ = 1500 / 3 = 500 \text{ MPa}$$

faktor densitas untuk tegangan = 0,67 , diameter kabel 80 mm

$$\frac{\pi \cdot D^2 \cdot 0,67}{4} \times 500 \text{ MPa} = 1683,89 \text{ kN} > 949,16 \text{ kN } T_{\max} \textit{ backstay}$$

A.8 Penentuan lendutan

$$\text{Kekakuan gelagar} = EI = 200000 \text{ MPa} \times 186055,4 \text{ cm}^4 = 37211089 \text{ kN.m}^2$$

Mencari α : proporsi beban yang ditahan oleh kabel = $\frac{\alpha \cdot p}{2}$
dimana $P = 3,6 \text{ kN/m}$ beban asimetris

Lendutan balok pada $\frac{1}{4}$ bentang \equiv lendutan kabel pada $\frac{1}{4}$ bentang

$$\frac{5(1-\alpha)pL^4}{12288EI} \cong \frac{\alpha p \cdot d/8}{\omega + \alpha p/2}$$

$$\frac{5(1-\alpha)3,6(100^4)}{12288(372110,89)} \cong \frac{3,6\alpha(8,5/8)}{2,51 + \alpha(3,6/2)}$$

$\alpha = 0,24$ atau 0,24 beban hidup yang ditahan oleh kabel

Lendutan pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$\Delta_{\ell} \cong (\alpha \cdot p \cdot d/8) / (\omega + \alpha \cdot p/2) \cong \frac{0,24(3,6)(8,5/8)}{2 + 0,24(3,6/2)} \cong 0,312 \text{ m} \leq 1/200 * \ell$$

A.9 Memeriksa momen maksimum/tegangan pada balok

Untuk beban $(1-\alpha)p/2$:

$$M_{\max} \cong (1-\alpha)pL^2/64 = (1-0,24) \cdot (3,6) \cdot 100^2/64 = 427,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W_x = 4275000 / 4899,732 = 8724,96 \text{ N/cm}^2 = 87,2 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{izin}} \\ \leq 160 \text{ MPa}$$

A.10 Memeriksa tegangan pada menara

$$N = H \tan \varphi + H \tan \theta$$

$$N = 766,13 \times \tan(36,18) + 766,13 \times \tan(18,77)$$

$$N = 820,8 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{\text{tinggi menara}}{\sqrt{\frac{I}{A}}}, \text{ pada tengah menara diberi penahan lateral}$$

$$\lambda = \frac{10}{\sqrt{\frac{0,000156}{0,0368}}} = 153,54 \quad \text{didapat } \omega = 5,34$$

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} < \sigma_{\text{izin}}$$

$$\sigma = \frac{5,34 \times 820,8}{0,0368} = 119105,33 \text{ kN/m}^2$$

$$= 119,11 \text{ MPa} < \sigma_{\text{izin}} = 160 \text{ MPa}$$

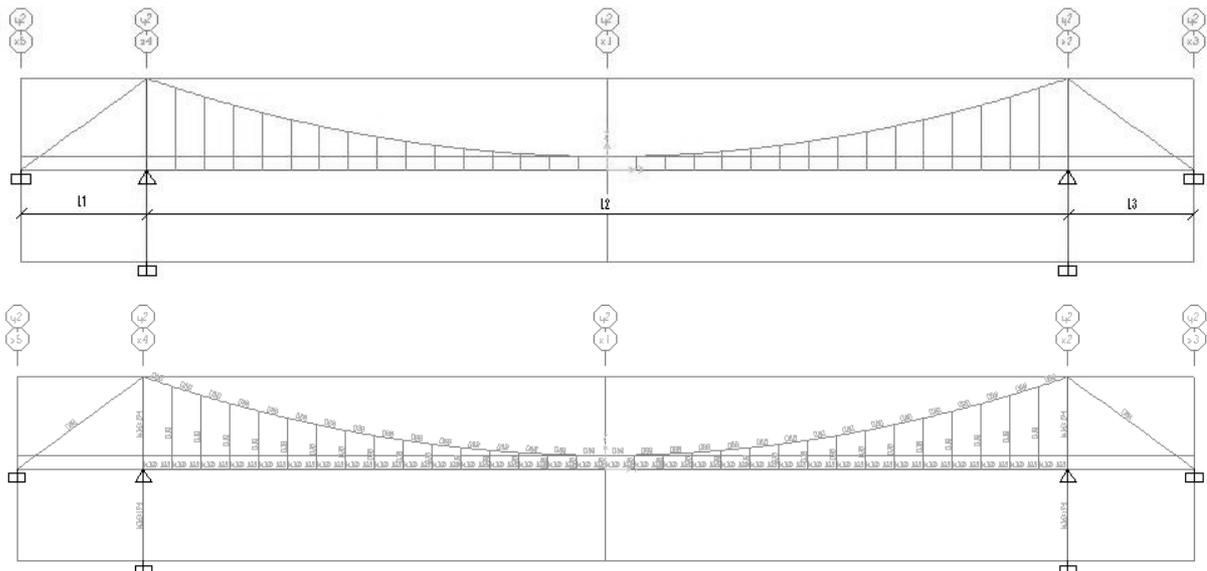
Lampiran B (informatif)

Klarifikasi desain manual dengan program elemen hingga pemodelan 2 dimensi

B.1 Desain dan pemodelan

Tahap paling awal sebelum melakukan analisis struktur adalah dengan membuat desain atau model dari struktur yang akan dianalisis seperti tampak pada Gambar B.1. Desain struktur dari model jembatan gantung ini dilakukan dengan menggunakan program elemen hingga. Pada tahap ini dibutuhkan data-data ukuran jembatan dan dimensi elemen struktur sebagai berikut:

Jenis model	: Dimensi jembatan gantung
Panjang bentang kiri, L1	: 13,67 m
Panjang bentang tengah, L2	: 100 m
Panjang bentang kanan, L3	: 13,67 m
Lebar menara, w	: 2 m
Tinggi menara, H1	: 10 m
Jumlah segmen kiri, N1	: -
Jumlah segmen tengah, N2	: 32
Jumlah segmen kanan, N3	: -
Ukuran minimum <i>sag</i> tengah	: 1.5 m
Mutu baja (f_y')	: 400 MPa
Dimensi menara	: W36x194
Dimensi gelagar memanjang	: W30x108
Dimensi gelagar melintang	: kayu 100 mm x 150 mm
Diameter kabel utama	: 80 mm
Diameter batang penggantung	: 30 mm



Gambar B.1 – Model struktur tampak memanjang jembatan

B.2 Pemodelan struktur

Pemodelan struktur pada program dimulai dengan memilih satuan yang akan digunakan, lalu memilih jenis model yang akan dipilih seperti nampak pada Gambar B.2. Selanjutnya, mengisi data-data yang telah dipersiapkan sebelumnya.

Suspension Bridge

Parametric Definition

Suspension Bridge Dimensions

Left Span Length, L1	13,67	Number of Divisions, N1	1
Middle Span Length, L2	100	Number of Divisions, N2	32
Right Span Length, L3	13,67	Number of Divisions, N3	1
Deck Width, W	2	Minimum Middle Sag, S	1,5
Column Height, H1	10	Column Height, H2	10,

Locate Origin...

Section Properties

Beams	W24x103
Columns	W36x194
Cables	W18x35
Areas	ASEC1

Restrains
 Gridlines

OK Cancel

Gambar B.2 – Pemilihan jenis model

B.3 Mengidentifikasi material

Tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi jenis material yang akan digunakan dalam model struktur tersebut. Dalam kasus ini contoh material yang akan digunakan adalah baja dengan $f_y = 400$ MPa. Pengidentifikasiannya dimulai dengan membuka menu *define, materials, steel, modify/show material*, lalu masukan data yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar B.3.

B.4 Mengidentifikasi ukuran penampang

Setelah mengidentifikasi properti material selanjutnya kita dapat mengidentifikasi ukuran penampang yang akan digunakan pada bagian-bagian jembatan. Seperti kabel, menara, gelagar melintang dan memanjang. Identifikasi ini bisa dilakukan dengan memilih menu *define, ukuran penampang, add new property*. Pilih profil yang akan digunakan. Contoh menu pengisian data penampang menara ditunjukkan pada Gambar B.4.

Material Property Data

Material Name STEEL

Display Color Color

Type of Material

- Isotropic
- Orthotropic
- Anisotropic
- Uniaxial

Type of Design

Design Steel

Analysis Property Data

Mass per unit Volume 7,849E-09

Weight per unit Volume 7,697E-05

Modulus of Elasticity 200000

Poisson's Ratio 0,3

Coeff of Thermal Expansion 1,170E-05

Shear Modulus 76903,07

Design Property Data (Indian IS:800-1998)

Minimum Yield Stress, Fy 400

Minimum Tensile Stress, Fu 399,896

Advanced Material Property Data

Time Dependent Properties...

Material Damping Properties...

Stress-Strain Curve Definitions...

OK Cancel

Gambar B.3 – Data masukan (N, mm, C)

I/Wide Flange Section

Section Name W36X194

Extract Data from Section Property File

Open File... C:\Program Files\Computers and Import...

Properties Section Properties...

Property Modifiers Set Modifiers...

Material STEEL

Dimensions

Outside height (t3) 0,9271

Top flange width (t2) 0,3073

Top flange thickness (tf) 0,032

Web thickness (tw) 0,0194

Bottom flange width (t2b) 0,3073

Bottom flange thickness (tfb) 0,032

Display Color

OK

Gambar B.4 – Data masukan (N, mm, C) untuk profil W36x194 (menara)

B.5 Mengidentifikasi kasus beban

Pada bagian ini beban yang bekerja pada struktur jembatan didefinisikan pada lembar isi ini. Beban-beban itu antara lain beban mati dan beban hidup. Dengan cara memilih menu *define* dan kasus beban seperti tampak pada Gambar B.5.

Load Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DEAD	DEAD	0	
live1	LIVE	0	
live2	LIVE	0	

Gambar B.5 – Data masukan bagian identifikasi beban (N, mm, C)

Keterangan gambar:

Live1 adalah kombinasi beban mati dan beban asimetris

Live2 adalah kombinasi beban mati dan beban simetris

B.6 Mengidentifikasi kombinasi beban

Data selanjutnya yang harus diidentifikasi adalah memberikan kombinasi pembebanan yang akan dipakai saat analisis struktur. Terdapat dua kombinasi beban yang dipakai yaitu :

- kombinasi beban mati dan beban hidup asimetris (kombinasi 1);
- kombinasi beban mati dan beban hidup simetris (kombinasi 2);

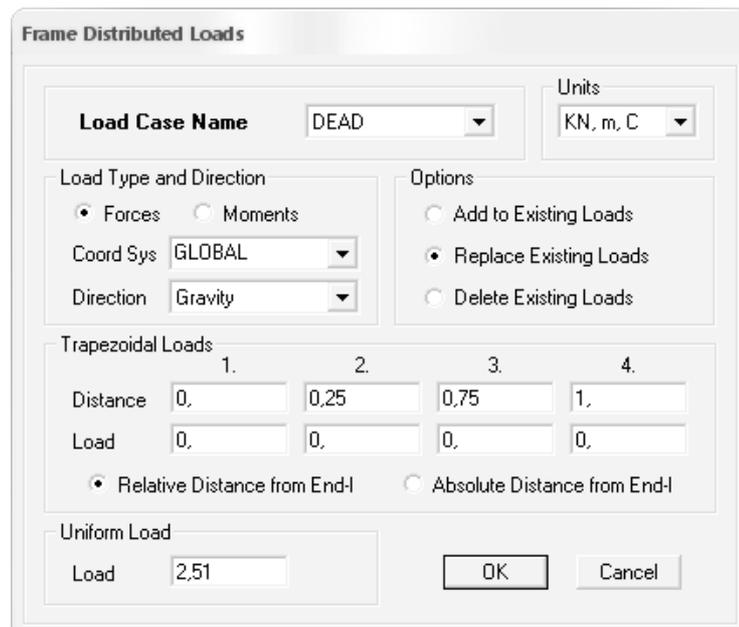
Contoh cara pendefinisian kombinasi beban ditunjukkan pada Gambar B.6.

Case Name	Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,
DEAD	Linear Static	1,
live1	Linear Static	1,

Gambar B.6 – Data masukan kombinasi beban

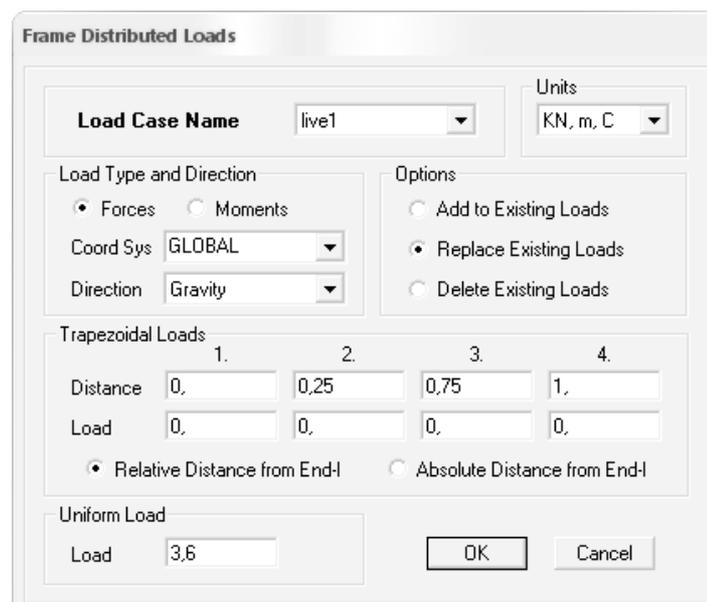
B.7 Mengidentifikasi beban

Beban-beban yang direncanakan sebelumnya dimasukkan pada bagian-bagian tertentu. Beban-beban ini diidentifikasi pada gelagar dengan beban hidup asimetris sebesar 3,6 kN/m seperti tampak pada Gambar B.7a, beban hidup simetris 2,7 kN/m seperti tampak pada Gambar B.7b, juga beban mati sebesar 2,51 kN/m seperti tampak pada Gambar B.7c. Setelah data beban dimasukkan, tampilan beban pada model dapat dilihat pada Gambar B.7d untuk beban mati, Gambar B.7e untuk beban hidup asimetris, dan Gambar B.7f untuk beban hidup simetris.



The screenshot shows the 'Frame Distributed Loads' dialog box. The 'Load Case Name' is set to 'DEAD' and the 'Units' are 'KN, m, C'. Under 'Load Type and Direction', 'Forces' is selected, 'Coord Sys' is 'GLOBAL', and 'Direction' is 'Gravity'. Under 'Options', 'Replace Existing Loads' is selected. The 'Trapezoidal Loads' section has four columns with distances 0, 0,25, 0,75, and 1, and all load values are 0. The 'Uniform Load' section has a 'Load' value of 2,51. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Gambar B.7a – Data masukan identifikasi beban mati



The screenshot shows the 'Frame Distributed Loads' dialog box. The 'Load Case Name' is set to 'live1' and the 'Units' are 'KN, m, C'. Under 'Load Type and Direction', 'Forces' is selected, 'Coord Sys' is 'GLOBAL', and 'Direction' is 'Gravity'. Under 'Options', 'Replace Existing Loads' is selected. The 'Trapezoidal Loads' section has four columns with distances 0, 0,25, 0,75, and 1, and all load values are 0. The 'Uniform Load' section has a 'Load' value of 3,6. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Gambar B.7b – Data masukan identifikasi beban hidup 1 (asimetris)

Frame Distributed Loads

Load Case Name: Units:

Load Type and Direction: Forces Moments

Coord Sys: Options: Add to Existing Loads Replace Existing Loads Delete Existing Loads

Direction:

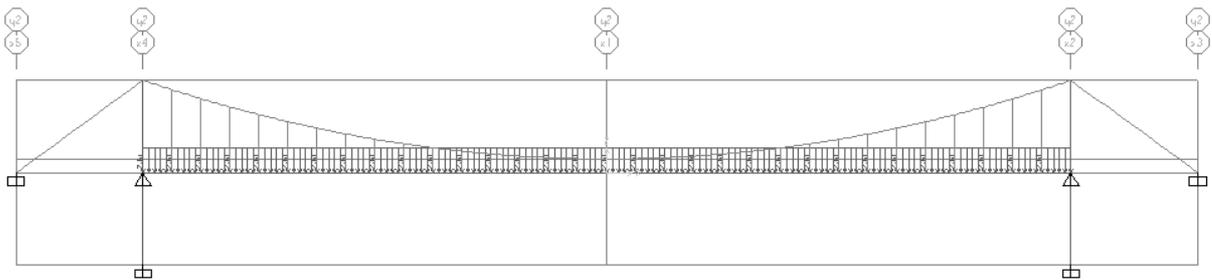
Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,25"/>	<input type="text" value="0,75"/>	<input type="text" value="1,"/>
Load	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>

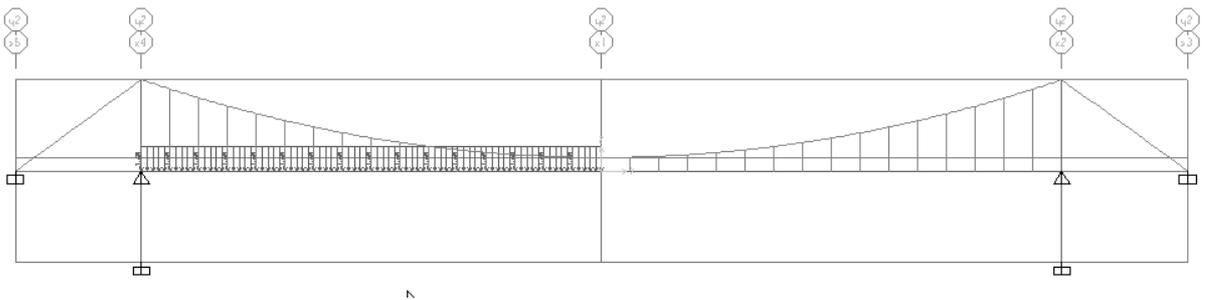
Relative Distance from End-I Absolute Distance from End-I

Uniform Load:

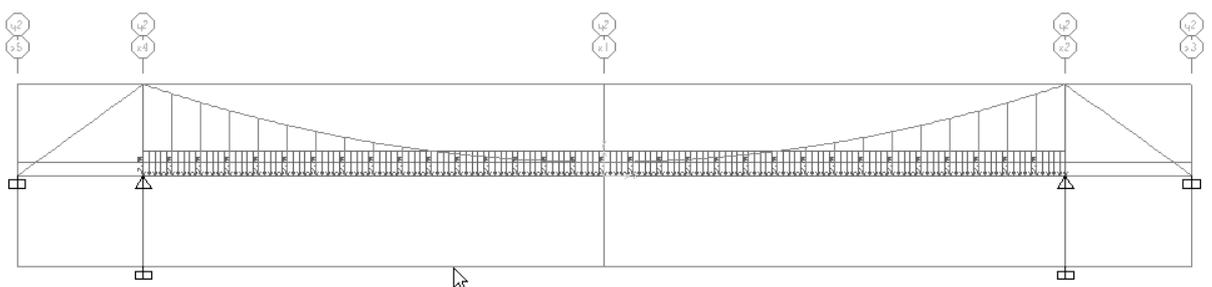
Gambar B.7c – Data masukan identifikasi beban hidup 2 (simetris)



Gambar B.7d – Letak pembebanan untuk beban mati



Gambar B.7e – Letak pembebanan untuk beban hidup asimetris

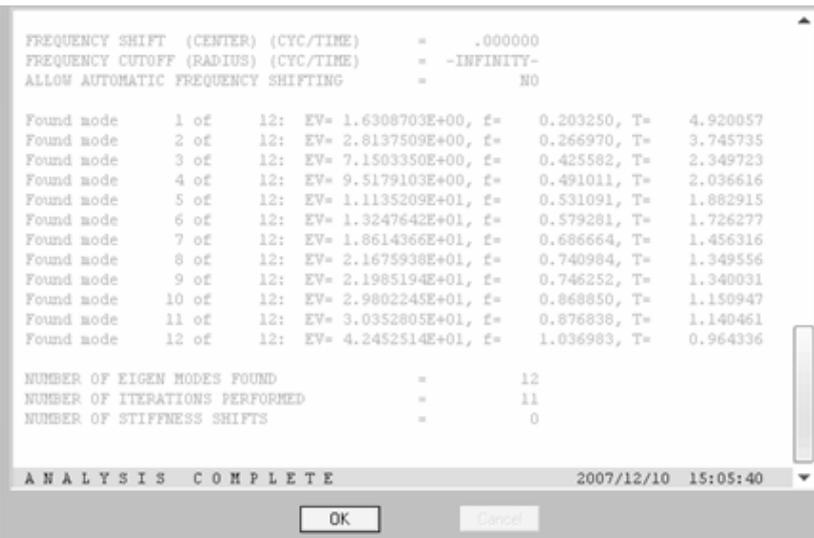


Gambar B.7f – Letak pembebanan untuk beban hidup simetris

B.8 Hasil perhitungan program analisis struktur

Setelah semua data dimasukkan pada model, analisis struktur dapat langsung dilakukan. Dengan cara memilih menu *analyze, run analysis, run now*, maka program akan menjalankan perhitungan analisis struktur.

Hasil analisis tersebut berupa frekuensi alami seperti tampak pada Gambar B.8a, ragam getar dominan pertama seperti tampak pada Gambar B.8b, gaya aksial akibat kombinasi 2 pada Gambar B.8c, momen 3-3 akibat kombinasi 1 pada Gambar 8d, lendutan pada seperempat bentang yang dapat dilihat pada Tabel B.1 dan letak titik-titik simpul yang dapat dilihat pada Gambar B.8e .

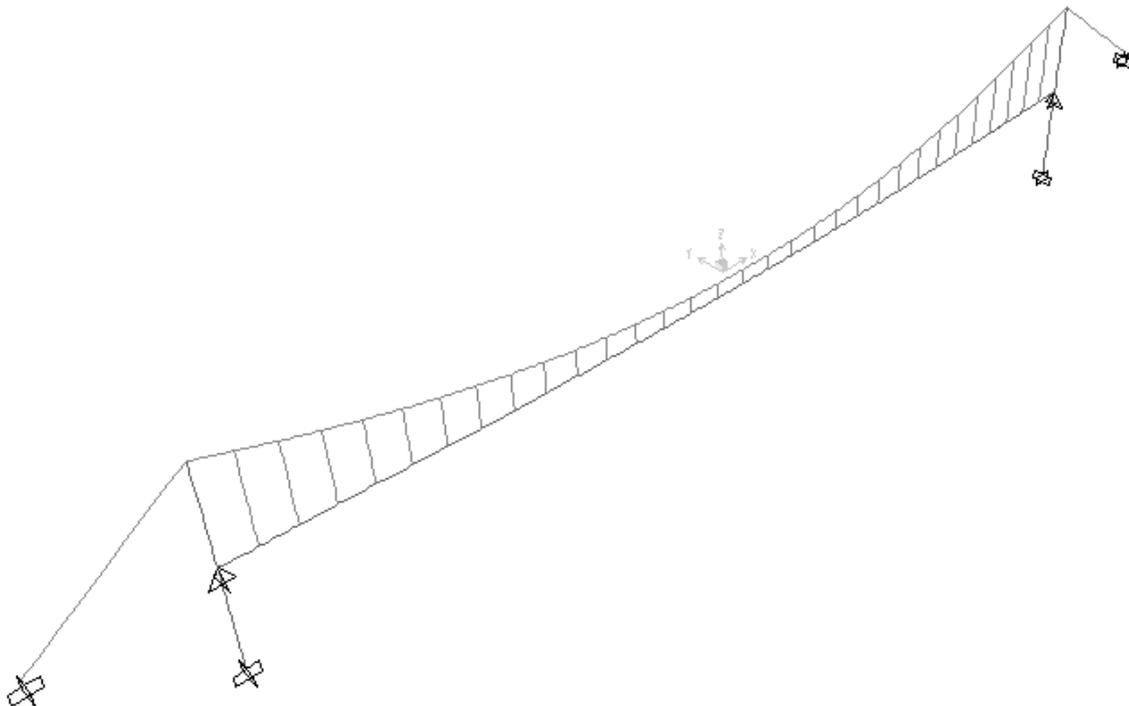


Found mode	Order	EV	f	T
1	1 of 12	1.6308703E+00	0.203250	4.920057
2	2 of 12	2.8137509E+00	0.266970	3.745735
3	3 of 12	7.1503350E+00	0.425582	2.349723
4	4 of 12	9.5179103E+00	0.491011	2.036616
5	5 of 12	1.1135209E+01	0.531091	1.882915
6	6 of 12	1.3247642E+01	0.579281	1.726277
7	7 of 12	1.8614366E+01	0.686664	1.456316
8	8 of 12	2.1675938E+01	0.740984	1.349556
9	9 of 12	2.1985194E+01	0.746252	1.340031
10	10 of 12	2.9802245E+01	0.868850	1.150947
11	11 of 12	3.0352805E+01	0.876838	1.140461
12	12 of 12	4.2452514E+01	1.036983	0.964336

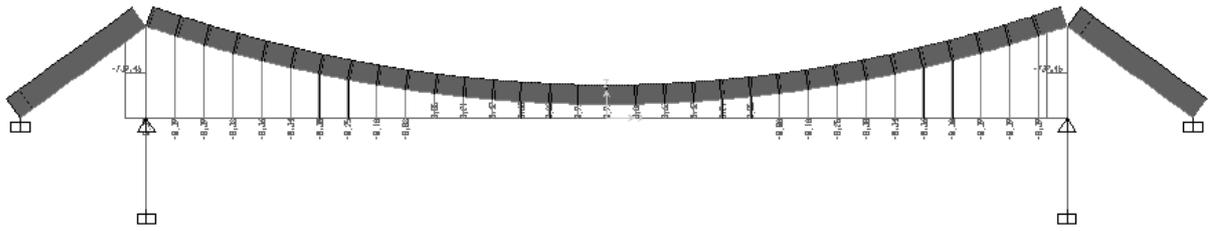
NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12
NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 11
NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS = 0

ANALYSIS COMPLETE 2007/12/10 15:05:40

Gambar B.8a – Hasil analisis



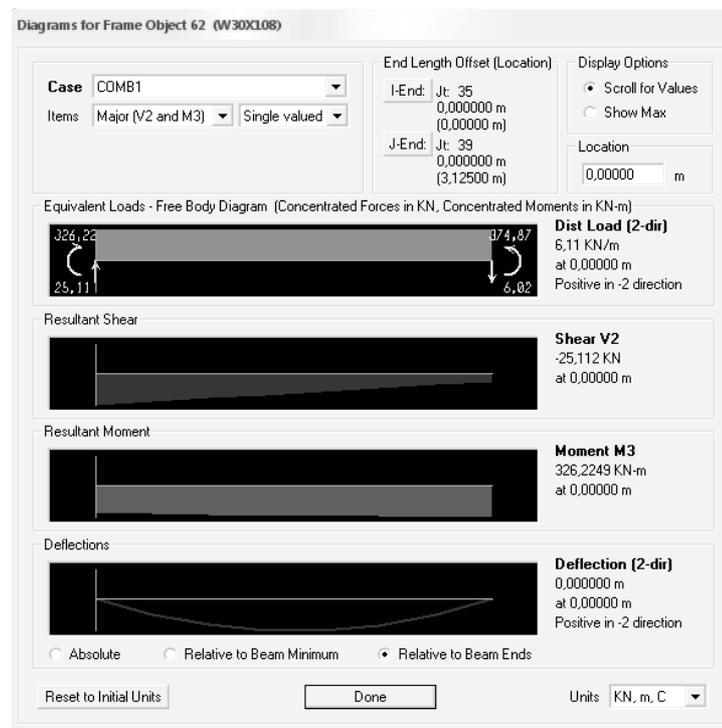
Gambar B.8b – Ragam getar pertama gerak maju mundur



Gambar B.8c – Gaya aksial akibat kombinasi 2

Pada hasil tersebut didapat gaya maksimum pada kabel pendukung sebesar 857,40 kN, sedangkan pada kabel utama sebesar 746,46 kN.

Berikut ini merupakan hasil momen 3-3 pada ¼ bentang akibat kombinasi 1 (beban mati dan beban hidup asimetris)



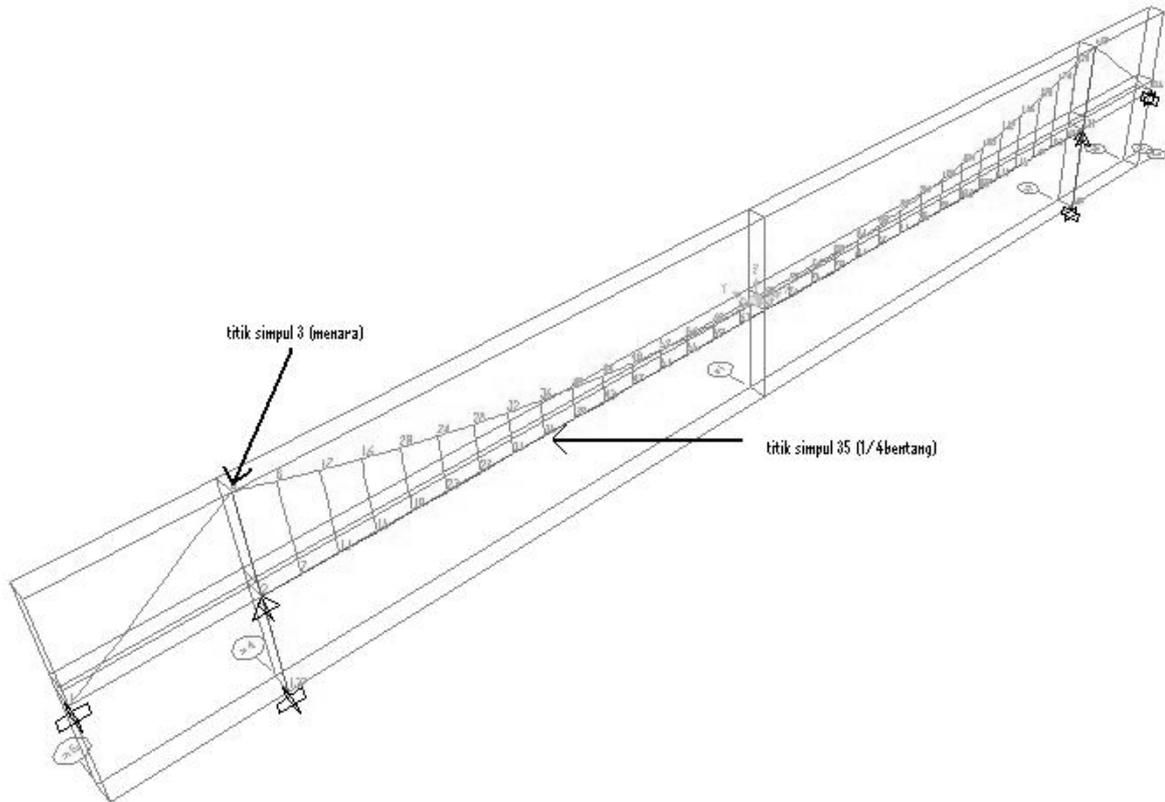
Gambar B.8d – Hasil momen 3-3 akibat kombinasi 1

Lendutan maksimum pada seperempat bentang gelagar seperti tampak pada Gambar B.8e ditunjukkan pada Tabel B.1 pada titik simpul 35 pada kombinasi pembebanan 1, sedangkan perpindahan longitudinal pada puncak menara ditunjukkan pada titik simpul 3 pada kombinasi pembebanan 2.

Lendutan maksimum pada gelagar sebesar -0,311 m sehingga lebih kecil dari lendutan izin sebesar $L/200$ meter. Perpindahan longitudinal pada puncak menara sebesar 0,0186 m menunjukkan bahwa menara sudah cukup kaku.

Tabel B.1 - Lendutan titik simpul

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
3	COMB1	Combination	0,0161	0	-0,0009	0,0000	0,0015	0
3	COMB2	Combination	0,0186	0	-0,0010	0,0000	0,0021	0
35	COMB1	Combination	0,0000	0	-0,3109	0,0000	0,0102	0
35	COMB2	Combination	0,0000	0	-0,1767	0,0000	0,0087	0



Gambar B.8e – Letak titik simpul pada model jembatan

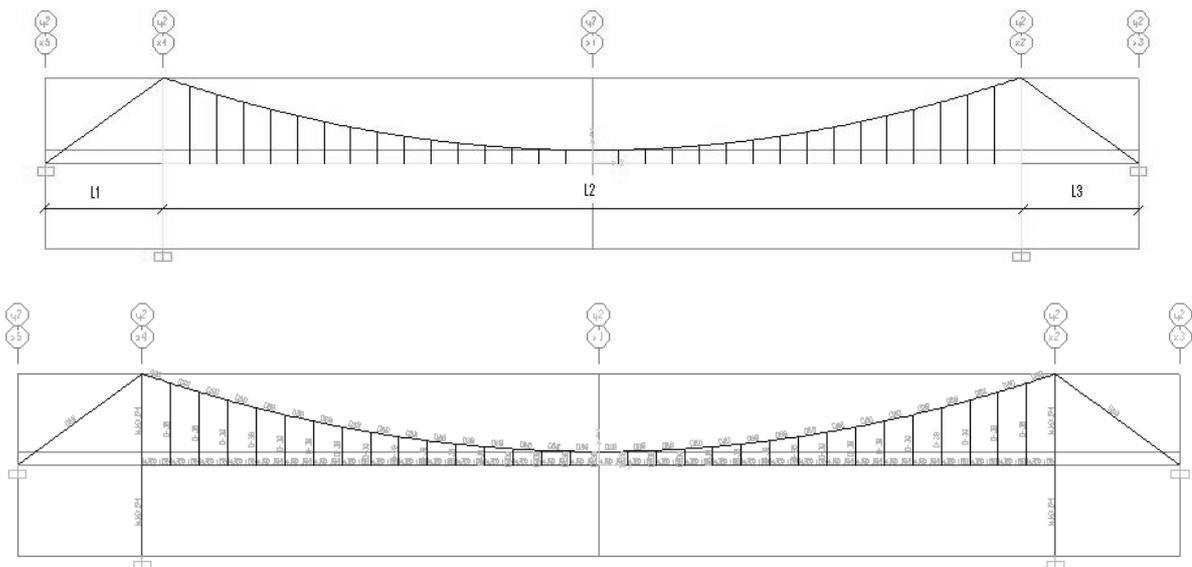
Lampiran C (informatif)

Klarifikasi desain manual dengan program elemen hingga pemodelan 3 dimensi

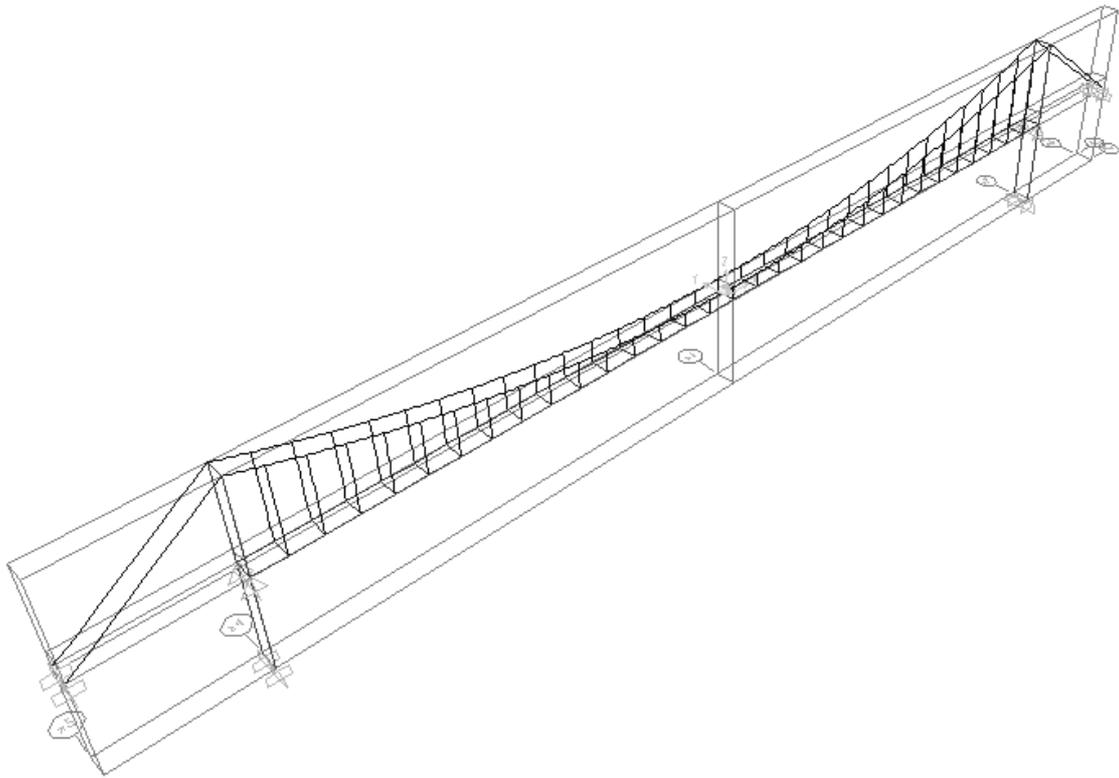
C.1 Desain dan pemodelan

Tahap paling awal sebelum melakukan analisis struktur adalah dengan membuat desain atau model dari struktur yang akan dianalisis seperti nampak pada Gambar C.1a untuk model struktur tampak muka, Gambar C.1b untuk model struktur tampak 3 dimensi dan Gambar C.1c untuk gelagar memanjang dan melintang. Desain struktur dari model jembatan gantung ini dilakukan dengan menggunakan program elemen hingga. Pada tahap ini dibutuhkan data-data ukuran jembatan dan dimensi elemen stuktur sebagai berikut:

Jenis Model	: Dimensi jembatan gantung
Panjang bentang kiri, L1	: 13,67 m
Panjang bentang tengah, L2	: 100 m
Panjang bentang kanan, L3	: 13,67 m
Lebar menara, w	: 2 m
Tinggi menara, H1	: 10 m
Jumlah segmen kiri, N1	: -
Jumlah segmen tengah, N2	: 32
Jumlah segmen kanan, N3	: -
Ukuran minimum sag tengah	: 1.5 m
Mutu baja (f_y')	: 400 MPa
Dimensi menara	: W36x194
Dimensi gelagar memanjang	: W30x108
Dimensi gelagar melintang	: kayu 100 mm x 150 mm
Diameter kabel utama	: 80 mm
Diameter batang penggantung	: 30 mm



Gambar C.1a – Model struktur tampak memanjang jembatan



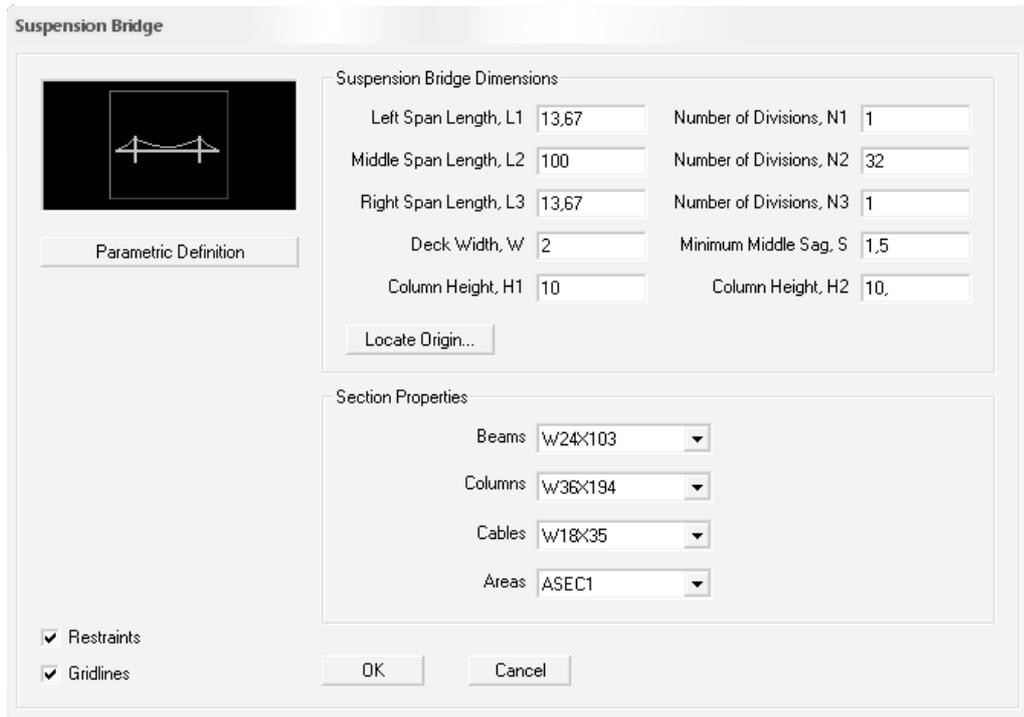
Gambar C.1b – Model struktur tampak 3 dimensi



Gambar C.1c – Gelagar memanjang dan melintang

C.2 Masukkan data struktur untuk permodelan 3 dimensi

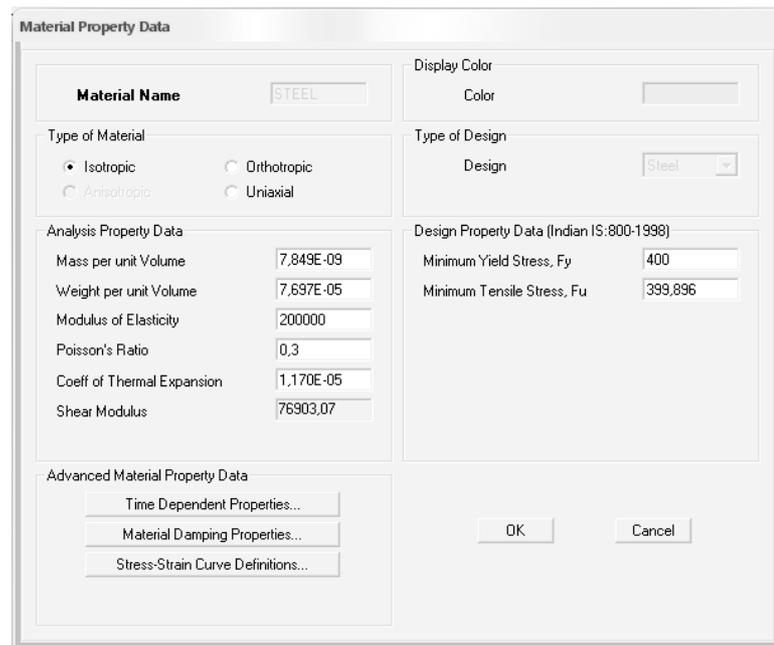
Pemodelan struktur pada program dimulai dengan memilih satuan yang akan digunakan, lalu memilih jenis model yang akan dipilih seperti tampak pada Gambar C.2. Selanjutnya, mengisi data-data yang telah dipersiapkan sebelumnya.



Gambar C.2 – Pemilihan jenis model

C.3 Mengidentifikasi material

Tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi jenis material yang akan digunakan dalam model struktur tersebut. Dalam kasus ini contoh material yang akan digunakan adalah baja dengan $f_y = 400$ MPa. Pengidentifikasiannya dimulai dengan membuka menu *define, materials, steel, modify/show material*, lalu masukan data-data yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar C.3.

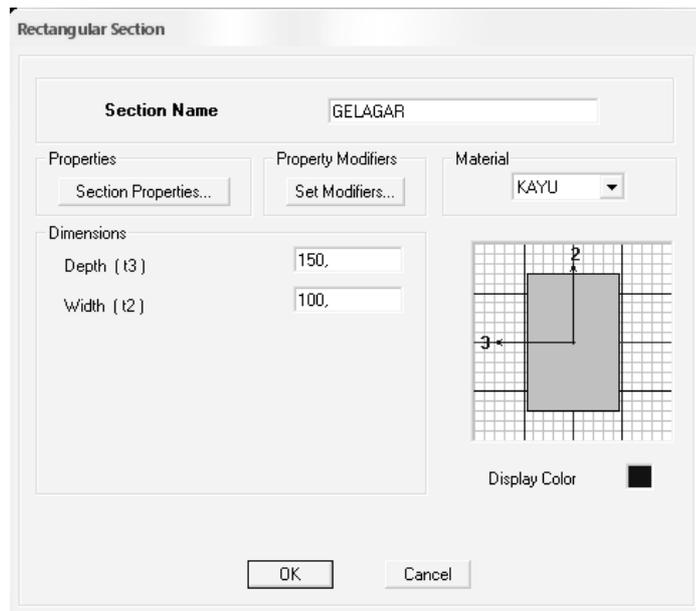


Gambar C.3 – Data masukan (N, mm, C)

C.4 Mengidentifikasi *ukuran penampang*

Setelah mengidentifikasi properti material selanjutnya kita dapat mengidentifikasi ukuran penampang yang akan digunakan pada bagian-bagian jembatan, seperti kabel, menara, gelagar melintang dan memanjang.

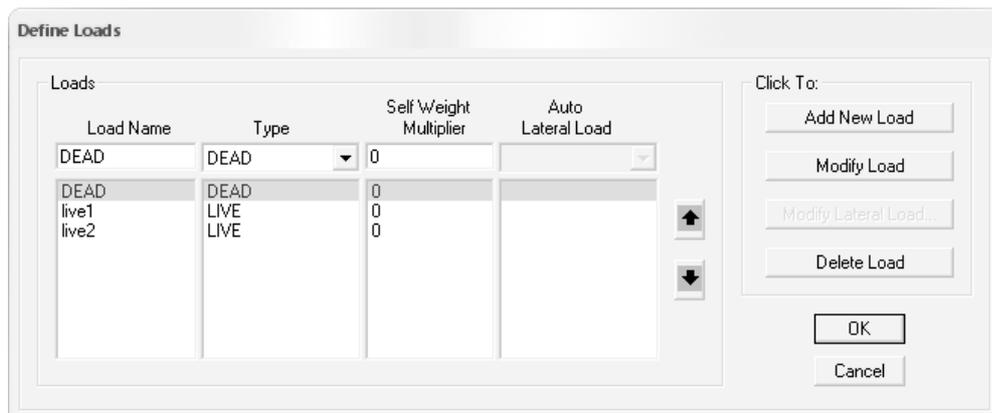
Identifikasi ini bisa dilakukan dengan memilih menu *define, ukuran penampang, add new property*. Pilih profil yang akan digunakan. Contoh menu pengisian data penampang gelagar melintang dengan material kayu ditunjukkan pada Gambar C.4.



Gambar C.4 – Data masukan (N, mm, C) kayu 100 x 150

C.5 Mengidentifikasi kasus beban

Pada bagian ini beban yang bekerja pada struktur jembatan didefinisikan pada lembar isi ini. Beban-beban itu antara lain beban mati dan beban hidup. Dengan cara memilih menu *define* dan kasus beban seperti tampak pada Gambar C.5.



Gambar C.5 – Data masukan bagian identifikasi beban (N, mm, C)

Keterangan gambar:

Live1 adalah kombinasi beban mati dan beban asimetris

Live2 adalah kombinasi beban mati dan beban simetris

C.6 Mengidentifikasi kombinasi beban

Data selanjutnya yang harus diidentifikasi adalah memberikan kombinasi pembebanan yang akan dipakai saat analisis struktur nantinya. Terdapat dua kombinasi beban yang dipakai yaitu :

- a) Kombinasi beban mati dan beban hidup simetris (kombinasi 2);
- b) Kombinasi beban mati dan beban hidup asimetris (kombinasi1).

Contoh cara pendefinisian kombinasi beban ditunjukkan pada Gambar C.6.

Case Name	Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,
DEAD	Linear Static	1,
live1	Linear Static	1,

Gambar C.6 – Data masukan kombinasi beban

C.7 Mengidentifikasi beban

Beban-beban yang direncanakan sebelumnya dimasukkan pada bagian-bagian tertentu. Beban-beban ini diidentifikasi pada gelagar dengan beban hidup asimetris sebesar 3,6 kN/m seperti tampak pada Gambar C.7a, beban hidup simetris 2,7 kN/m seperti tampak pada Gambar C.7b, juga beban mati sebesar 2,51 kN/m seperti tampak pada Gambar C.7c. Setelah data beban dimasukkan maka tampilan beban pada model dapat dilihat pada Gambar C.7d untuk beban mati, Gambar C.7e untuk beban hidup asimetris, dan Gambar C.7f untuk beban hidup simetris.

Frame Distributed Loads

Load Case Name: DEAD Units: KN, m, C

Load Type and Direction:

- Forces Moments
- Coord Sys: GLOBAL
- Direction: Gravity

Options:

- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0,	0,25	0,75	1,
Load	0,	0,	0,	0,

Relative Distance from End-I Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load: 2,51

OK Cancel

Gambar C.7a – Data masukan identifikasi beban mati

Frame Distributed Loads

Load Case Name: live1 Units: KN, m, C

Load Type and Direction:

- Forces Moments
- Coord Sys: GLOBAL
- Direction: Gravity

Options:

- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0,	0,25	0,75	1,
Load	0,	0,	0,	0,

Relative Distance from End-I Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load: 3,6

OK Cancel

Gambar C.7b – Data masukan identifikasi beban hidup1 (asimetris)

Frame Distributed Loads

Load Case Name: Units:

Load Type and Direction: Forces Moments

Coord Sys: Direction:

Options: Add to Existing Loads Replace Existing Loads Delete Existing Loads

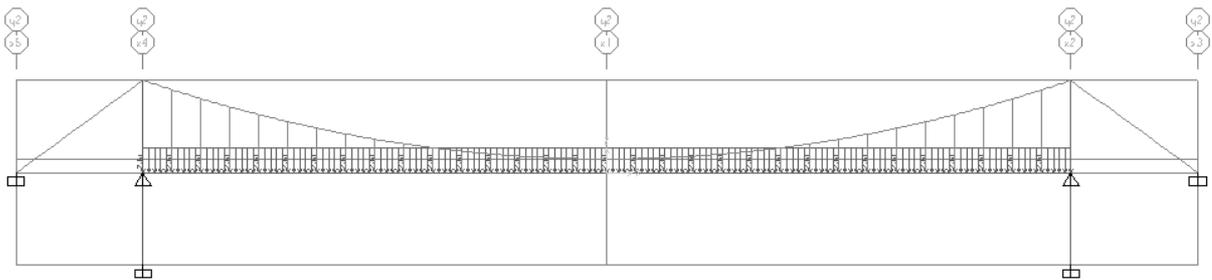
Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,25"/>	<input type="text" value="0,75"/>	<input type="text" value="1,"/>
Load	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>

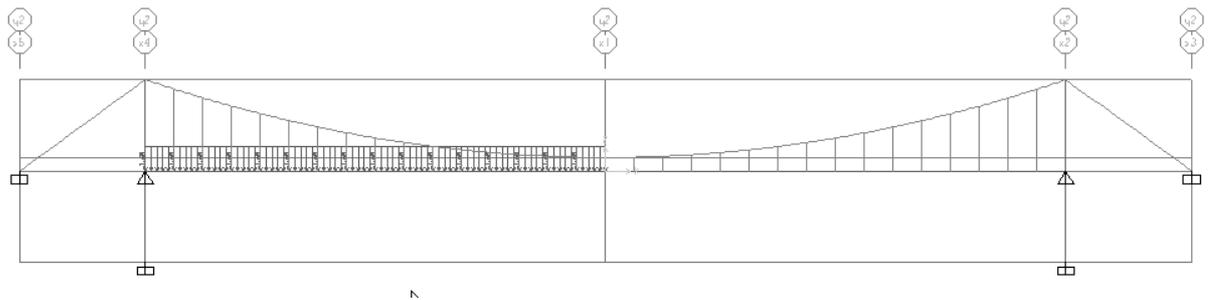
Relative Distance from End-I Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load

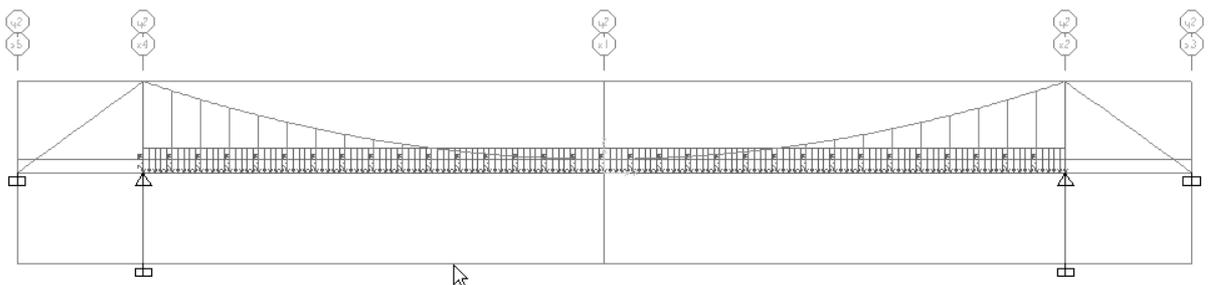
Gambar C.7c – Data masukan identifikasi beban hidup2 (simetris)



Gambar C.7d – Letak pembebanan untuk beban mati dan beban hidup simetris



Gambar C.7e – Letak pembebanan untuk beban hidup asimetris

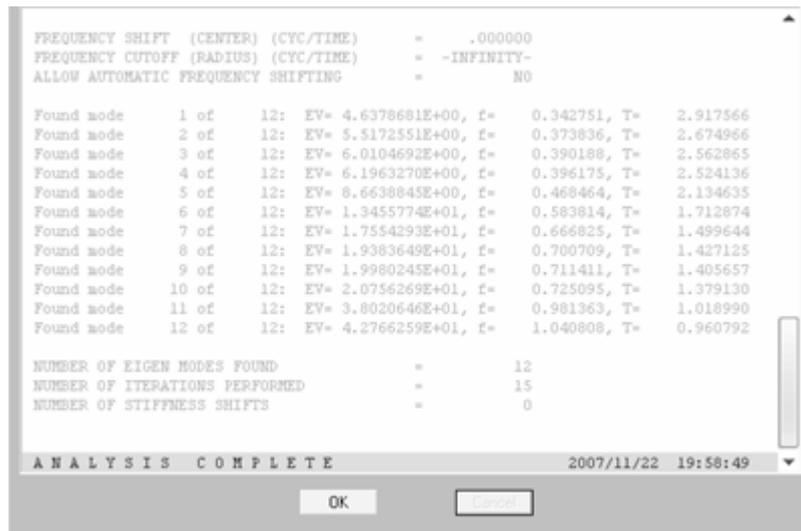


Gambar C.7f – Letak pembebanan untuk beban hidup simetris

C.8 Hasil analisis struktur

Setelah semua data dimasukkan pada model, analisis struktur dapat langsung dilakukan. Dengan cara memilih menu *analyze, run analysis, run now*, program akan menjalankan perhitungan analisis struktur.

Hasil analisis tersebut berupa frekuensi alami seperti tampak pada Gambar C.8a, ragam getar dominan pertama seperti tampak pada Gambar C.8b, gaya aksial akibat kombinasi 2 pada Gambar C.8c, momen 3-3 akibat kombinasi 1 pada Gambar 8d, lendutan pada seperempat bentang yang dapat dilihat pada Tabel C.1 dan letak titik-titik simpul yang dapat dilihat pada Gambar C.8e .

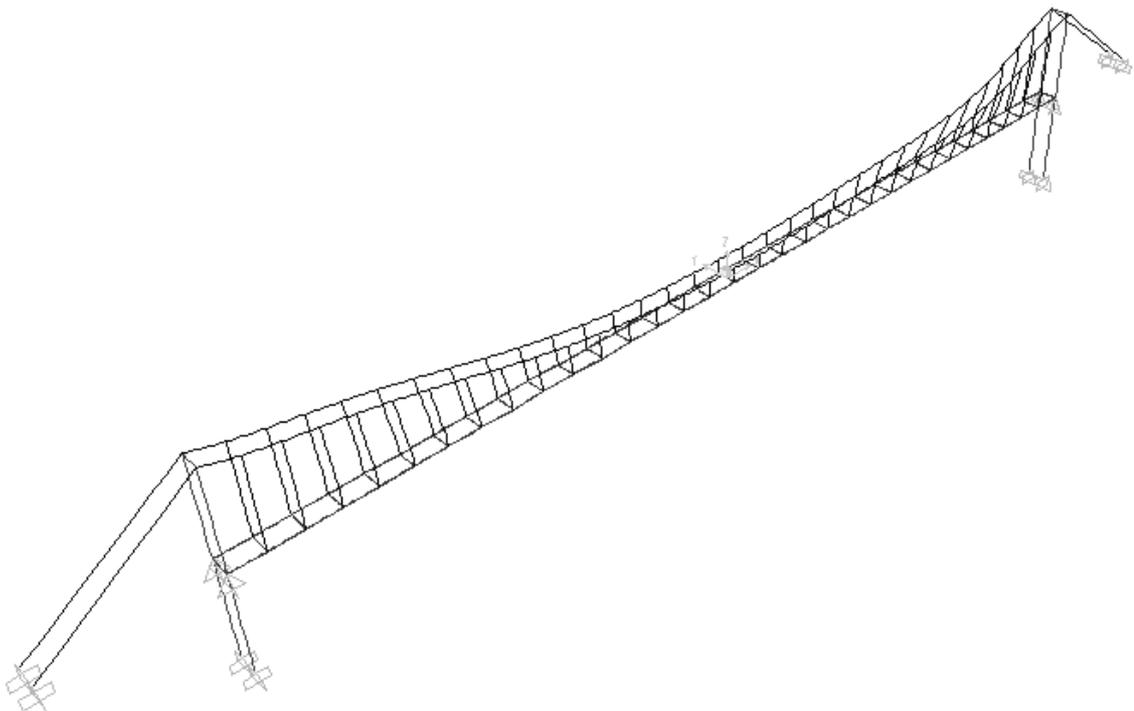


Found mode	of	12:	EV=	f=	T=
1	12:	EV= 4.6378681E+00,	f= 0.342751,	T= 2.917566	
2	12:	EV= 5.5172551E+00,	f= 0.373836,	T= 2.674966	
3	12:	EV= 6.0104692E+00,	f= 0.390188,	T= 2.562865	
4	12:	EV= 6.1963270E+00,	f= 0.396175,	T= 2.524136	
5	12:	EV= 8.6638845E+00,	f= 0.468464,	T= 2.134635	
6	12:	EV= 1.3455774E+01,	f= 0.583814,	T= 1.712874	
7	12:	EV= 1.7554293E+01,	f= 0.666825,	T= 1.499644	
8	12:	EV= 1.9383649E+01,	f= 0.700709,	T= 1.427125	
9	12:	EV= 1.9980245E+01,	f= 0.711411,	T= 1.405657	
10	12:	EV= 2.0756269E+01,	f= 0.725095,	T= 1.379130	
11	12:	EV= 3.8020646E+01,	f= 0.981363,	T= 1.018990	
12	12:	EV= 4.2766259E+01,	f= 1.040808,	T= 0.960792	

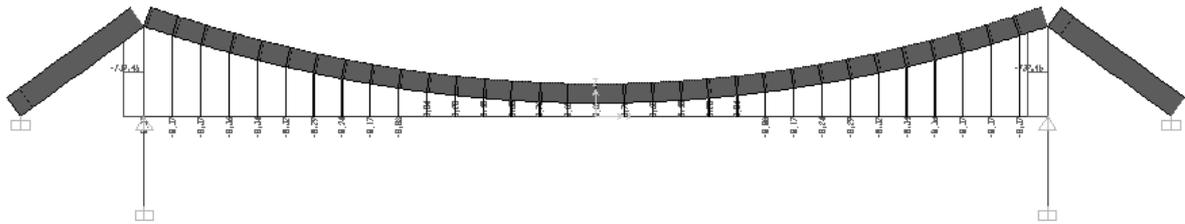
NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12
NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 15
NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS = 0

ANALYSIS COMPLETE 2007/11/22 19:58:49

Gambar C.8a – Hasil analisis



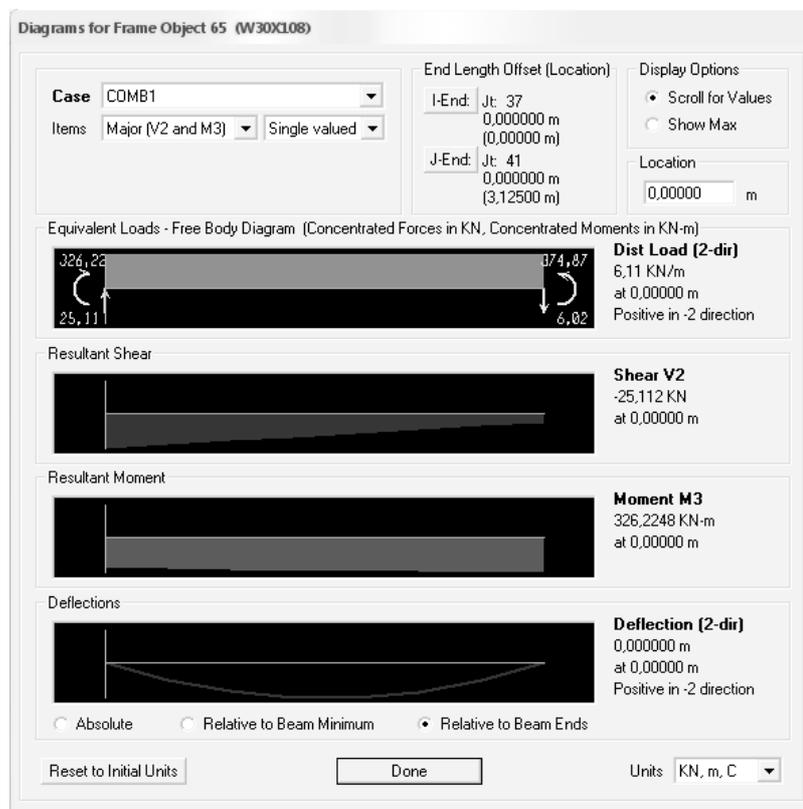
Gambar C.8b – Ragam getar pertama gerak maju mundur



Gambar C.8c – Hasil tegangan aksial akibat kombinasi 2

Pada hasil tersebut didapat tegangan maksimum pada kabel pendukung sebesar 857,40 kN, sedangkan pada kabel utama sebesar 746,46 kN.

Berikut ini adalah hasil momen 3-3 pada ¼ bentang akibat kombinasi 1 (beban mati dan beban hidup asimetris)



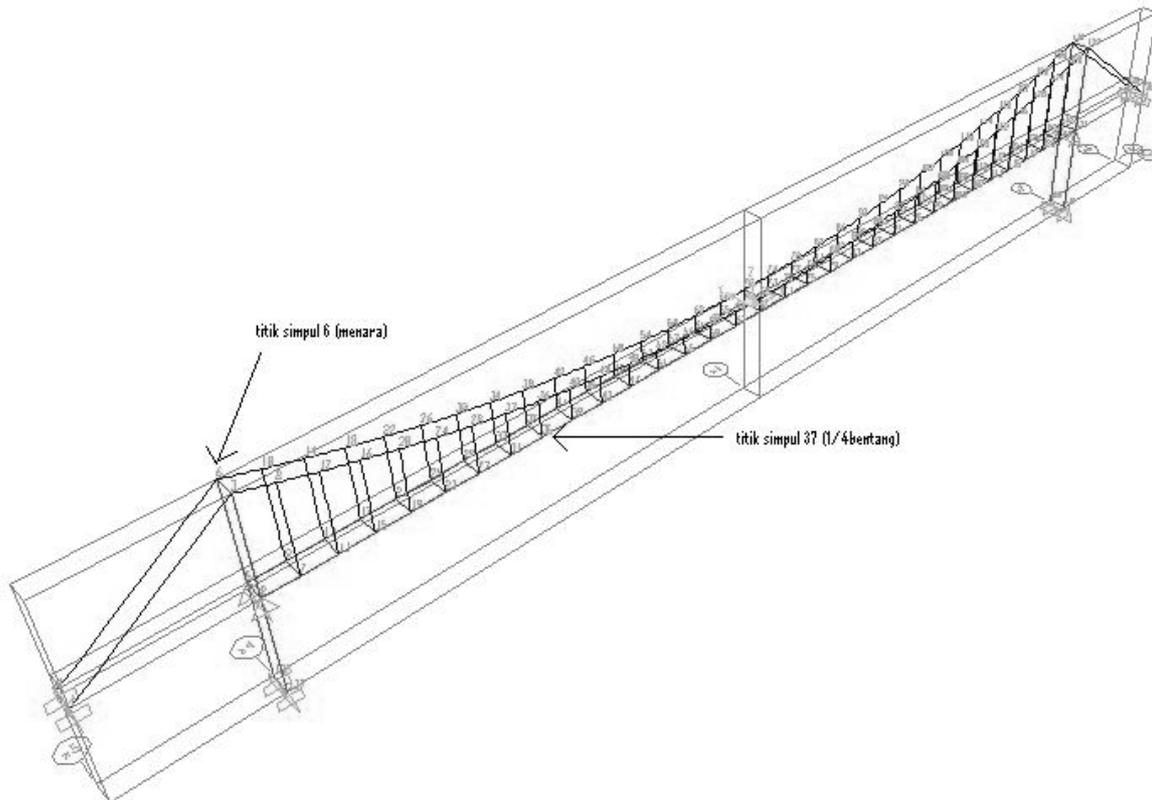
Gambar C.8d – Hasil momen 3-3 akibat kombinasi 1

Lendutan maksimum pada seperempat bentang gelagar seperti tampak pada Gambar C.8e ditunjukkan pada Tabel C.1 pada titik simpul 37 pada kombinasi pembebanan 1, sedangkan perpindahan longitudinal pada puncak menara ditunjukkan pada titik simpul 6 pada kombinasi pembebanan 2.

Lendutan maksimum pada gelagar sebesar -0,311 m sehingga lebih kecil dari lendutan izin sebesar $L/200$ meter. Perpindahan longitudinal pada puncak menara sebesar 0,0186 m menunjukkan bahwa menara sudah cukup kaku.

Tabel C.1 - Lentutan pada titik simpul

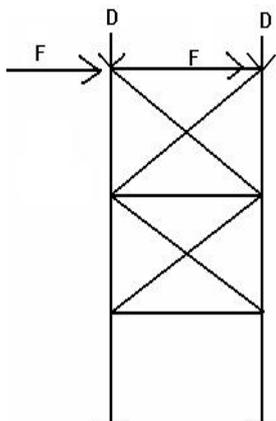
TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
6	COMB1	Combination	0,0161	1,49E-14	-9E-04	5E-13	0,00148	1,6E-10
6	COMB2	Combination	0,0186	3,31E-15	-0,001	8E-14	0,00213	2,4E-11
37	COMB1	Combination	-0,00002	1,36E-07	-0,311	7E-11	0,01024	-2E-09
37	COMB2	Combination	-0,000002	1,34E-08	-0,177	2E-11	0,00875	-9E-10



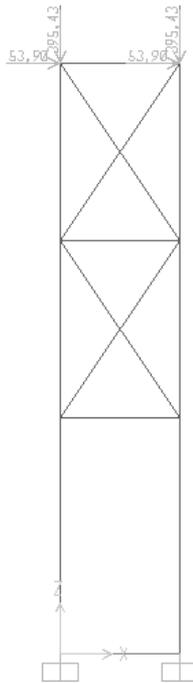
Gambar C.8e – Letak titik simpul pada model jembatan

C.9 Perhitungan gempa statik ekuivalen

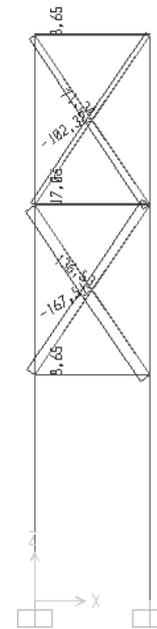
Beban gempa dihitung secara statik ekuivalen dengan memberikan beban lateral di puncak menara sebesar 15% sampai dengan maksimum 20% beban mati pada puncak menara sebagaimana Gambar C.9a dan Gambar C.9b.



- $F = 15\%$ dari gaya kabel total
 $= 2 \times 59,31 \text{ kN} = 118,62 \text{ kN}$
- Profil menara WF 36 x 194:
 Lebar sayap = 307,34 mm
 $I_{y,y} = 1,561 \times 10^8 \text{ mm}^4$
 $A = 1856 \text{ mm}^2$
- Profil *bracing* L 6 x 6 x 1/2
 $A = 3709,67 \text{ mm}^2$
 I sumbu lemah = 19,9 mm



Gambar C.9a – Beban gempa lateral



Gambar C.9b – Gaya dalam aksial

Penyelesaian hasil analisis

- Perpindahan lateral maksimum = 18,99 mm
- Momen pada portal menara = 129,88 kN.m
- Gaya aksial pada batang pengaku = 130,44 kN dan -172,48 kN

Cek kekuatan

Portal menara

Tegangan yang terjadi:

$$\sigma = \frac{M \cdot X}{I_y} \quad \text{dimana} \quad x = \frac{bf}{2}$$

$$\frac{129,88 \times 10^6 \times \left(\frac{307}{2}\right)}{1,561 \times 10^8} = 127,89 \text{ MPa} < \sigma_{izin} = 160 \text{ MPa}$$

Batang pengaku

Batang tarik

$$\sigma = \frac{N}{A_{netto}} = \frac{130,44 \times 10^3}{0,8 \times 3709,67} = 43,95 \text{ MPa} < \sigma_{tarik} = 160 \text{ MPa}$$

Batang tekan

$$\sigma = \frac{\omega N}{A}$$

$$\lambda = \frac{3605}{\sqrt{\frac{8286267}{3709,67}}} = 76,32 \quad \text{didapat } \omega = 1,552$$

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} = \frac{1,552 \times 172,48 \times 10^3}{3709,67} = 72,16 \text{ MPa} < \sigma_{izin} = 160 \text{ MPa}$$

C.10 Tabel perbandingan analisis struktur

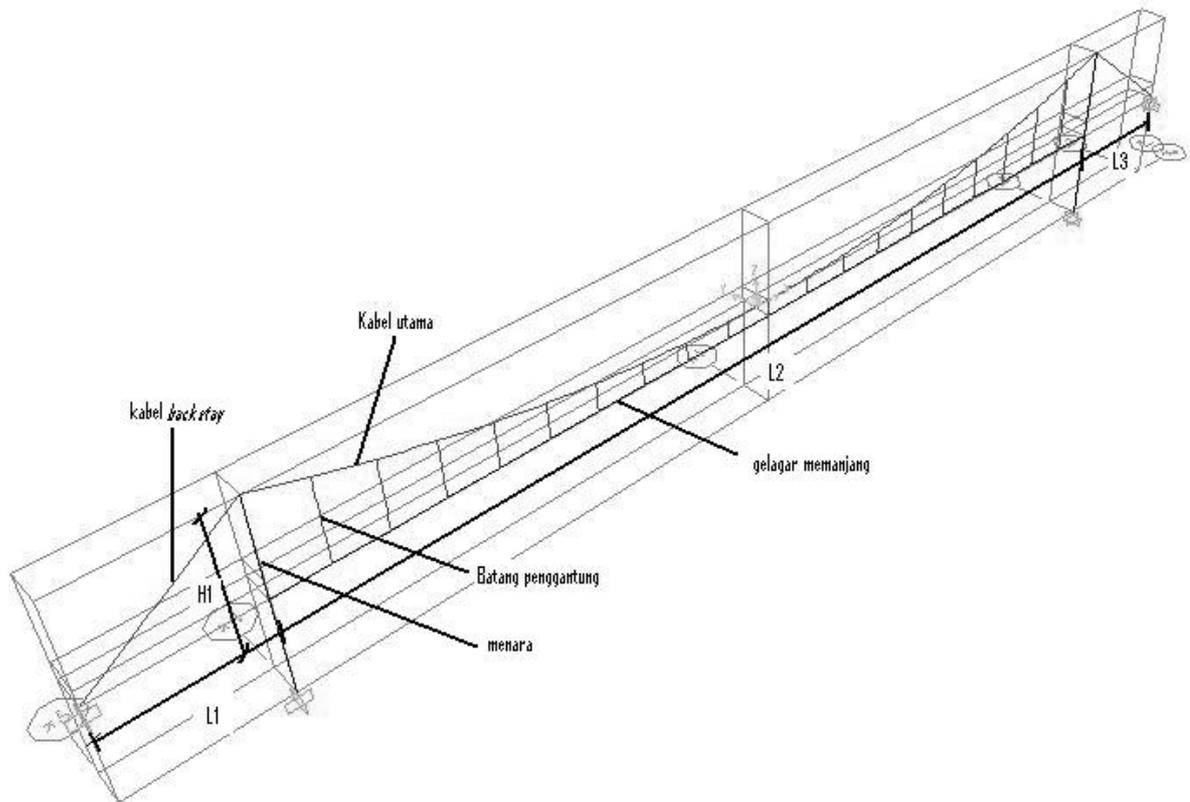
Hasil klarifikasi desain manual dengan program analisis struktur dibandingkan dalam Tabel C.2. Dari tabel tersebut tampak bahwa perhitungan manual memiliki hasil yang lebih konservatif dibanding perhitungan program analisis struktur dengan perbedaan $\pm 10\%$, sehingga perhitungan manual relatif lebih aman.

Tabel C.2 - Perbandingan analisis struktur

Hal	Perhitungan manual	Perhitungan Program analisis struktur 2D	% Δ
Gaya tarik kabel <i>backstay</i> (kN)	949,16	857,40	-9,67
Gaya tarik kabel utama (kN)	809,21	746,46	-7,75
Δ (m)	0,312	0,311	-0,32
Momen (kNm), di $\frac{1}{4}$ bentang	427,50	374,83	-12,32
Aksial menara (kN)	820,80	739,45	-9,91

Lampiran D
(informatif)
Panduan pemilihan dimensi jembatan gantung pejalan kaki

Untuk memilih dimensi jembatan gantung pejalan kaki sederhana dengan variasi bentang 60 m, 80 m, 100 m, dan 120 m, para perencana struktur dapat menggunakan Tabel D.1 sebagai panduan. Panduan pemilihan dimensi ini didasarkan pada hasil analisis menggunakan program elemen hingga dengan target lendutan maksimum di seperempat bentang sebesar $L/300$. Sketsa ukuran jembatan dan elemen-elemen struktur ditunjukkan oleh Gambar D.1.

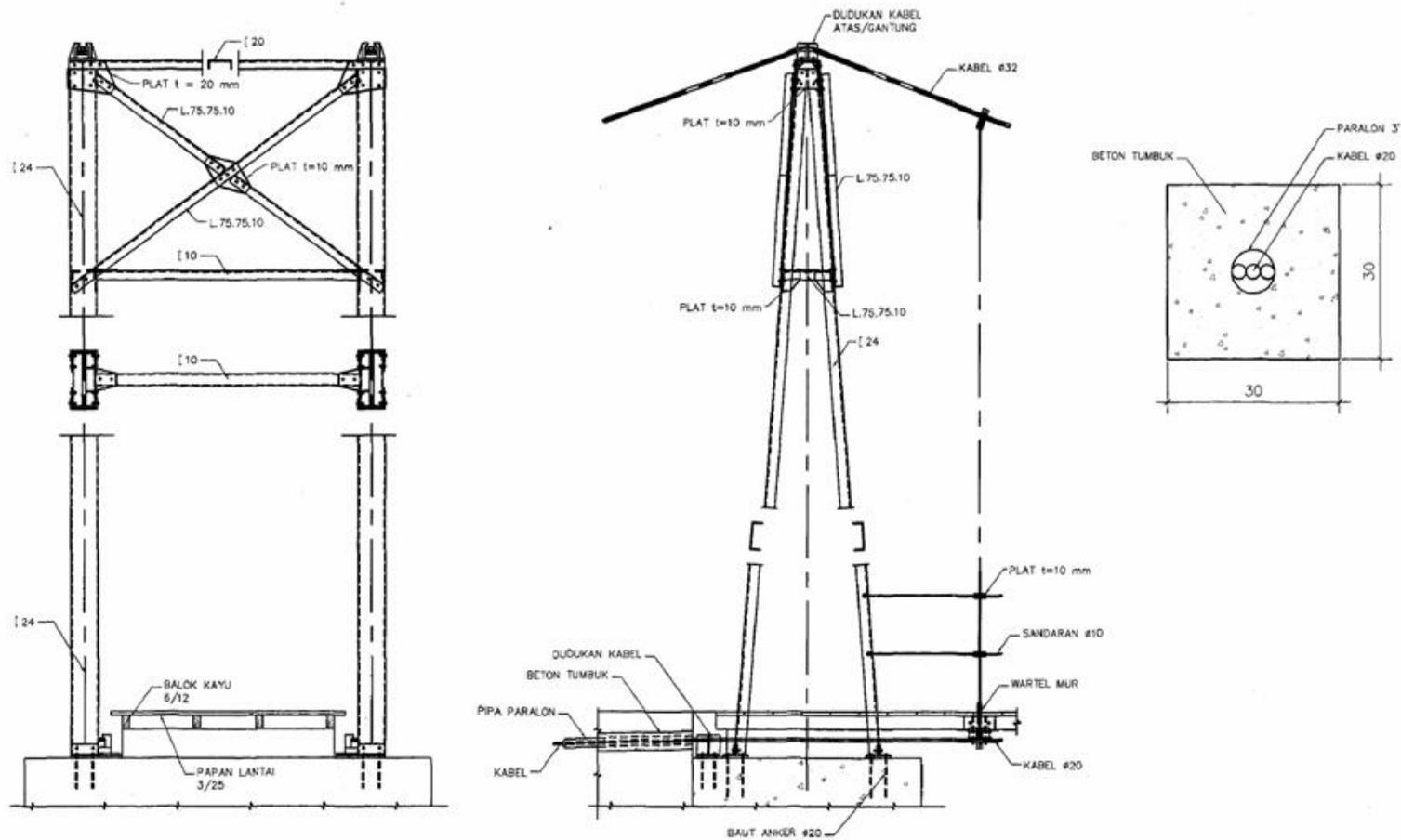


Gambar D.1 – Sketsa ukuran jembatan dan elemen-elemen struktur

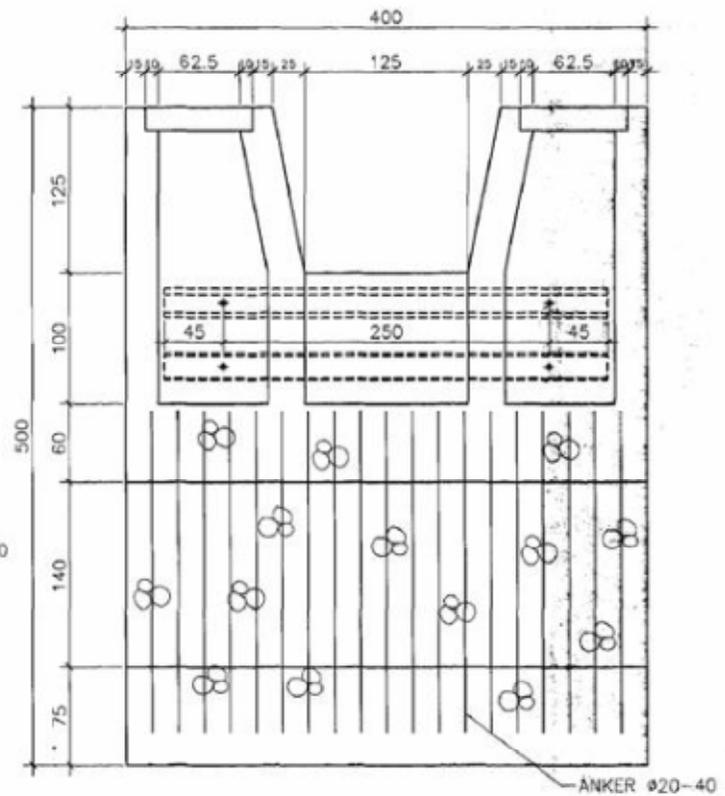
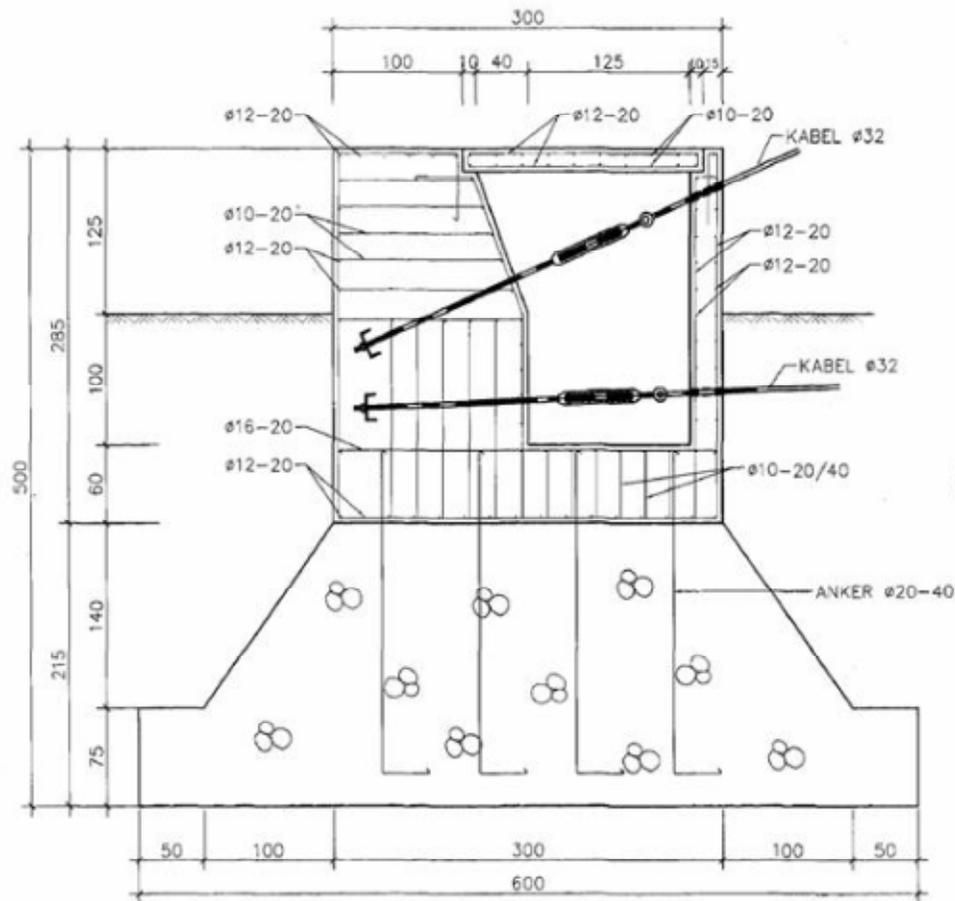
Tabel D.1 - Perbandingan dimensi elemen struktur untuk berbagai bentang

Parameter perbandingan			Bentang			
			60	80	100	120
Ukuran jembatan	Panjang bentang kiri, L1	m	8,20	11,00	13,67	16,40
	Panjang bentang tengah, L2	m	60,00	80,00	100,00	120,00
	Panjang bentang kanan, L3	m	8,20	11,00	13,67	16,40
	Lebar menara, w	m	2	2	2	2
	Tinggi menara, H1	m	6	8	10	12
	Jumlah segmen kiri, N1	m	-	-	-	-
	Jumlah segmen tengah, N2	m	20	26	32	38
	Jumlah segmen kanan, N3	m	-	-	-	-
	Ketinggian kabel di tengah bentang	m	1	1,5	1,5	2
Dimensi elemen struktur	Menara		W24X176	W30X191	W36x194	W36X210
	Gelagar memanjang		W18X119	W24X103	W30X108	W33X118
	Kabel utama	mm	40	60	80	100
	Batang penggantung	mm	22	25	30	35
Keluaran	Aksial kabel utama	kN	341,76	577,64	746,00	938,75
	Aksial kabel <i>backstay</i>	kN	374,70	655,47	860,19	1096,20
	Aksial menara	kN	324,43	557,64	740,97	936,40
	Momen maksimum gelagar	kN.m	164,94	235,79	376,36	419,83
	Lendutan di 1/4 bentang	m	0,21	0,27	0,31	0,39
	Target lendutan di 1/4 bentang, L/300	m	0,20	0,27	0,33	0,40

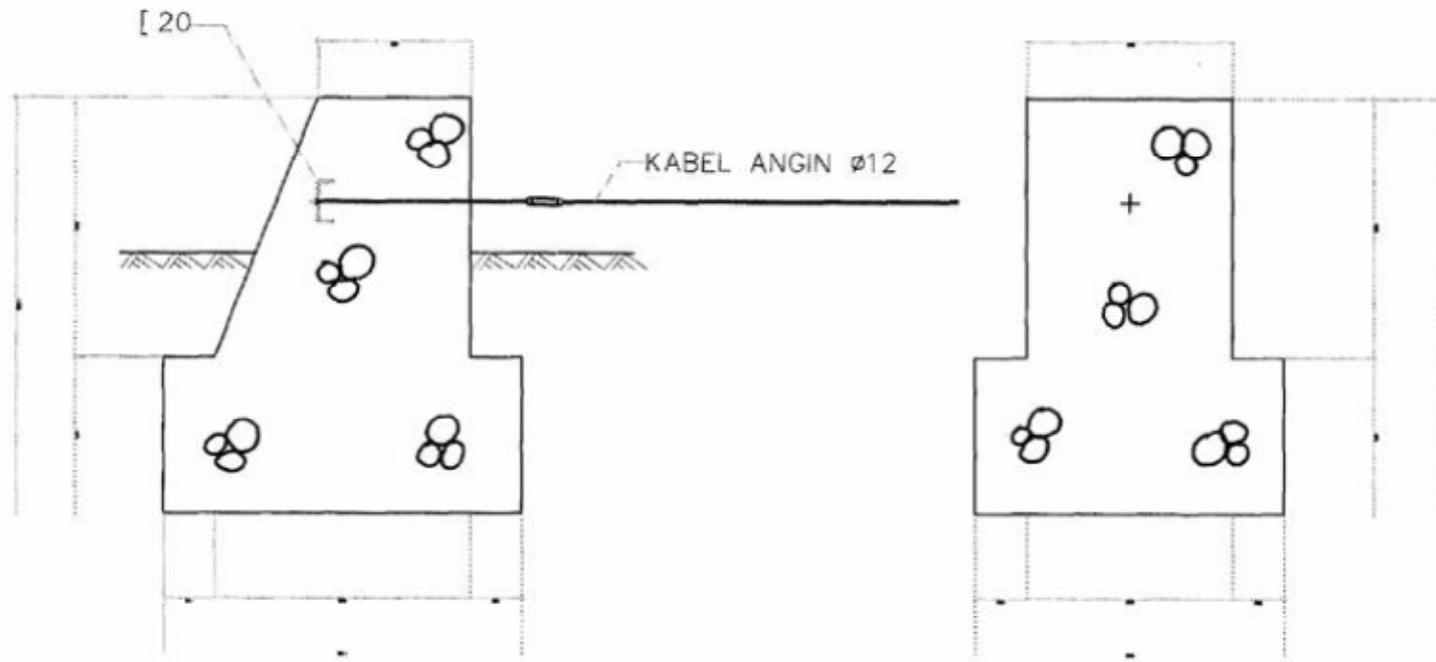
Lampiran E
(informatif)
Contoh gambar jembatan gantung bentang 60 m



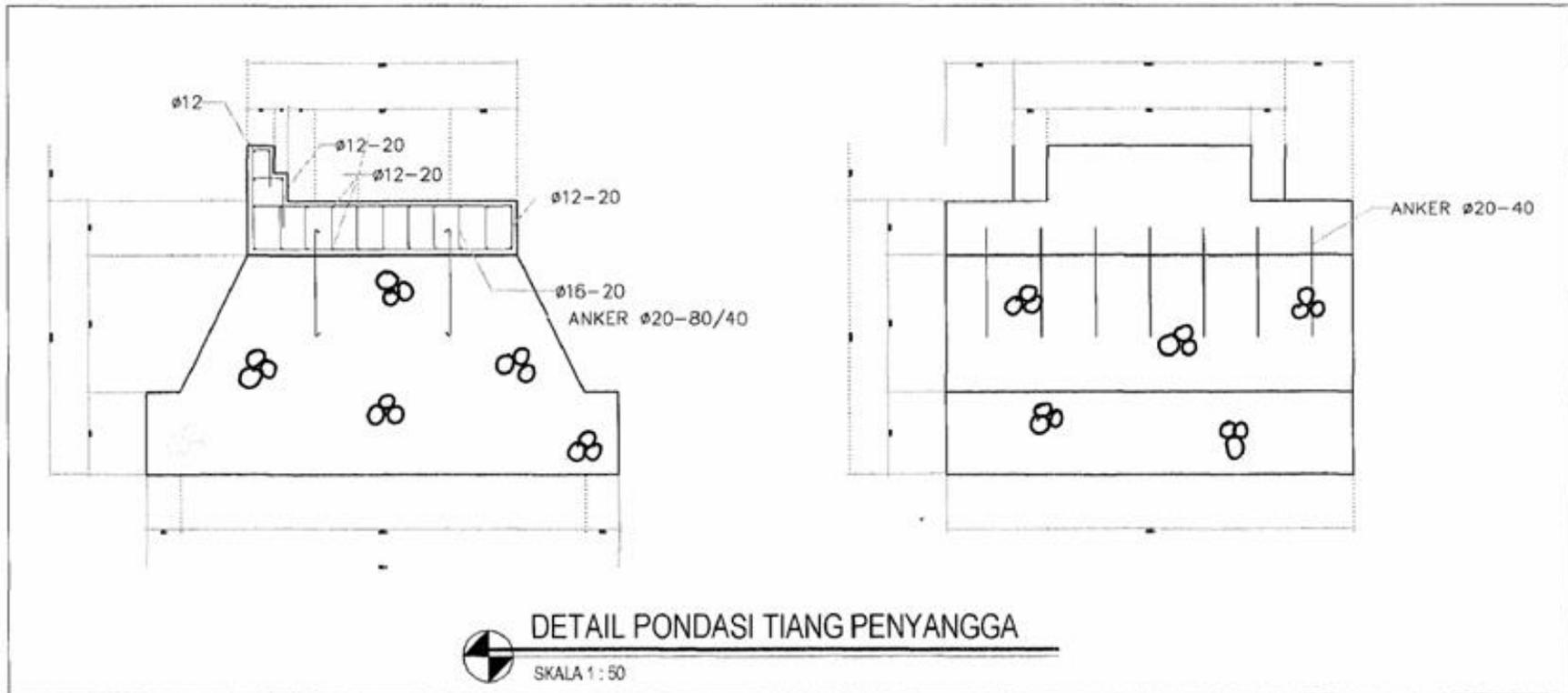
DETAIL TIANG PENYANGGA
 SKALA 1 : 50

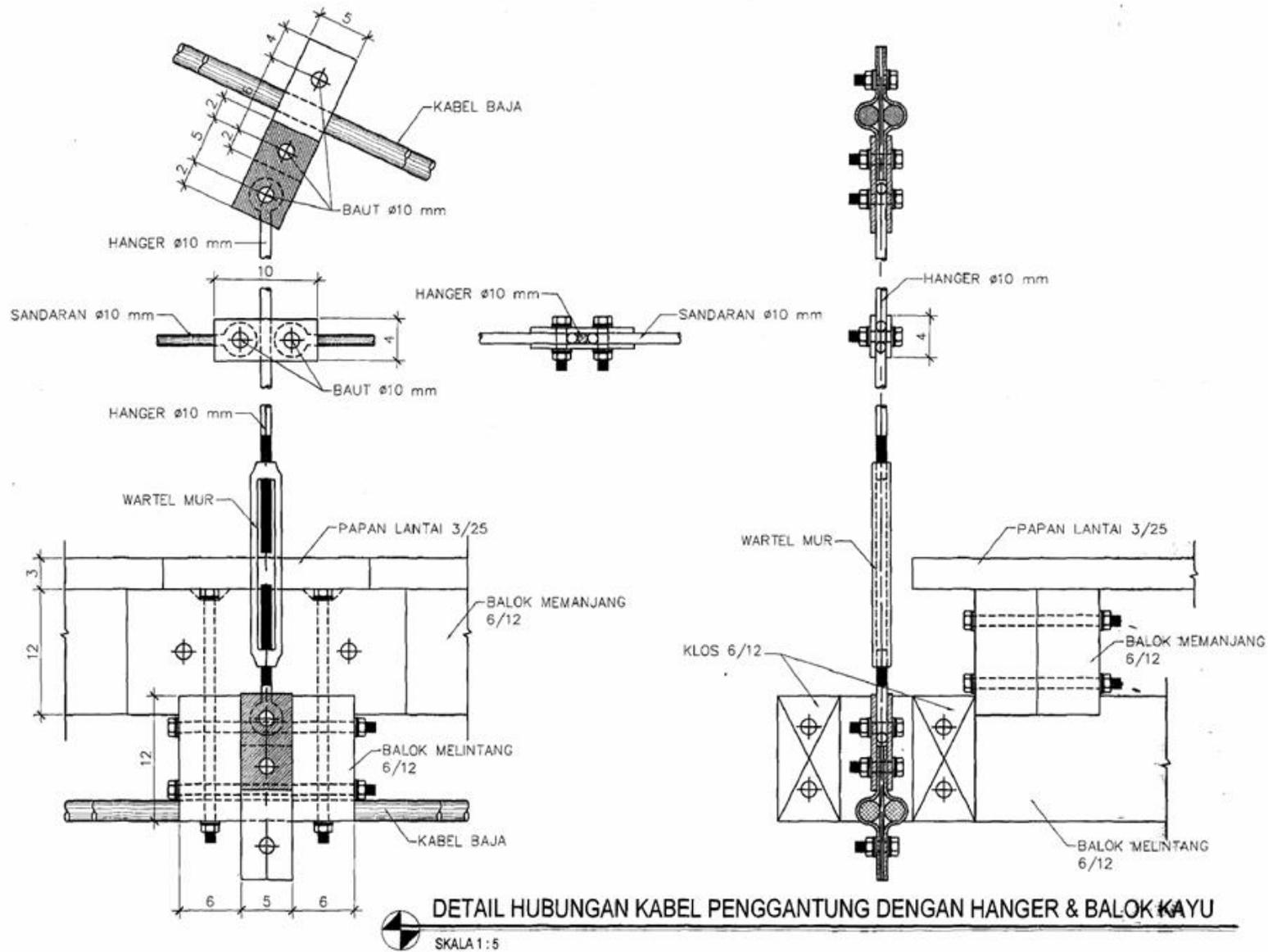


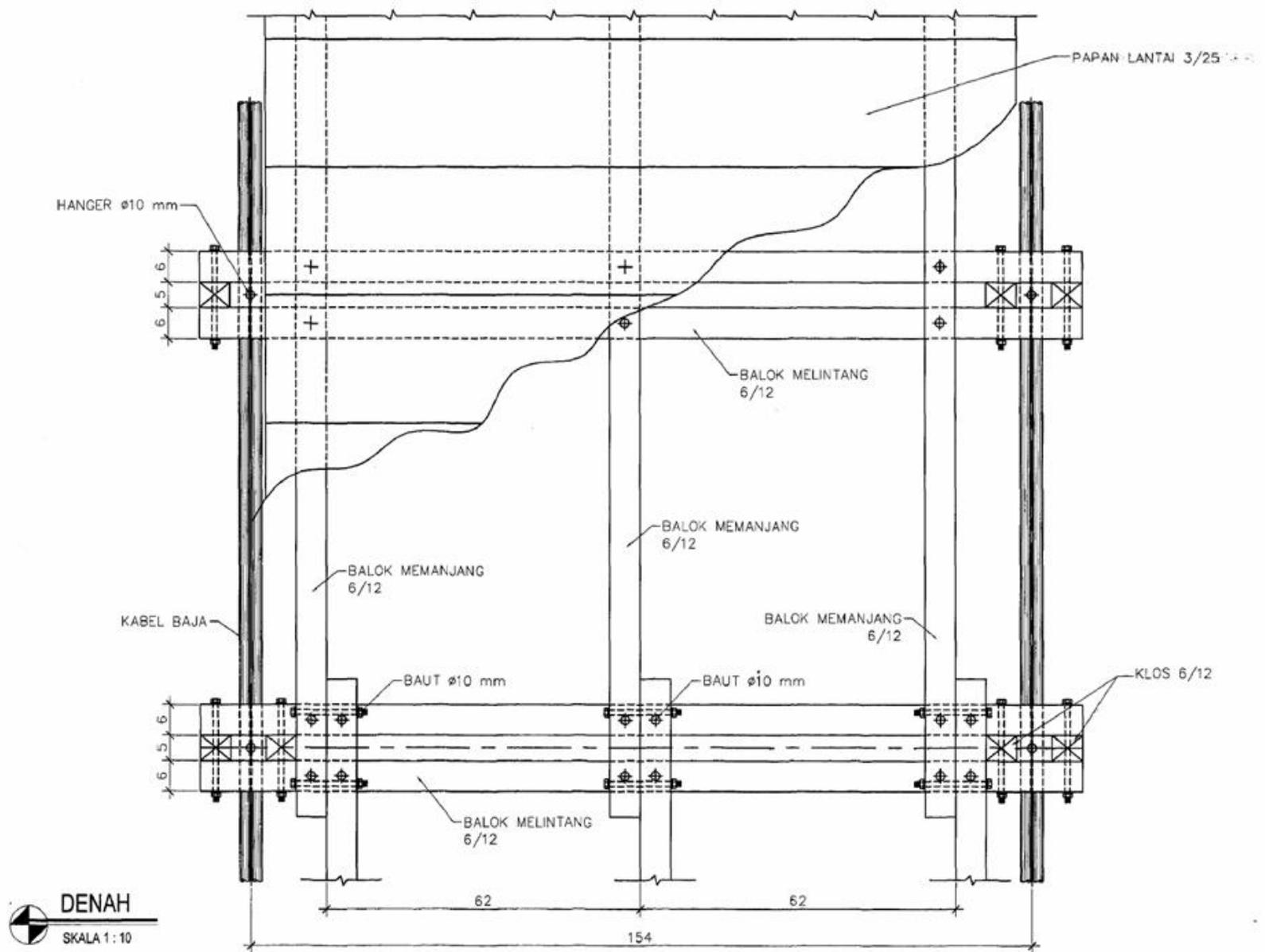
DETAIL & PENULANGAN ANKER BLOK
 SKALA 1:50

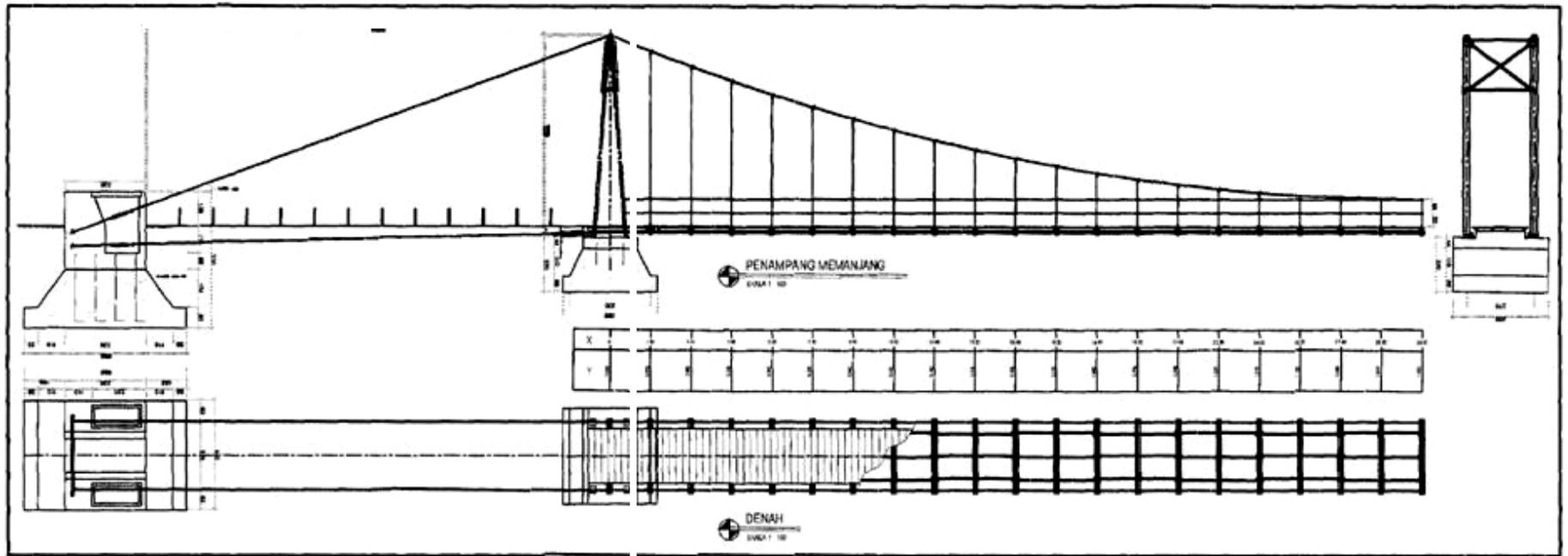


 **DETAIL ANKER BLOK KABEL ANGIN**
SKALA 1 : 50









**Lampiran F
(informatif)
Deviasi teknis dan keterangan**

Hal	Sebelum direvisi	Sesudah direvisi
Ruang Lingkup	Terpisah antara SNI perencanaan dan SNI pelaksanaan	Mencakup aspek perencanaan dan pelaksanaan
Definisi jembatan pejalan kaki	Hanya mencakup lalu lintas pejalan kaki	Mencakup lalu lintas pejalan kaki, ternak, kendaraan yang ditarik ternak, dan kendaraan bermotor ringan
Kelas jembatan	Tidak ada pembagian kelas	Terbagi atas jembatan kelas I dan kelas II
Beban hidup	Tidak dinyatakan secara langsung	Dinyatakan dengan jelas beban hidup untuk masing-masing kelas jembatan
Jenis kabel utama	Tidak dilengkapi gambar	Dilengkapi dengan gambar bentuk kabel
Mutu beton dan baja	Tidak ada pengaturan mutu beton dan baja	Persyaratan mutu beton dan baja dinyatakan secara jelas
Perhitungan	Tidak ada contoh perhitungan	Terdapat lampiran untuk perhitungan sederhana yang dilengkapi dengan hitungan menggunakan program analisis struktur


MENTERI PEKERJAAN UMUM,

DJOKO KIRMANTO