

# EVALUASI KONDISI STRUKTUR JEMBATAN DENGAN PENGUKURAN TEGANGAN DAN REGANGAN AKIBAT BEBAN LALU LINTAS AKTUAL

Oleh :  
**Setyo Hardono**

## **RINGKASAN**

*Latar belakang dari tulisan ini adalah masalah evaluasi kondisi struktur jembatan selama masa pelayanan. Evaluasi menjadi penting manakala dihadapkan pada berapa kapasitas jembatan sebenarnya atau bagaimana pengaruh beban berulang terhadap struktur jembatan. Pertanyaan atau masalah ini sering muncul. Pengukuran regangan dan tegangan pada elemen struktur jembatan menjadi hal yang penting manakala harus menjawab permasalahan diatas. Instrumen pengukur regangan-tegangan ditempatkan pada elemen yang kritis. Data regangan dan tegangan diambil selama jembatan tersebut dilewati kendaraan. Selama pengambilan data tersebut maka akan tercatat regangan dan tegangan maksimum, rata-rata dan minimum yang terjadi. Evaluasi terhadap data regangan dan tegangan akan memberikan gambaran mengenai siklus tegangan yang terjadi sepanjang jembatan tersebut dilewati kendaraan.*

## **SUMMARY**

*The background of this paper is the problem of evaluation of the bridge structural condition during service life. The evaluation becomes important in determining the bridge capacities or influence of cyclic load to the bridge structure. The assessments of these problems often appear. Measurement of tension and strain of bridge structural elements are essential in technical discussions to assess the evaluation of actual bridge capacity. The tension and strain instrumentation are placed at critical section of the element. Strain data and tension are measured during passage of vehicles. The recorded data will contain maximum, minimum and average tension and strain measurement during testing. Evaluation of strain and tension data will reveal the pattern of tension cycles that occurred during the bridge testing by vehicle passage loading.*

## **I. PENDAHULUAN**

Jembatan merupakan prasarana vital dalam suatu jaringan jalan. Bilamana jembatan tersebut bermasalah maka bermasalah pula jaringan jalan. Perkembangan perekonomian yang diikuti dengan peningkatan jumlah pengguna jalan maupun jumlah tonase akan memberikan pengaruh

terhadap respons struktur jembatan dalam menerima beban lalu lintas. Oleh karenanya, evaluasi kondisi jembatan menjadi penting manakala harus menyatakan berapa kapasitas jembatan sebenarnya. Lebih spesifik lagi pada pertanyaan berapa pengaruh beban berulang terhadap kapasitas jembatan.

Data sampel tegangan (dengan panjang waktu tertentu) diambil dengan asumsi perilaku beban akan sama selama masa layan jembatan. Apakah tegangan yang terjadi pernah melewati tegangan ijin? Atau belum pernah sama sekali? Berapa frekuensi tegangan yang terjadi. Oleh karena itu, dengan evaluasi regangan-tegangan maka dapat disimpulkan apakah tegangan dan frekuensi tegangan masih aman terhadap struktur jembatan. Dan apakah jembatan masih aman terhadap kemungkinan terjadi fatik?

Dengan permasalahan tersebut, penulis mencoba menuangkan permasalahan dan bagaimana cara mendapatkan data regangan-tegangan. Dan juga ditampilkan pula evaluasi dari regangan dan tegangan tersebut terhadap masalah kelelahan bahan. Besar harapan, apa yang ditulis oleh penulis dapat bermanfaat dalam evaluasi jembatan yang ada di Indonesia.

### **1. 1. Tujuan**

Tujuan dari tulisan ini adalah memberikan masukan dalam suatu cara evaluasi struktur jembatan terhadap beban aktual yang ada.

### **1. 2. Lokasi Kegiatan**

Lokasi struktur jembatan sebagai bahan tulisan ini adalah pada Jalan Tol Layang Ir. Wiyoto Wiyono di P172.

### **1. 3. Batasan Masalah**

Tulisan ini ditekankan pada metoda atau suatu cara evaluasi kapasitas jembatan yang didasarkan pada pengambilan data regangan dan tegangan dari beban aktual.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

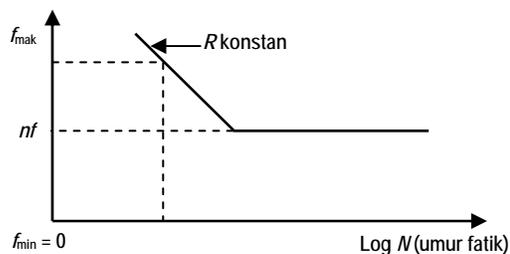
### **2. 1. Fatik pada Struktur**

Jika suatu elemen atau sambungan struktur mengalami pembebanan yang bervariasi dan berulang-ulang, maka pada suatu saat setelah mencapai sejumlah pengulangan beban tertentu, elemen atau sambungan tersebut akan runtuh walaupun tegangan maksimum yang terjadi selama proses pembebanan masih lebih kecil dari tegangan putusnya. Pada umumnya, mekanisme keruntuhan fatik (lelah) ini dimulai dengan terjadinya retakan-retakan halus yang sulit dilihat dengan mata telanjang dan terjadi pada bagian-bagian lemah dari struktur seperti pada sambungan atau pada tempat-tempat yang mengalami pemusatan tegangan (*stress concentration*).

Tegangan-tegangan akibat beban, yang terjadi pada elemen-elemen struktur, bila keadaannya masih kecil akan mengakibatkan perubahan bentuk elastis pada butiran-butiran kristal bahan. Apabila beban ditiadakan maka butiran kristal bahan tersebut akan kembali keposisi semula. Tetapi bila besar beban yang

bekerja terus ditingkatkan, maka tegangan yang timbulpun akan bertambah besar pula sehingga sampai pada kondisi plastis. Pada kondisi seperti ini maka butiran kristal bahan akan mengalami pergeseran sehingga membentuk suatu bidang geser tertentu. Sehingga bila beban luar dihilangkan, maka butiran kristal bahan yang telah bergeser akan tetap pada posisi terakhirnya dan tidak akan kembali ke posisi awalnya.

Tegangan maksimum dan minimum akibat pembebanan berulang diberi notasi  $f_{\text{mak}}$  dan  $f_{\text{min}}$ . Perbandingan mutlak kedua tegangan ini ( $f_{\text{mak}}/f_{\text{min}}$ ) dinyatakan dengan  $R$ . Apabila nilai  $R$  konstan sedangkan  $f_{\text{mak}}$  berubah-ubah, maka jumlah siklus yang dapat mengakibatkan keruntuhan fatik akan berubah pula. Hubungan antara tegangan dan jumlah siklus dari suatu bahan pada berbagai variasi  $f_{\text{mak}}$  dapat dilihat pada Gambar 2. 1 dibawah ini.



**Gambar 1.** Hubungan antara tegangan dan jumlah siklus sampai batas fatik suatu bahan.

Dari berbagai pengamatan dan penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli, dapat disimpulkan tentang

faktor-faktor yang dapat mempengaruhi umur fatik suatu bahan, yaitu :

- a. Spektrum pembebanan
  1. Rasio tegangan
  2. Tegangan maksimum
  3. Stress *range*
  4. Jenis tegangan
  5. Pengulangan beban
- b. Sifat dan kondisi elemen
  1. Tegangan awal yang pernah dialami, seperti tegangan sisa, pengerasan permukaan dan akibat gaya prategang.
  2. Ukuran, bentuk dan kondisi elemen seperti kondisi permukaan, ada tidaknya takikan dan gradien tegangan.
  3. Struktur metalurgi, seperti struktur mikro, ukuran butir dan komposisi kimia dan sifat-sifat mekanis.
  4. Kondisi lingkungan, seperti temperatur dan atmosfer.

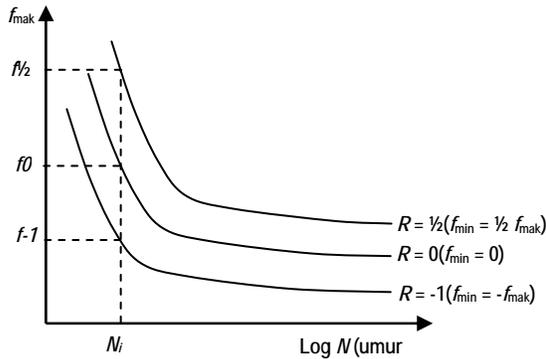
## 2.2. Rasio tegangan

Rasio tegangan ( $R$ ) yang terjadi akan menentukan tipe batas keruntuhan fatik yang akan timbul. Hal ini terlihat jelas pada Gambar 2 dibawah ini.

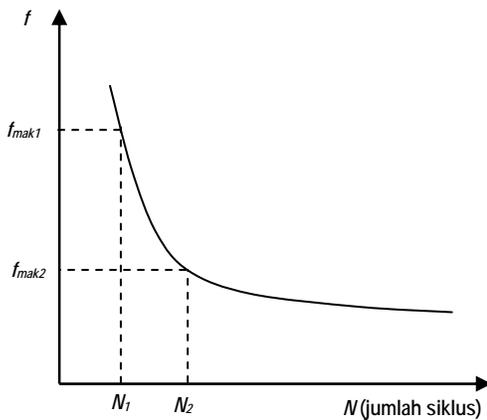
## 2.3. Tegangan maksimum

Tegangan maksimum ( $f_{\text{mak}}$ ) yang terjadi pada elemen akan menentukan cepat lambatnya suatu keruntuhan fatik akan dicapai. Semakin tinggi  $f_{\text{mak}}$  akan semakin

cepat fatik dicapai, seperti terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 2.** Variasi rasio tegangan terhadap umur fatik



**Gambar 3.** Hubungan tegangan maksimum terhadap umur fatik

## 2.4. Daerah tegangan

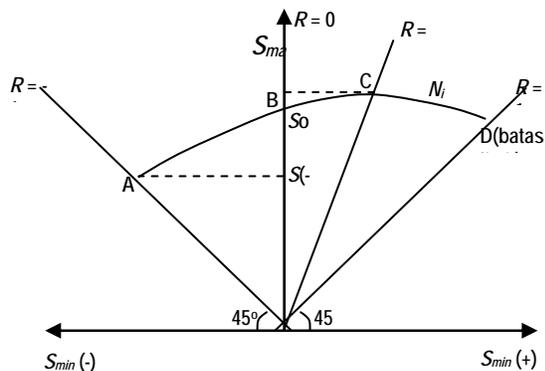
Daerah tegangan berada pada batas-batas kritis, yaitu terletak pada garis vertikal antara kurva  $N_i$  (batas keruntuhan fatik) dan garis miring  $R=1$

yang besarnya adalah  $f_{\text{mak}}$  dikurangi  $f_{\text{min}}$ , Gambar 4. Artinya pada suatu kondisi  $f_{\text{mak}}$  dan  $f_{\text{min}}$  tertentu, maka keruntuhan fatik akan dicapai setelah jumlah siklus mencapai  $N_i$ .

## 2.5. Keadaan tegangan

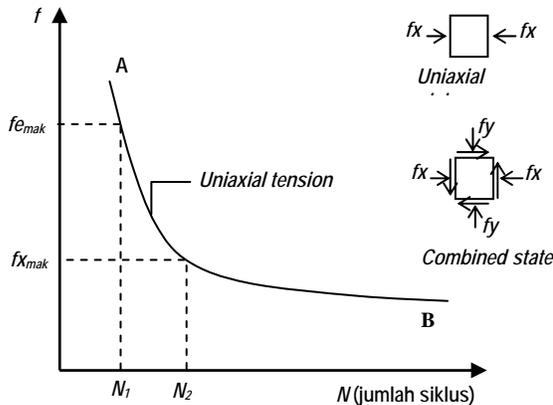
Kondisi tegangan yang bekerja pada elemen akan berpengaruh terhadap proses fatik dari elemen tersebut. Proses keruntuhan dari suatu elemen yang menerima tegangan tarik akan berbeda dengan yang menerima kombinasi tegangan tarik dan geser. Pada kondisi yang disebut terakhir akan terjadi tegangan *uniaxial equivalent* ( $f_e$ ) yang besarnya dapat melebihi atau lebih rendah dari tegangan uniaksial murni ( $f_x$ ) seperti terlihat pada persamaan *distortion energy* sebagai berikut :

$$f_e = (f_x)_{\text{mak}} - (f_x)_{\text{mak}} (f_y)_{\text{mak}} + (f_y)_{\text{mak}} + 3(t)_{\text{mak}} \quad (1)$$



**Gambar 4.** Daerah tegangan yang dapat menimbulkan keruntuhan fatik

Bilamana kombinasi tegangan uniaksial  $(f_x)_{\text{mak}}$  dengan tegangan geser  $(\tau)$  menghasilkan tegangan uniaksial ekuivalen  $(f_e)$  yang lebih besar dari  $(f_x)_{\text{mak}}$ , maka umur fatik akan berkurang. Akan tetapi bila  $(f_e)$  yang dihasilkannya lebih kecil, maka akan diperoleh umur fatik yang lebih lama, seperti tercermin pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Pengaruh tegangan terhadap umur fatik

## 2.6. Pengulangan tegangan

Suatu elemen dapat mengalami keruntuhan fatik dalam menerima suatu tegangan setelah mengalami sejumlah pengulangan (siklus) tertentu. Didalam kondisi yang nyata suatu elemen akan menerima bervariasi jenis tegangan, oleh karena itu keruntuhan fatik yang mungkin terjadi merupakan sumbangan dari berbagai variasi tegangan yang terjadi tersebut.

Pendekatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan *hypotesa cumulative damage*. Hipotesa Miner adalah yang paling banyak digunakan didalam menghitung *cummulative damage* didalam pendekatan fatik mengingat cukup sederhana.

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} + \dots + \frac{n_m}{N_m} = 1 \quad (2)$$

dimana

$i = 1, 2, 3, \dots, m$

$n_i$  = jumlah siklus pada pembebanan yang ke  $i$

$N_i$  = umur fatik jika hanya beban yang ke  $i$  saja yang bekerja selama umur elemen.

$m$  = jumlah beban yang bekerja

Umur fatik selama umur jembatan (50 tahun) dapat juga dihitung dengan menggunakan *Miner's cumulative damage rule*, seperti yang dianut oleh NAASRA, *Japan Steel Structure Association* dan BMS, adalah sebagai berikut :

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \times 365 \times 50 \quad (3)$$

atau

$$D = \sum \frac{n_i S_{ri}}{C} \times 365 \times 50 \quad (4)$$

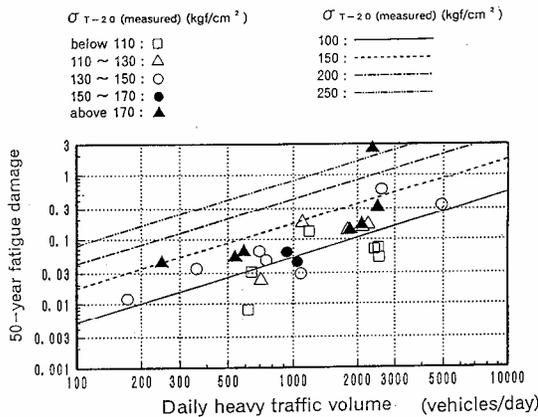
dimana :

$S_{ri}$  = daerah tegangan (*stress range*)

- $M_i$  = jumlah pengulangan sampai keruntuhan
- $M_i$  = jumlah pengulangan pada daerah tegangan ke  $i$
- $C$  =  $(2 \times 10^7 \text{ siklus}) \times (\text{kuat fatik pada } 2 \text{ juta pengulangan})$

Didalam *modified Miner's rule* ini diasumsikan bahwa kerusakan fatik akan terjadi bila nilai ( $D$ ) pada persamaan diatas melampaui 1.0.

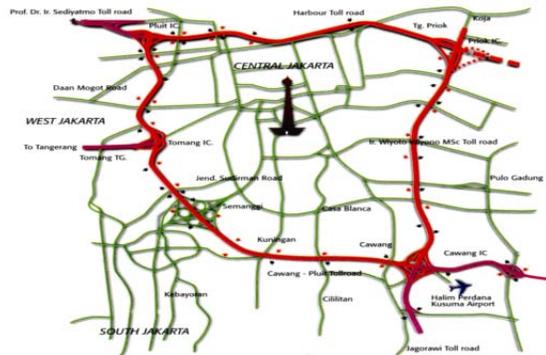
Untuk menyederhanakan penyelesaian, maka pendekatan dari *Japan Steel Structure Association* yang berupa penggunaan grafik hubungan antara volume harian kendaraan berat, variasi tegangan yang terjadi terhadap terjadinya fatik dalam periode pelayanan 50 tahun. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hubungan antara LHR kendaraan berat dan variasi tegangan yang terjadi terhadap kemungkinan fatik 50 tahun.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Seperti yang telah diuraikan dimuka, sebagai obyek penelitian adalah jalan layang Ir. Wiyoto Wiyono, MSc. Jalan tol ini merupakan bagian dari jalan tol dalam kota dan merupakan ruas antara Cawang IC ke Tanjung Priok IC dan ruas Tanjung Priok IC ke Pluit IC. Denah dari ruas jalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7. berikut.



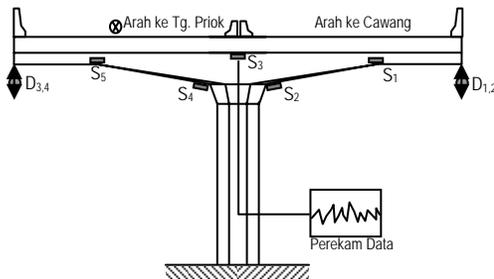
**Gambar 7.** Peta Jaringan Jalan Tol Dalam Kota Jakarta

#### 3. 1. Pengukuran Lendutan dan Regangan

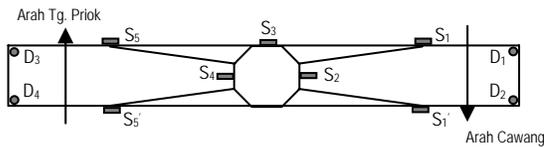
Pengukuran lendutan dan regangan pada pier head dilakukan pada bagian yang kritis dan memungkinkan. Obyek pengukuran diambil pada Pier 172 seksi NS Link. Lendutan diukur pada ujung kantilever pier head, sedangkan regangan diukur pada tengah bentang kantilever dan ujung tumpuan pier head.

Pada masing-masing ujung pier head dipasang sepasang pengukur lendutan

(*deflectometer*) sehingga keseluruhan sebanyak 4 buah. Pengukur regangan (*Strain gage*) yang dipasang sebanyak 7 buah, seperti yang dapat dilihat pada gambar. Sketsa pemasangan *deflectometer* dan *strain gage* dapat dilihat pada Gambar 8 berikut. Notasi D menunjukkan *deflectometer* dan notasi S berarti letak pengukur regangan (*strain gage*).



a. Tampak dari Cawang



b. Tampak dari bawah

**Gambar 8.** Lokasi pengukuran lendutan dan regangan P172 NS Link

### 3.1.1. Pengukur Lendutan

Deflectometer yang digunakan merupakan jenis "*linear variable deflector transducer*" (LVDT) yang menggunakan sistem rol – pegas. Agar alat ini dapat bekerja dengan baik, maka setiap ujung deflectometer diikat

suatu beban pemberat. Alat yang digunakan buatan Gage Technique Ltd. Prinsip dasar dari alat ini adalah terjadinya perubahan lendutan maka akan merubah besarnya tegangan yang terjadi pada sistem sirkuit alat. Dengan menggunakan kalibrasi tertentu maka besar lendutan yang terjadi dapat terukur dengan baik. Jenis alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** LVDT sistem rol – pegas.

### 3.1.2. Pengukur Regangan

Jenis pengukur regangan yang digunakan adalah "*vibrating wire acoustic strain gauge*" tipe TES/5.5/WL yang dibuat oleh Gage Technique Ltd. Sensor ini direkatkan pada permukaan dimana regangan yang terjadi akan diukur dengan menggunakan lem khusus. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 10. Prinsip dasar alat ini adalah menggunakan frekuensi yang dihasilkan oleh kawat yang berada didalam pipa. Akibat adanya perubahan regangan maka terjadi pula perubahan frekuensi yang dihasilkan oleh kawat. Dengan

kalibrasi tertentu, perubahan frekuensi akan menunjukkan perubahan regangan pada panjang terukur (*gage length*).



**Gambar 10.** Vibrating wire accoustic strain gauge.

Regangan yang terukur oleh alat merupakan perubahan regangan akibat beban lalu lintas. Hal ini karena arus lalu lintas pada obyek penelitian tidak dapat dihentikan selama pengambilan data. Untuk mendapatkan regangan yang diakibatkan oleh berat sendiri, beban mati dan gaya prategang maka diukur dengan alat *demec*.

Kancing *demec* dipasang pada tempat  $S_2$ . Jarak kancing atau disebut dengan *gage length* akan berubah akibat lalu lintas. Dan untuk mendapatkan regangan akibat berat sendiri, beban mati dan gaya prategang maka dilakukan *stress release* pada *gage length* tersebut. *Stress release* didapat dengan melakukan pengeboran pada daerah kancing sampai perubahan *gage length* tidak terjadi.

## 3.2. Data Akuisisi

### 3.2.1. Data Logger

Data logger merupakan alat yang digunakan untuk merekam besarnya regangan maupun lendutan pada benda uji yang diamati. Data logger yang digunakan adalah tipe DT 600 buatan Gage Technique.



**Gambar 11.** Data Logger

### 3.2.2. Komputer

Agar semua data regangan dan lendutan yang terdapat pada data logger dapat dianalisis, maka data logger harus dihubungkan ke komputer yang sudah dilengkapi program "DeCipher Plus". Program ini akan mengubah data regangan dan lendutan pada data logger menjadi data regangan dan lendutan dalam format ASCII sehingga dapat diolah lebih lanjut .

## IV. DATA PENGUJIAN

### 4.1. Jenis Struktur Jembatan

Struktur bangunan bawah obyek penelitian berbentuk tipe T dengan kolom oktahedral berdiameter 2.75 m.

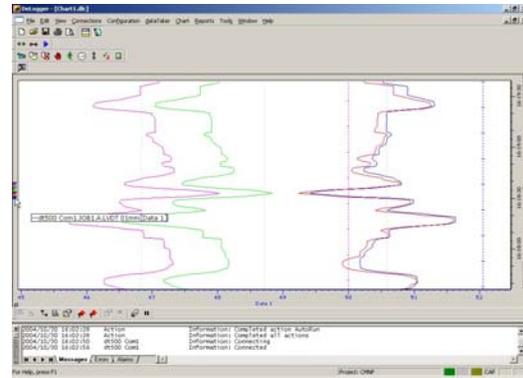
Di atas kolom ini menumpu pier head dengan sistem prategang. Pier head ini sebagai tumpuan dari balok-balok I dan pelat lantai, Gambar 12.



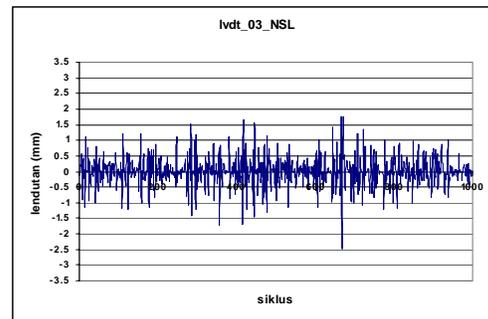
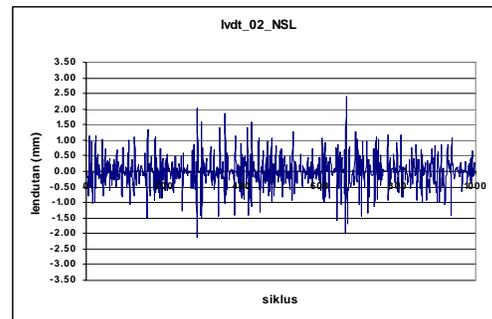
Gambar 12. Jembatan Layang P 172

#### 4.1.3. Lendutan Pier Head

Pengukuran lendutan pier head dilakukan selama 2x24 jam. Selang waktu ini diharapkan mendapat kan data riwayat lendutan ujung kantilever pier head. Sistem pengambilan data berupa *scanning* lendutan yang diatur terhadap waktu. Gambar 13 dan Gambar 14 memperlihatkan bentuk grafik lendutan hasil *scanning* tersebut. Terlihat bahwa lendutan yang terjadi bervariasi terhadap waktu akibat beban yang bekerja juga bervariasi. Puncak lendutan yang terjadi adalah akibat kendaraan berat melintas di atas pier head.

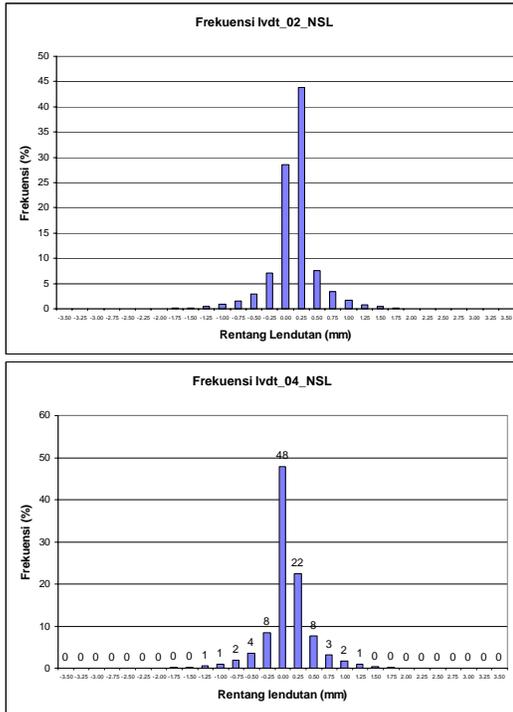


Gambar 13. Contoh riwayat lendutan ujung kantilever pier head terhadap waktu.



Gambar 14. Grafik lendutan ujung kantilever pier head terhadap waktu NSL.

Selama dilakukan *scanning* terhadap lendutan pier head didapat lendutan maksimum ujung pier head sebesar 3.469 mm pada LVDT02 dan 2.613 mm pada LVDT04. Lendutan yang terekam merupakan lendutan akibat beban lalu lintas saja. Evaluasi terhadap LVDT02 (sisi kearah Cawang) dan LVDT04 (sisi kearah Priok) memperlihatkan bahwa pada sisi kearah Cawang lebih banyak mengalami lendutan yang relatif besar disbanding kan dengan sisi kearah Priok. Hal ini juga dapat dilihat pada distribusi lendutan yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 15.

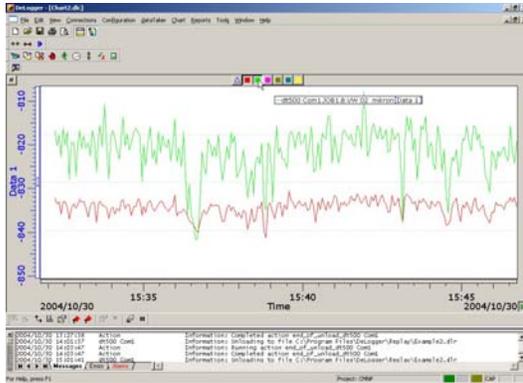


**Gambar 15.** Grafik distribusi lendutan ujung kantilever pier head.

### 4.3. Regangan Pier Head

Pengukuran regangan pier head juga dilakukan selama 2x24 jam. Selang waktu ini diharapkan mendapatkan data riwayat regangan pada bagian pier head yang diukur. Sistem pengambilan data berupa *scanning* regangan yang diatur terhadap waktu. Gambar 16 memperlihatkan bentuk grafik regangan hasil *scanning* tersebut. Terlihat bahwa regangan yang terjadi bervariasi terhadap waktu akibat beban yang bekerja juga bervariasi. Puncak regangan yang terjadi adalah akibat kendaraan berat melintas di atas pier head.

Selama dilakukan *scanning* terhadap regangan pier head didapat bahwa regangan maksimum pier head adalah sebesar  $-76.61$  *strain*. Regangan ini terjadi pada pangkal bawah dari kantilever pier head yaitu strain gage no. S<sub>2</sub>. Regangan yang terjadi ini merupakan regangan akibat beban lalu lintas saja. Untuk mendapat regangan akibat berat sendiri, beban mati dan gaya prategang maka perlu dilakukan pembuatan *stressing release* pada bagian tersebut.



**Gambar 16.** Contoh riwayat regangan pier head terhadap waktu.

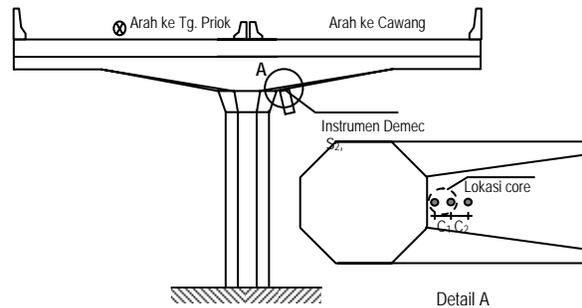
### 4.3. Regangan beban mati dan prategang

Seperti yang diuraikan sebelumnya, bagian bawah pangkal pier head dilakukan pengukuran regangan akibat beban mati dan gaya prategang saja. Untuk itu pada bagian tersebut dilakukan *stress release*. Pengukuran menggunakan instrumen demec dan setelah dilakukan pengukuran panjang gage awal maka pada daerah tersebut dilakukan *core* untuk mendapatkan panjang gage akhir. Pengambilan data dilakukan pada lokasi *strain gage* S<sub>2</sub>. Sketsa pengambilan regangan dapat dilihat pada Gambar 17.

Hasil pengukuran regangan sebelum dan sesudah coring dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini. Regangan tersebut merupakan regangan tekan.

**Tabel 4.1**  
Regangan Akibat Beban Mati dan Prategang

No.	Pier	Bacaan C <sub>1</sub>		Regangan strain
		Pra Core	Pasca Core	
1.	172 NSL	7595	7725	256.10



**Gambar 17.** Sketsa pengukuran regangan akibat beban mati dan prategang.

## V. EVALUASI

### 5.1. Tegangan pada Prategang

Dari data *scanning* regangan dan data regangan demec maka dihitung tegangan kabel prategang. Pola variasi tegangan kabel prategang akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 18.

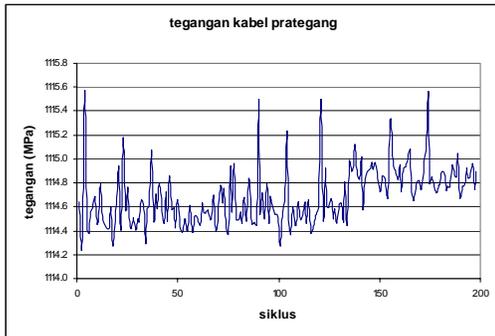
Untuk dapat melakukan evaluasi tegangan yang terjadi, maka dihitung pula tegangan pada kabel prategang dari perhitungan desain. Rangkuman perhitungan disajikan berikut :

- $\sigma_{ips}$  : 1060.455 MPa.
- $\sigma_{psDL}$  : 1114.566 MPa.
- $\sigma_{psmakd}$  : 1139.529 MPa.
- $\sigma_{ypsk}$  : 1840.000 MPa.
- $\sigma_{psmaka}$  : 1116.678 MPa.
- $\sigma_{psr}$  : 1114.368 MPa.

dimana :

- $\sigma_{ips}$  : teg. awal saat penarikan kabel
- $\sigma_{psDL}$  : teg. kabel akibat beban mati tambahan
- $\sigma_{psmakd}$  : teg. akibat beban mati dan beban hidup desain.
- $\sigma_{ypsk}$  : tegangan leleh kabel prategang
- $\sigma_{psmaka}$  : teg. maksimum. pengukuran
- $\sigma_{psr}$  : teg. rata-rata pengukuran

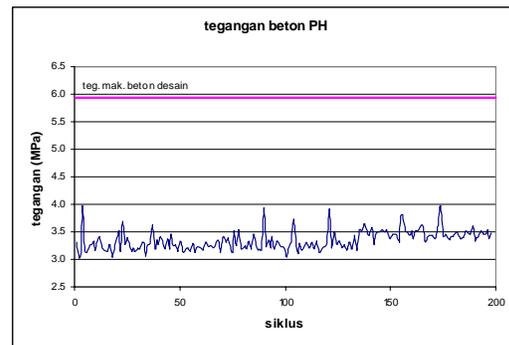
Tegangan kabel maksimum desain sebesar 1139.529 MPa tidak pernah dilewati oleh tegangan hasil pengukuran. Dan tegangan maksimum pengukuran sebesar 1116.578 MPa juga tidak melewatinya dan hanya berkisar pada 97.98% terhadap tegangan maksimum desain. Dan juga bila dibandingkan dengan tegangan leleh kabel hanya berkisar pada 60.68 %.



**Gambar 18.** Tegangan pada kabel prategang akibat beban lalu lintas

## 5.2. Tegangan pada Prategang

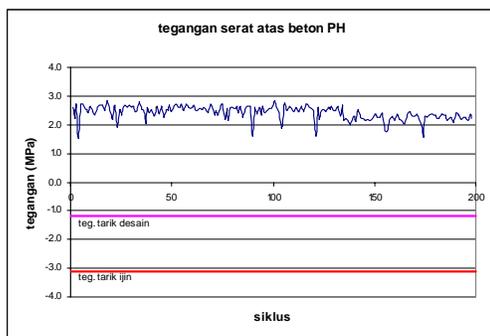
Selain melihat pada tegangan kabel, maka perlu ditinjau pula tegangan pada beton di pangkal pier head baik pada serat atas maupun serat bawah. Menurut perhitungan, tegangan beton pada serat bawah akibat prategang, dan beban mati adalah sebesar 3.258 MPa (tegangan akibat prategang saja -2.544 MPa) atau terdapat penambahan tegangan 5.799 MPa. Dan tegangan maksimum desain pada serat bawah akibat beban keseluruhan termasuk beban hidup adalah 5.935 MPa. Sementara itu tegangan maksimum pengukuran mencapai 4.777 MPa dan tegangan rata-rata sebesar 3.112 MPa. Tegangan maksimum pengukuran ini masih dibawah tegangan maksimum (5.935 MPa) atau sekitar 80.49 %.



**Gambar 19.** Tegangan pada beton serat bawah akibat beban lalu lintas

Pada serat atas, menurut perhitungan tegangan beton pada serat atas akibat prategang saja adalah 10.587 MPa (tekan) dan akibat prategang dan beban mati adalah 2.543 MPa (tekan)

atau terdapat pengurangan tegangan sebesar 8.044 MPa. Dan tegangan minimum desain akibat seluruh beban pada serat atas adalah -1.167 MPa (tarik). Sementara itu tegangan minimum serat atas hasil pengukuran sebesar 0.432 MPa (tekan) dan tegangan rata-rata sebesar 2.743 MPa (tekan). Hal ini menunjukkan bahwa pada serat atas belum pernah terjadi tegangan tarik pada beton tetapi masih bekerja sebagai tegangan tekan. Artinya adalah pada serat atas tidak akan terjadi retak akibat tegangan tarik.



**Gambar 20.** Tegangan pada beton serat atas akibat beban lalu lintas

Kondisi retak tarik pada beton merupakan gejala awal terhadap adanya kelemahan pada beton, seperti beban berlebih atau fatik.

## VI. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari evaluasi data yang ada disajikan seperti berikut ini :

1. Cara uji seperti yang diuraikan diatas dapat digunakan untuk melakukan evaluasi pengaruh beban berulang pada struktur jembatan dimana tidak dapat dilakukan penyetopan lalu lintas.
2. Lendutan maksimum terekam pada ujung pier head sebesar 3.469 mm.
3. Regangan pada pangkal bawah pier head untuk adalah -76.61  $\mu strain$ .

## DAFTAR PUSTAKA

1. AASHTO, "Division 1 – Design", June 1991, pp. 183.
2. Bungey, John H., "The Testing of Concrete in Structure", Surrey University Press, London, 1982.
3. Kay, Ted., "Assesment & Renovation of Concrete Structures", Longman Scientific, 1982.
4. Mallet, G. P., "Fatigue of Reinforced Concrete, State of the Art Review 2", HMSO, London, 1991.
5. Nawy, E. G., "Prestressed Concrete", Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1969.
6. T. Y. Lin, "Design of Prestressed Concrete Structures", John Willey and Sons, Inc., New York, 1963.
7. The Concrete Society, "Assesment and Repair of Fire Damaged Concrete Structures", Technical Report No. 33, Framewood Road Wexham, Slough, Great Britain, 1990.

## Penulis :

**Ir. Setyo Hardono, MT** Asisten Peneliti Muda bidang Konstruksi Jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.