



PENGEMBANGAN JEMBATAN BAILEY TIPE KABEL

Lanneke Tristanto

RINGKASAN

Jembatan Bailey tipe kabel adalah modifikasi jembatan darurat sehingga memiliki karakteristik jembatan permanen. Uji beban statik dan dinamik pada model prototipe 30.5m atau setengah bentang total jembatan 64.05m, menunjukkan daya pikul dan perilaku dinamik yang memadai. Evaluasi uji beban berdasarkan data pengukuran lapangan dan analisis verifikasi merupakan kriteria dalam menilai kemantapan suatu produk baru. Keberhasilan prototipe mendukung pengembangan jembatan Bailey tipe kabel sampai bentang optimal 88.45m dengan mempertahankan kesederhanaan konstruksi.

SUMMARY

The Bailey cable bridge type is a modified semi-permanent bridge with implied characteristics of permanent bridging. Static and dynamic test loading on a 30.5m prototype model or half total bridge span of 64.05m, reveals reliable load carrying capacity and dynamic performance. Test load evaluation based on field measurements and theoretical analysis verifies the rating criteria of a new product. The prototype validity supports the Bailey cable bridge development up to an optimal span of 88.45m with enhancing construction simplicity.

I. PENDAHULUAN

Transportasi perdesaan memerlukan tipe jembatan sederhana yang andal, mudah dan murah dilaksanakan. Bahan Bailey di daerah sampai sekarang bermanfaat untuk jembatan darurat, sehingga dengan teknologi modifikasi kabel akan diperoleh jembatan Bailey yang lebih kuat dan permanen.

Teknologi kabel yang diterapkan pada jembatan Bailey tipe gantung dan jembatan Bailey tipe "cable-stay" meningkatkan bentang jembatan secara efisien. Efisiensi terjadi karena keperluan panel Bailey lebih sedikit dan pencapaian bentang lebih panjang. Kabel menyalurkan beban jembatan ke pondasi melalui menara-pilar dan balok jangkar-pangkal pemberat. Sistem cable-stay membentuk segitiga dalam struktur sehingga perkuatan dan perkakuan jembatan lebih efisien dibanding jembatan gantung dengan bentuk kabel parabolik. Jembatan Bailey tipe gantung lazim digunakan untuk susunan panel tunggal-tunggal dan dobel-tunggal dengan jarak penggantung 6m pada bentang jembatan 60 - 120m. Bentang optimal jembatan Bailey tipe "cable-stay" untuk susunan panel tunggal-tunggal dan dobel-tunggal dengan jarak kabel 6m adalah bentang 64.05-88.45m. Batasan bentang optimal dipertimbangkan untuk mempertahankan

kesederhanaan konstruksi jembatan perdesaan. Pembahasan makalah meliputi jembatan Bailey tipe "cable-stay" dalam pengembangan desain dan uji coba model.

Dalam rangka penyebarluasan telah dipersiapkan pedoman teknis untuk pemasangan jembatan modifikasi Bailey tipe kabel dengan bentang 64.05m yang telah diuji oleh Pusat Litbang Jalan.

II. PENGEMBANGAN DESAIN

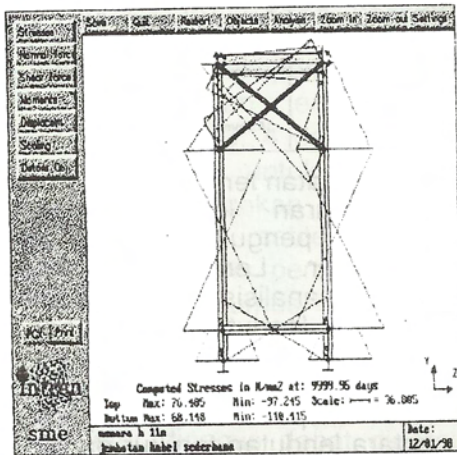
Jembatan Bailey yang diperkuat dengan kabel mencapai bentang lebih panjang dibanding jembatan Bailey tanpa kabel yang dijelaskan sebagai berikut :

- Jembatan Bailey susunan tunggal-tunggal mencapai bentang 18.3m yang dengan perkuatan kabel menjadi 33.55m
- Jembatan Bailey susunan dobel-tunggal mencapai bentang 27.4m yang dengan perkuatan kabel menjadi 45.75m

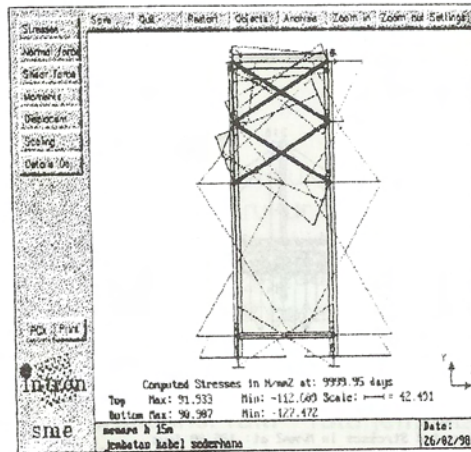
Panel Bailey terdapat dalam berbagai mutu baja sehingga untuk jembatan Bailey tipe kabel digunakan susunan panel dengan atau tanpa batang penguat sesuai panjang bentang dan daya pikul beban Bina Marga (Tabel 1).

Gambar 1.

DIAGRAM TEGANGAN MENARA PADA KOMBINASI BEBAN MATI DAN GEMPA 0.15g DALAM ARAH MELINTANG JEMBATAN DENGAN ANALISIS STATIS EKUIVALEN



Tinggi menara 11m untuk bentang 64.05m (ikatan silang tunggal)



Tinggi menara 15.5m untuk bentang 88.45m (ikatan silang ganda)

Perkuatan yang diberikan oleh kabel dapat meningkatkan kekuatan jembatan Bailey dan sebagai contoh diberikan bentang 64.05m di atas 4 tumpuan (15.25+33.55+15.25m) yang dengan variasi jumlah lilitan kabel berkembang sebagai berikut :

- Tanpa perkuatan kabel :
Tegangan dalam rangka Bailey 350 MPa > batas ijin 140 MPa(BJ24) atau 240 MPa(BJ40)
- Dengan perkuatan kabel @ satu lilitan prategang diam 1/2" / kabel :
Tegangan dalam rangka Bailey 141 MPa = batas ijin 140MPa di mana tegangan kabel 45% tegangan ultimit.
- Dengan perkuatan kabel @ dua lilitan prategang diam 1/2" / kabel :
Tegangan dalam rangka Bailey 133 MPa < batas ijin 140 MPa di mana tegangan kabel dimanfaatkan secara efisien dan terdapat cadangan kekuatan.
- Dengan perkuatan kabel @ tiga lilitan prategang diam 1/2" / kabel :
Tegangan dalam rangka Bailey 126 MPa < batas ijin 140MPa di mana tegangan kabel tidak dimanfaatkan secara penuh.

Dalam pengembangan desain digunakan kabel @ dua lilitan prategang untuk bentang 64.05m dan 88.45m sehingga secara struktural jembatan kuat dan aman serta penggunaan baja prategang hemat berarti biaya modifikasi ekonomis.

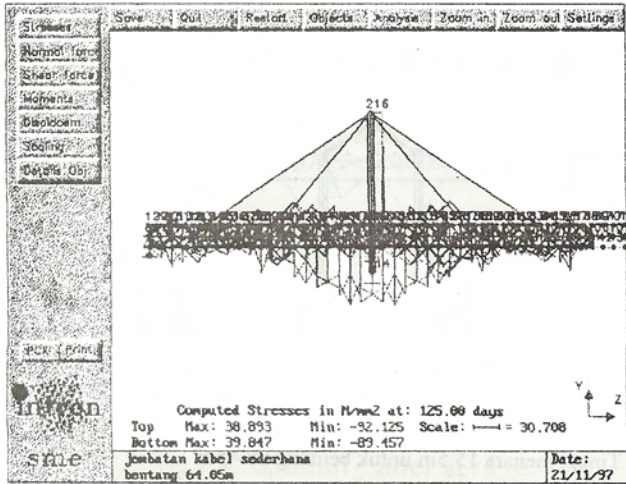
III. UJI COBA MODEL

Pengamatan pengujian pembebanan model prototipe yang terdiri dari bentang pemberat 15.25m dan bentang kantilever 15.25m diuraikan sebagai berikut :

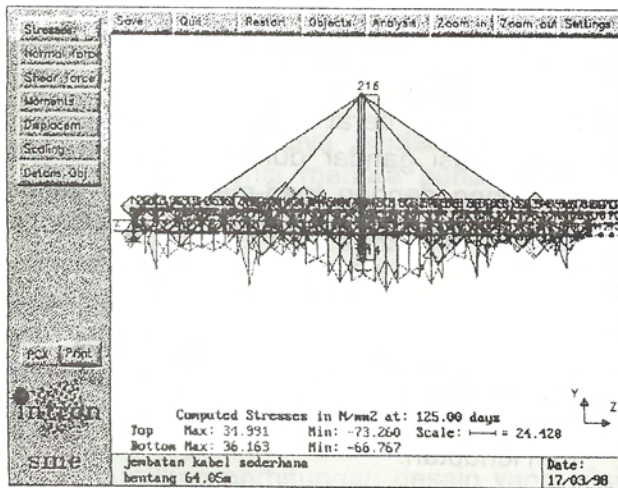
- Pengamatan berat tes truk - Photo 1
Konfigurasi gandar dump-truck diukur dan ditimbang dengan load-meter yaitu gandar depan 18.5 kN, gandar belakang 48.5 kN, jarak sumbu roda 1.45 m arah melintang dan 2.6m arah memanjang. Demikian beban hidup pada jembatan akibat tes truk bergandar dua adalah 67 kN yang menjadi masukan dalam analisis verifikasi regangan dan lendutan.
- Pengamatan regangan - Photo 2 dan 3
Pengukuran regangan dilakukan dengan Demec Gauge di sekitar lokasi pilar di mana terjadi momen maksimum bila tes truk berada pada bentang kantilever. Titik pengukuran regangan terletak di batang tepi atas dan tepi bawah rangka Bailey serta di kolom menara. Regangan terukur akibat beban tes truk diverifikasi dalam analisis sebagai selisih antara diagram tegangan akibat beban mati dan akibat beban mati dengan beban tes truk - Gambar 2.

Gambar 2
DIAGRAM TEGANGAN AKIBAT BEBAN MATI
VS KOMBINASI BEBAN MATI DAN TES TRUK

Gambar 2a
DIAGRAM TEGANGAN AKIBAT BEBAN MATI
(GAYA KABEL 65 kN)



Gambar 2b
DIAGRAM TEGANGAN AKIBAT BEBAN MATI
DAN TES TRUK (Peningkatan tegangan di
pertemuan kabel dengan gelagar karena gaya
kabel meningkat dari 65 kN ke 79 kN)



Hasil pengukuran regangan diverifikasi dengan analisis teoritik - Gambar 2 - di mana terdapat pendekatan nilai antara pengukuran dan perhitungan, berarti pengujian regangan mendukung teknik desain - Tabel 3. Setelah tes truk meninggalkan jembatan diadakan pengukuran regangan kembali dan terjadi pemulihan regangan ke keadaan semula tanpa beban.

Tegangan titik pengukuran 2 - Tabel 3 - sangat kecil berarti dalam keadaan aktual terjadi perkakuan balok distribusi lebih baik dibanding analisis teoritik di mana titik 2 dihitung tanpa balok distribusi.

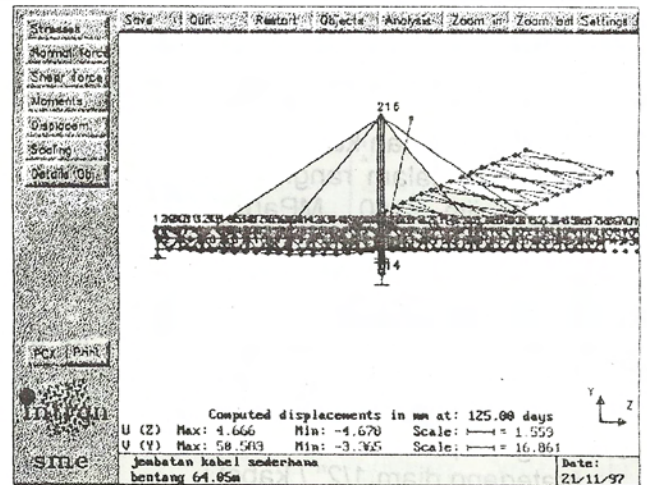
Tabel 3
NILAI REGANGAN DAN LENDUTAN
EKSPERIMENTAL VS TEORITIK AKIBAT BEBAN
TES TRUK 67kN

Beban	Pengukuran vs analisis	Lokasi titik pengukuran
0	Regangan titik1 titik2 titik3 titik4 Gauge 0 0 0 0	Menara dan rangka baja
67 kN (eksperimen)	Gauge +5 -0.25* -2.4 +1.4	titik 1 : batang tepi atas
67 kN (analisis teoritik)	Gauge +5.8 -2.5** -2 +1	titik 2 : batang tepi bawah
Deviasi eksperimen-teori	Mpa +3 -9 -1.5 +1.5	titik 3 : kolom arah kantilever
	Catatan : *1 Mpa aktual vs **10 Mpa teori	titik 4 : kolom arah pemberat
	Demec Gauge 1 = 0.0000197 x 210000 = 4MPa	Catatan : tanpa balok distribusi
0	Lendutan	ujung bentang kantilever
67 kN (eksperimen)	0	
67 kN (analisis teoritik)	21 mm	
Deviasi eksperimen-teori	18.5mm = 50.583-32.122 (Gbb.)	
	2.5 mm	

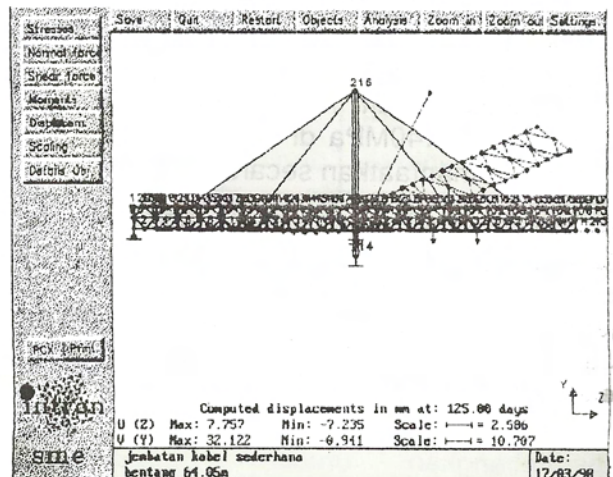
c. Pengamatan lendutan - photo 2 dan 4
 Pengukuran lendutan dilakukan dengan batang pengukur pada ujung bentang kantilever. Lendutan terukur diverifikasi dalam analisis sebagai selisih antara diagram lendutan akibat beban mati dan diagram lendutan akibat beban mati dengan beban tes truk - Gambar 3 dan Tabel 3. Hasil eksperimen menunjukkan perbedaan antara lendutan terukur dan teoritik sebesar 0.25cm yang cukup mendekati.

Gambar 3
DIAGRAM LENDUTAN AKIBAT BEBAN MATI
VS KOMBINASI BEBAN MATI DAN TES TRUK

Gambar 3a
DIAGRAM LENDUTAN AKIBAT BEBAN MATI



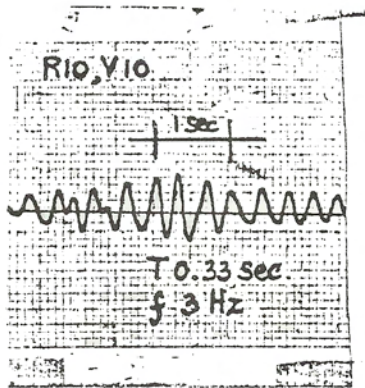
Gambar 3b
DIAGRAM LENDUTAN AKIBAT BEBAN MATI
DAN TES TRUK



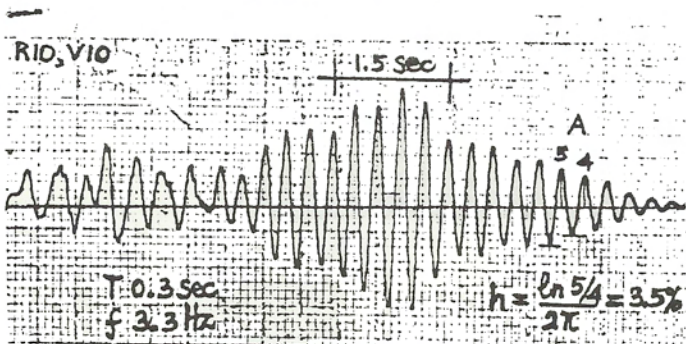
d. Pengamatan getaran - Photo 3
 Pengukuran frekuensi getar dilakukan dengan vibro transduser di gelagar melintang bentang kantilever. Frekuensi dan redaman struktural terukur Gambar 4 akibat lintasan tes truk pada kecepatan rendah-tinggi 5-50 km/jam diverifikasi dengan rumus teoritik eksperimental untuk frekuensi dan redaman jembatan tipe "cable-stay" Pustaka 3, 4 dan 7. Rumus teoritik eksperimental untuk frekuensi - Rumus 3 telah diturunkan berdasarkan pengukuran jembatan cable-stay dan verifikasi analisis dinamis perangkat lunak program Strudel. Rumus teoritik - eksperimental untuk redaman Rumus 4 telah diturunkan berdasarkan pengukuran jembatan cable-stay di Jepang. Hampir semua parameter dinamis dapat diperoleh dengan korelasi parameter statis, hanya redaman masih tergantung pada tes getar.

**Gambar 4
 REKAMAN GETARAN DENGAN
 VIBROMETER**

**Gambar 4a
 DIAGRAM GETARAN PADA KECEPATAN
 TRUK RENDAH**



**Gambar 4b
 DIAGRAM GETARAN PADA KECEPATAN
 TRUK TINGGI**



Perumusan yang digunakan dalam evaluasi perilaku getaran adalah sebagai berikut :

$$f = 1 / T \quad (\text{Rumus 1})$$

$$h = 1/2 \pi \ln A_0 / A_1 \quad (\text{Rumus 2})$$

$$f_b = (1.1/2\pi)(9.81/\delta)^{1/2} \quad (\text{Rumus 3})$$

$$h_b = 0.0005 + 0.0148 f_b \quad (\text{Rumus 4})$$

$$f_r = 125 / L \quad (\text{Rumus 5})$$

di mana :

f = frekuensi terukur (Hertz = cps)

h = redaman terukur berdasarkan amplitude A

f_b = frekuensi teoritik - eksperimental jembatan cable-stay berdasarkan lendutan bentang utama akibat berat sendiri sebesar δ (m)

h_b = redaman teoritik - eksperimental jembatan "cable-stay"

f_r = frekuensi rata - rata jembatan rangka baja dengan bentang L (m)

Waktu getar adalah waktu rata-rata antara puncak gelombang sebesar T 0.3 detik (=3mm dalam gambar) yang menghasilkan frekuensi terukur f 3.33 Hertz (=1/T). Redaman terukur adalah h 3.5% (= {1/2pi} ln {5/4} dalam gambar) atau pengurangan logaritma antara amplitude gelombang yang mengecil dan menghilang akibat redaman struktural - Gambar 4.

Nilai frekuensi terukur lebih besar - berarti struktur lebih kaku - dari nilai frekuensi teoritik - eksperimental dengan rumus $f = (1.1/2p)(9.81/d)^{1/2} = (1.1/2p)(9.81/0.05)^{1/2} = 2.5$ Hertz berdasarkan anggapan jembatan tersambung dengan lendutan akibat berat sendiri 0.05m di tengah bentang utama. Perbedaan dengan nilai frekuensi terukur 3.33 Hertz terjadi karena tes dilakukan pada bentang kantilever 15.25m yang mempunyai keadaan statis yang berlainan dari bentang utama 33.55m. Redaman struktural terukur 3.5% mendekati nilai teoritik - eksperimental h_b 3.75% (= $0.0005 + 0.0148 f_b = 0.0005 + 0.0148 (2.5) = 0.0375$). Frekuensi dan redaman aktual yang cukup besar untuk tipe jembatan cable-stay yang fleksibel terutama ditentukan oleh kekakuan gelagar rangka baja. Jembatan rangka baja dengan bentang 33.55m lajim memiliki frekuensi 3.5 Hertz - Rumus 5 (Pustaka 7).

e. Pengamatan angin

Jembatan prototipe sering mengalami hujan-angin-petir tanpa terjadi kelainan atau kerusakan struktural. Tes angin dalam laboratorium alam membuktikan bahwa

jembatan kabel sederhana memiliki ketahanan terhadap angin walaupun tidak sempat diperoleh data rekaman regangan dan getaran. Jembatan tipe kabel umumnya diletakkan dalam terowongan angin dengan skala model dan angin buatan yang menyangkut evaluasi rumit berdasarkan data rekaman peralatan canggih. Biaya tes yang mahal telah diwakili dengan model lapangan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan pelaksanaan dan pengujian model percontohan jembatan kabel sederhana dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Jembatan Bailey tipe "cable-stay" mencapai bentang lebih panjang di samping kekakuan dan kekuatan struktur lebih baik dari jembatan Bailey darurat tanpa kabel
- b. Uji coba model prototipe untuk bentang 64.05m mendukung desain dengan perilaku terhadap beban dinamis dan statis yang memenuhi syarat tipe jembatan kabel
- c. Jembatan Bailey tipe kabel mempunyai frekuensi getar dan redaman struktural cukup baik sehingga memenuhi kategori jembatan rangka baja permanen
- d. Pemasangan jembatan di lapangan cukup sederhana sehingga dapat diawasi oleh teknisi setempat di daerah dengan memacu pada buku pedoman
- e. Pengembangan desain ke bentang 88.45m dengan susunan panel dobel-tunggal menggunakan detail konstruksi identik bentang 64.05m di mana susunan panel tunggal-tunggal

4.2. Saran

Saran dalam rangka pengembangan jembatan kabel sederhana dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Pengembangan teknologi dapat diaktifkan melalui teknik pemasangan jembatan kabel

sederhana sehingga ilmu yang umumnya hanya diperoleh di proyek jembatan bentang panjang dapat disebarluaskan ke daerah dengan biaya lebih hemat dibanding jembatan tipe konvensional

- b. Dalam manual Bailey belum terdapat tipe jembatan cable-stay sehingga modifikasi oleh Pusat Litbang Jalan dapat menjadi percontohan untuk dalam maupun luar negeri yang perlu didukung oleh hak paten
- c. Penggunaan tipe rangka baja lain perlu dikaji sehingga tidak terdapat ketergantungan pada bahan jembatan Bailey.

DAFTAR PUSTAKA

1. Manual Bailey Uniflote, United Kingdom, 1972
2. Bailey Suspension Bridge, Thos Storey Eng. Ltd., London, 1979
3. Cable Stayed Bridges, Rene Walther, Bernard Houriet, Walmar Isler, Pierre Moia, Thomas Telford Ltd., London, 1988
4. Damping Characteristics of Cable Stayed Bridges for Seismic Design, Kazuhiko Kawashima, Sigeki Unjoh, Meguru Tsunomoto, Journal of Research PWRI Ministry of Construction, Japan, December 1991
5. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, Bagian 2, Beban Jembatan, BMS 1992
6. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, Bagian 7, Baja Struktural, BMS 1992
7. Perilaku Bangunan Atas Jembatan untuk Jembatan Rangka Baja, L. Tristanto, Laporan Penelitian, Pusat Litbang Jalan, 1984

Penulis :

Ir. Lanneke Tristanto, Peneliti Madya Bidang Konstruksi Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan.

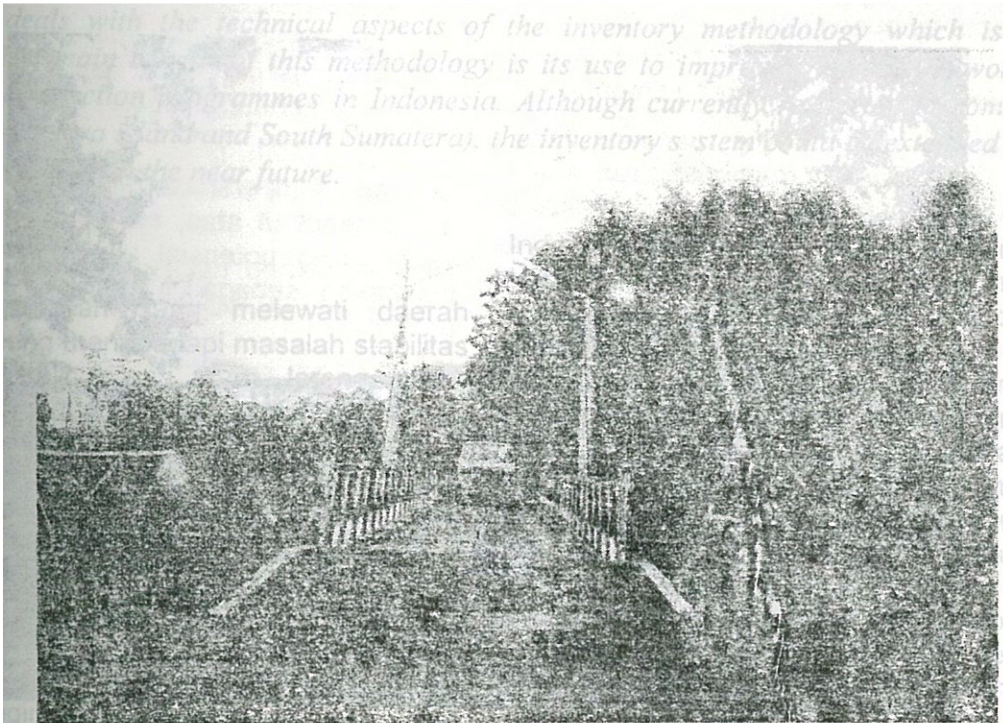


Photo 2. Tes truk berada pada tengah bentang kantilever

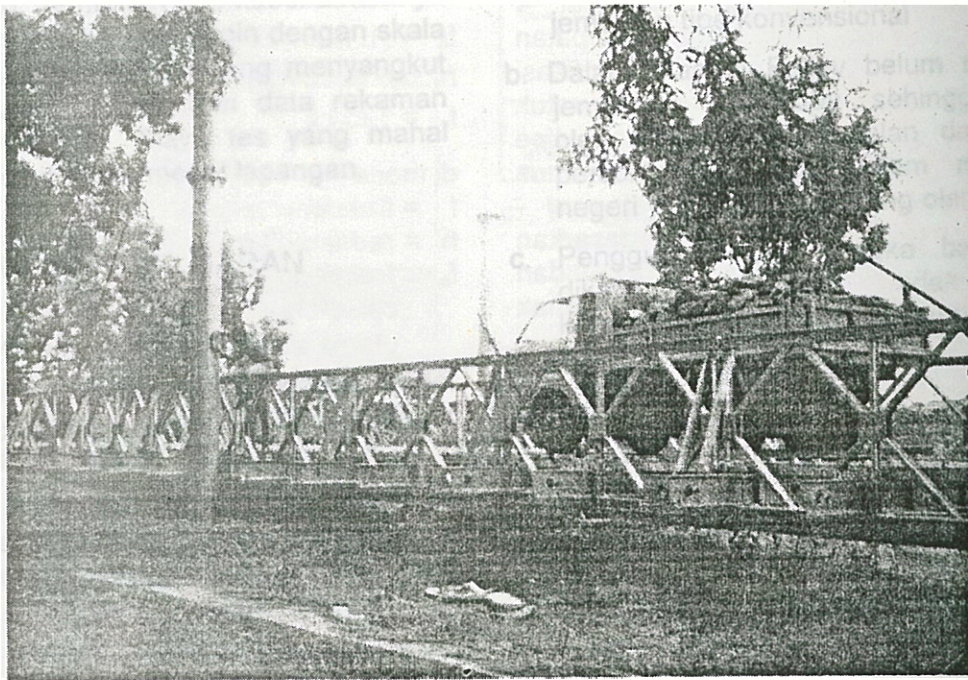


Photo 3. Pengukuran regangan Demec gauge dan kedudukan vibro transduser di gelagar melintang



Photo 4. Pengukuran lendutan di ujung kantilever