

MEKANISME FATIK DAN PENGARUH RESONANSI PADA KERUNTUHAN JEMBATAN CALLENDER HAMILTON

Oleh :
Lanneke Tristante

RINGKASAN

Mekanisme fatik jembatan yang serba rumit menjadi transparan melalui dasar pengetahuan yang sederhana. Jembatan yang terbebani oleh berat sendiri dan lalu lintas kendaraan akan mengalami perubahan bentuk struktural sepanjang masa. Perubahan bentuk menimbulkan tegangan dalam bahan jembatan. Kemampuan tegangan bahan menjadi sumber kekuatan dari jembatan. Kekuatan optimal dalam masa pelayanan, akan menurun dalam masa pemeliharaan, dan lebih menurun dalam masa fatik menjelang penggantian jembatan. Mekanisme fatik menjadi topik pada kejadian keruntuhan jembatan. Fatik bahan memerlukan proses lama untuk berkembang menjadi kerusakan total, sehingga struktur jembatan tidak serentak runtuh karena kondisi fatik saja. Pada waktu kemacetan lalu lintas, terjadi resonansi antara kendaraan berat sebagai mesin penggetar (frekuensi 2-3 Hertz) dan gelagar rangka baja (frekuensi 2-3 Hertz). Resonansi antara dua frekuensi getaran identik mempertajam respon jembatan sampai simpangan tidak terhingga, yang menyebabkan keruntuhan serentak seperti pada musibah gempa bumi.

Kata kunci : fatik, resonansi, frekuensi, simpangan

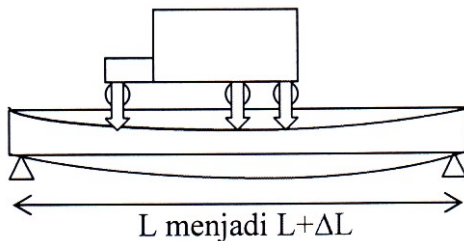
SUMMARY

The complication in fatigue mechanism of bridges is becoming transparent through simplified basic knowledge principals. Bridges are subjected to self weight and vehicle traffic loads, causing structural deformation throughout the life time. Deformation causes stress in the bridge material. Material stress capacity is the source for bridge strength. The bridge strength that is optimal during servicability life, decreases in time of maintenance, and becomes fatigue in time of replacement. Fatigue mechanism is high lighted in bridge failure cases. Fatigue of material needs a long process before developing into total damage, therefore a bridge structure will not collapse due to fatigue conditions only. During traffic jams, resonance will occur between the heavy vehicles as vibration machine (frequency 2-3 Hertz) and steel truss girder (frequency 2-3 Hertz). Resonance between two identical frequency vibrations increases the bridge response to infinite displacement, causing a sudden failure like in an earthquake disaster.

Key words : fatigue, resonance, frequency, displacement

I. LATAR BELAKANG

Gelagar jembatan dalam masa pelayanan mengalami perubahan bentuk dimana panjang gelagar L bertambah dengan ΔL seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Regangan $\Delta L/L$ kemudian dilawan oleh sifat kekenyalan bahan atau modulus elastisitas E dalam menghasilkan tegangan.

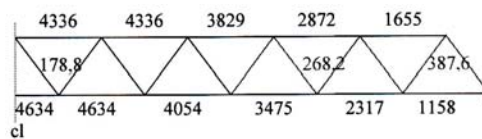


Gambar 1. Perubahan bentuk gelagar jembatan

Perulangan tegangan dalam batas daya layan memberikan laju fatik sesuai 50 tahun umur rencana jembatan. Perkembangan volume dan tekanan gandar kendaraan berat menyebabkan perulangan tegangan diatas batas daya layan yang mempercepat fatik bahan. Tingkat fatik dinyatakan dalam persentase kerusakan. Kerusakan fatik pada beban rencana, pernah dievaluasi sekitar 1% per tahun – Pustaka 2. Pencapaian kerusakan 30% adalah pertanda untuk memperkuat struktur eksisting. Jembatan Callender Hamilton (CH) yang rata-rata berumur 25 tahun telah cenderung fatik.

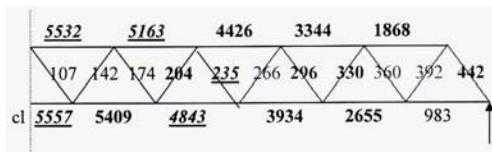
II. BEBAN RENCANA VS BEBAN LEBIH (OVERLOAD)

Beban hidup dalam rencana semula (1) untuk bentang CH 50,29m kelas A dengan muatan penuh terhitung sebesar : 209t (beban merata) + 32,7t (beban terpusat dengan faktor kejut 1,2) + 30,17t (beban hidup trotoar) = 271,87 ton. Kondisi aktual di Jembatan Cipunegara – Pustaka 6 - dengan ketebalan lapis perkerasan aspal 15cm, telah memberi kelebihan beban mati 77,5 ton. Beban aspal 77,5 ton ditambah dengan beban lebih pada saat keruntuhan 337 ton menjadi 414,5 ton, yaitu 150 % terhadap beban hidup dalam rencana semula. Tegangan ijin lentur baja dengan grade 50 B : 223 MPa untuk gelagar melintang, tegangan tekan dan tarik aksial ijin dalam batang dengan grade 55 C : 270 MPa. Dalam rencana semula (Sumber : Perhitungan Perencanaan oleh Balfour Beatty 1975) terdapat kapasitas momen (tm) pada batang tepi bawah (tarik) dan batang tepi atas (tekan) serta kapasitas geser diagonal (t) untuk bentang 50,29m sebagai berikut :



Gambar 2. Kapasitas rencana

Pada *beban rencana*, momen maksimum di tengah bentang adalah $2313,8 \text{ tm} + 2086,5 \text{ tm} = 4400,8 \text{ tm}$ yang berasal dari beban hidup + beban mati. Geser maksimum di perletakan adalah $184,1 + 166 \text{ t} = 350,1 \text{ t}$ (beban hidup + beban mati). Geser maksimum di tengah bentang adalah $64,9 \text{ t}$ (beban hidup). Pada *beban hidup lebih* sebesar 150% rencana, momen maksimum menjadi $3470,7 + 2086,5 \text{ tm} = 5557,2 \text{ tm}$, dan geser maksimum di perletakan menjadi $276,15 + 166 \text{ t} = 442,15 \text{ t}$. Geser maksimum di tengah bentang menjadi 107 t . Sehingga untuk beban hidup lebih sebesar 150 % rencana diperlukan kapasitas momen dan geser sebagai berikut :



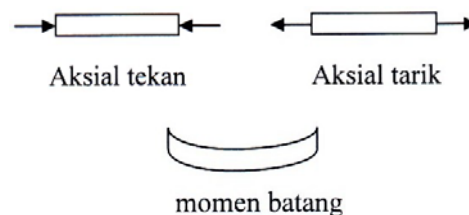
Gambar 3. Kapasitas yang diperlukan pada beban lebih

Pengaruh beban lebih seperti pada Gambar 3 menyebabkan terlampauinya kapasitas rencana sebesar 20-30% pada batang tepi atas dan tepi bawah sekitar tengah bentang serta diagonal di $\frac{1}{4}$ bentang. Beban lebih sebesar 30 % tidak menyebabkan keruntuhan bila kendaraan melewati jembatan tanpa macet. Ternyata banyak jembatan CH sepanjang Pantura dilewati oleh kendaraan berat dan bertahan. Kemacetan lalu lintas pada jembatan Cipunegara telah

meningkatkan jumlah perulangan beban, dimana fatik batang kritis dipercepat oleh resonansi dan menyebar ke batang tidak kritis, sehingga terjadi kerusakan total dan keruntuhan dalam waktu singkat.

III. ANALISIS FATIK

Analisis dua dimensi dengan cara tangan memberikan gaya batang aksial maksimum dengan anggapan freebody $\frac{1}{2}$ bentang simetris (1), dan ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Dalam perhitungan komputer, diperoleh gaya batang aksial dan pengaruh momen berat sendiri batang – Gambar 4. Selama keseimbangan gaya di titik simpul terpenuhi, hasil analisis tangan mendekati kebenaran.



Gambar 4. Gaya aksial dengan momen berat sendiri batang

Pada batang maksimum terjadi fluktuasi tegangan beban hidup ($\Delta\sigma$) diatas tegangan beban mati sebesar (tegangan total – tegangan beban mati) :

Batang tepi bawah tengah bentang : $(331,3 - 147,5) \text{ MPa} = \mathbf{183,8 \text{ MPa}}$

Batang tepi atas tengah bentang :
(262,5-126,0) MPa = **136,5 MPa**

Batang diagonal ¼ bentang : (349,8-
77,4) MPa = **272,4 MPa**

Fatig terpengaruh oleh perulangan $\Delta\sigma$. Variasi tegangan 272,4 MPa memerlukan 10^5 kejadian perulangan beban untuk mencapai kerusakan fatig 100% atau awal runtuh (4).

Kemacetan lalu lintas yang terjadi selama 1 jam (3600 detik) menimbulkan perulangan beban sebanyak 3600×2 siklus beban = 7200 perulangan beban, mengingat kendaraan berat mempunyai frekuensi 2 Hertz yang berarti 2 siklus terjadi dalam 1 detik. Dengan demikian 10^5 perulangan beban untuk mencapai 100% kerusakan fatig, memerlukan waktu kemacetan 14 jam atau ½ hari. Ternyata tidak terjadi kemacetan yang begitu berkepanjangan. Dengan demikian fatig bukan unsur utama untuk keruntuhan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

- *Keruntuhan jembatan CH* disebabkan oleh *resonansi* getaran. Jembatan dalam kondisi baik dapat runtuh juga karena getaran gempa. Dengan demikian pada setiap kemacetan lalu lintas diatas jembatan diharuskan untuk mematikan mesin kendaraan.
- *Cara pencegahan resonansi* pernah dilakukan pada kemacetan lalu lintas jembatan

Bosporus lama yang menghubungkan Eropa Selatan dengan Turki, dimana polisi berpatroli sepanjang jembatan agar mesin kendaraan dimatikan. Di Inggris terdapat peraturan agar barisan serdadu melewati jembatan penyeberangan dengan berjalan secara biasa, karena frekuensi jembatan pejalan kaki sama dengan frekuensi berbarisnya serdadu.

- *Kendaraan berat* mempunyai frekuensi 2-3 Hertz dan bila melewati jembatan rangka (rentang frekuensi jembatan rangka 2-3 Hertz) terjadi *resonansi palsu* yang tidak mempengaruhi keamanan struktur. Getaran akibat kendaraan dapat dirasakan lebih nyata pada jembatan rangka baja dibanding jembatan beton (frekuensi 5 Hertz), resonansi palsu hanya mempengaruhi kenyamanan struktur.

4.2. Saran

- *Renovasi* jembatan rangka baja tidak perlu disertai dengan penggantian batang secara total. Batang kritis di tengah dan ujung bentang akan lebih cepat fatig karena menahan lentur dan geser maksimum. Salah satu cara penanggulangan adalah penggantian beberapa batang kritis dengan profil baru, untuk mencegah fatig lokal. Fatig lokal memperlemah kapasitas seluruh

rangka baja. Teknik penggantian batang kritis dengan profil baru, mencakup penggunaan batang sementara yang menahan gaya batang tarik atau tekan selama prosedur penggantian berlangsung. Saat penggantian batang lama dengan yang baru, lalu lintas ke jembatan ditutup untuk sementara waktu.

- *Perkuatan* jembatan dengan sistem prategang dalam bentuk sokongan '*queen post*' memberi peningkatan kapasitas 25-30% (BM 100% menjadi BM 125%) dengan anggapan bahwa bahan baja belum fatik. Perkuatan dengan sistem prategang perlu dipertimbangkan lebih mendalam, bila diterapkan pada jembatan lama. Tegangan ijin baja lama dapat diperhitungkan berdasarkan laju fatik sekitar 1% per tahun, misalnya 270 MPa untuk jembatan baja baru menjadi 200 MPa untuk jembatan baja berumur 25 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

1. Calculation sheet : Through Bridge Type B15, Balfour Beatty & Company Ltd, London, UK, 1976
2. Laporan Akhir "Uji Beban Jembatan Cipunegara Lama Bentang ke-2", Pamanukan Subang, Jawa Barat, Puslitbang Prasarana Transportasi, September 2004
3. Peraturan dan Manual Perencanaan Jembatan, BMS 1992
4. Peraturan Perencanaan Baja Struktural, RSNI 2004
5. Peraturan Pembebanan untuk Jembatan, RSNI 2005
6. The Influence of Traffic Configuration on the Damage Rate of Bridges, Lanneke Tristanto, Proceedings 8th REAAA Conference, Taipei, April 17-21th 1995

Penulis :

Lanneke Tristanto, Profesor riset pada Puslitbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum