

# KAJIAN HASIL SISTEM MONITORING JEMBATAN INTEGRAL SINAPEUL DITINJAU DARI REGANGAN KEPALA JEMBATAN (THE STUDY OF SINAPEUL INTEGRAL BRIDGE MONITORING SYSTEM BASED ON ABUTMENT STRAIN)

**N. Retno Setiati**

Puslitbang Jalan dan Jembatan  
Jalan A.H. Nasution No. 264, Bandung  
e-mail: retno.setiati@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 09 Februari 2015; direvisi: 10 Maret 2015; disetujui: 6 April 2015

## **ABSTRAK**

*Penerapan teknologi jembatan integral di Indonesia belum sepopuler di luar negeri (Inggris, USA, Australia, Jepang, Korea, India, dan negara lainnya), adalah dalam kenyataannya, teknologi ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan jembatan konvensional, diantaranya dapat mengurangi biaya pemeliharaan jembatan. Penelitian mengenai teknologi jembatan integral sudah banyak dilakukan di beberapa Negara. Di Indonesia konsep sistem integral ini baru mulai diteliti pada tahun 2007 oleh Dirjen Bina Marga bekerjasama dengan Perguruan Tinggi. Penelitian kemudian dilanjutkan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan pada tahun 2009, akhirnya pada tahun 2012 Puslitbang Jalan dan Jembatan melakukan uji coba skala penuh jembatan integral gelagar beton bertulang dengan bentang 20 meter di Kabupaten Sumedang. Perilaku jembatan integral di Indonesia tentu akan sangat berbeda dengan di luar negeri. Untuk itu dalam masa pembangunannya, jembatan integral Sinapeul dilengkapi dengan beberapa alat sensor untuk mendeteksi dan mengetahui perilaku jembatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi hasil data yang terekam dalam sistem monitoring, yang selanjutnya hasil analisis tersebut akan dibandingkan dengan perilaku jembatan integral di luar negeri dan teori analitis. Berdasarkan analisis dan pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu regangan kepala jembatan integral Sinapeul dengan panjang bentang 20 meter akibat perubahan temperatur adalah 2,88 mm, sedangkan untuk kondisi luar negeri dengan asumsi bentang yang sama adalah 4,80 mm (lebih besar 60% dari regangan jembatan integral di Indonesia). Regangan beton maksimum dari kepala jembatan dan gelagar sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$ . Nilai regangan ini masih lebih kecil dari regangan desain yang dihitung secara teori analitis yaitu sebesar  $150 \times 10^{-6}$ , sehingga jembatan integral Sinapeul masih dalam kondisi utuh.*

**Kata kunci:** sistem monitoring, regangan beton, kepala jembatan, integral, perubahan temperatur

## **ABSTRACT**

*Application of integral bridges in Indonesia has not been as popular as in some countries such as the UK, USA, Australia, Japan, Korea, India, and other countries, whereas in the fact, this technology is more beneficial than conventional bridges, which can reduce the cost of bridge maintenance. Research on integral bridge technology has been done in some countries. In Indonesia the concept of integral system just began to study in 2007 by the Directorate General of Highways in collaboration with Universities. Research was continued by the Institute of Road Engineering in 2009, finally in 2012 the Institute of Road Engineering performed full-scale experiment of reinforced concrete integral bridge girder with spans of 20 meters in Sumedang. The behavior of integral bridges in Indonesia would be very different from abroad. For that during the construction, Sinapeul integral bridge was equipped with several sensors to detect and study the behavior of the bridge. This study aimed to analyze and evaluate the results of the data recorded in the monitoring system, which in turn results of the analysis will be compared with the behavior of integral bridges abroad and analysis theory. Based on the analysis and discussion, some conclusions are obtained by abutment displacement of Sinapeul integral bridge with span length of 20 meters as a result of temperature change was 2.88 mm, while for overseas conditions assuming the same span is 4.80 mm (greater of 60% of the displacement integral bridge in Indonesia). Maximum strain displacement of the abutment and girder bridge at  $10.59 \times 10^{-6}$ . Strain value is still less than strain obtained from analytical theory ( $150 \times 10^{-6}$ ), so that the Sinapeul integral bridge is still in a state of elastic.*

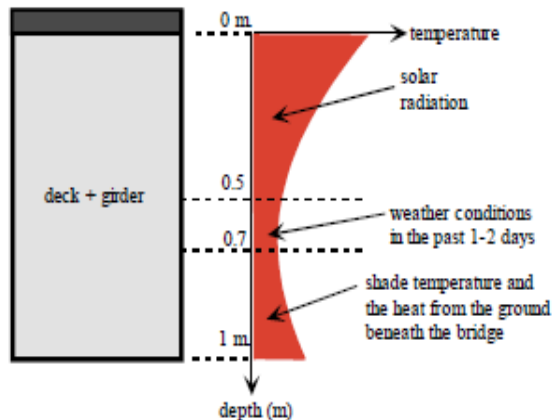
**Keywords:** monitoring system, concrete strain, abutment, integral, temperature changes

## PENDAHULUAN

Penelitian mengenai jembatan integral di Puslitbang Jalan dan Jembatan sudah dimulai sejak tahun 2009. Sebelumnya penelitian tersebut sudah pernah dilakukan pada tahun 2007 oleh Dirjen Bina Marga bekerjasama dengan lembaga Perguruan Tinggi di Indonesia. Berdasarkan hasil kajian pustaka dan survei lapangan diketahui bahwa aplikasi jembatan integral di Indonesia belum sepopuler di Negara lain, hal ini disebabkan sebagian besar perencana dan pelaksana jembatan di Indonesia belum mengenal secara detil mengenai konsep sistem integral. Padahal sistem jembatan integral ini banyak keuntungannya dibandingkan jembatan konvensional, di antaranya dapat mengurangi biaya pemeliharaan dan perawatan jembatan (Setiati, N. R. 2009). Perilaku jembatan integral di Indonesia tentu sangat berbeda dengan negara lain seperti Inggris, Jepang, India, maupun negara-negara lainnya. Salah satu yang mempengaruhinya adalah perbedaan temperatur. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, perbedaan temperatur di Indonesia tidak se-ekstrim di beberapa Negara yang mengenal empat musim, sehingga regangan jembatan integral di Indonesia tidak tergantung dari perubahan temperatur (Setiati, N. R. 2011). Pergerakan jembatan integral juga sangat dipengaruhi oleh tekanan tanah. Makin besar tekanan tanah, maka gaya siklik jembatan akan semakin sering terjadi, sehingga mengakibatkan terjadinya muai susut dan gaya torsi pada kepala jembatan. Untuk mengantisipasi hal ini, maka fondasi harus didesain sefleksibel mungkin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku jembatan Sinapeul yang menggunakan sistem integral penuh (*full integral*) yang sudah diaplikasikan di Kabupaten Sumedang pada tahun 2012. Analisis dan evaluasi dilakukan berdasarkan hasil data yang diperoleh dari sistem monitoring yang terekam dan terpasang pada jembatan tersebut. Hasil analisis dan evaluasi tersebut kemudian dibandingkan dengan kajian teoritis mengenai besarnya regangan yang terjadi pada kepala jembatan.

## KAJIAN PUSTAKA

Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan mengenai jembatan integral, diperoleh bahwa selama jangka panjang jembatan integral sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti: perubahan temperatur, radiasi matahari, kecepatan angin, curah hujan, sifat termal bahan struktural, dan kondisi cuaca lainnya. Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk berbagai tipe bangunan atas diberikan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Gradien perbedaan temperatur pada penampang gelagar jembatan (Emerson 1977)

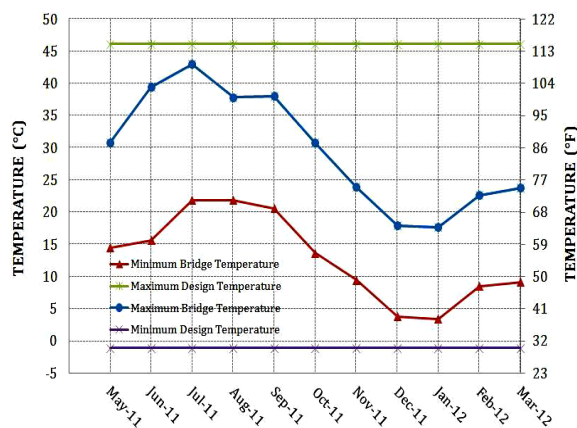
Gambar 1, menurut Emerson (1977) temperatur di bagian atas bangunan ini sebagian besar dipengaruhi panas radiasi matahari. Suhu di bagian bawah bangunan atas dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan panas dari tanah di bawah jembatan.

Variasi temperatur pada ketinggian gelagar jembatan dibagi dalam dua bagian, yaitu temperatur rata-rata jembatan dan gradien temperatur pada ketinggian gelagar jembatan. Black dan Emerson (1976) menyatakan bahwa temperatur rata-rata disebut sebagai temperatur jembatan efektif dan sangat mempengaruhi terjadinya muai susut pada jembatan integral. Menurut Robert J. Frosch (2011), perbedaan temperatur menyebabkan terjadinya perilaku siklik dari gerakan kepala jembatan integral.

Menurut Greimann, *et al.* (1991), perubahan suhu harian dan musiman menyebabkan terjadinya muai susut jembatan integral.

Variasi temperatur harian dapat menyebabkan terjadinya muai susut dan siklus yang berulang dari waktu ke waktu. Pemuai maksimum jembatan terjadi selama musim panas, sedangkan penyusutan maksimum terjadi selama malam di musim dingin. Variasi ini menyebabkan terjadinya muai susut jembatan secara ekstrim. Gambar 2 merupakan variasi temperatur yang terjadi pada jembatan integral di California (Rodriguez 2012). Temperatur beton diukur sejak bulan Mei 2011 sampai dengan bulan Maret 2012.

Temperatur rata-rata maksimum dan minimum per bulan yang diperoleh dari jembatan di California adalah 43 °C dan 3,5 °C. Spesifikasi AASHTO LRFD *Bridge Design* (2010) merekomendasikan batas temperatur rata-rata maksimum dan minimum untuk desain berkisar antara 46 °C dan (-1) °C.



**Gambar 2.** Temperatur rata-rata bulanan jembatan integral di California (Rodriguez 2012)

Perubahan panjang akibat perubahan temperatur dapat dihitung dengan persamaan yang biasa digunakan dalam ilmu fisika untuk menghitung muai susut akibat perubahan temperatur, yaitu sebagai berikut:

$$\Delta = \alpha L \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- $\Delta$  = pergerakan (mm)
- $\alpha$  = koefisien muai panjang ( $1/^\circ\text{C}$ )
- L = panjang jembatan (m)

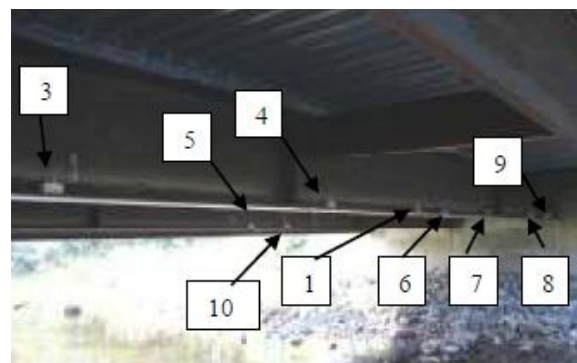
$\Delta T$  = perbedaan temperatur ( $^\circ\text{C}$ )

Besarnya tegangan lateral  $\sigma_{\text{lateral}}$  dalam kondisi elastis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_{\text{lateral}} = \varepsilon \times E_{\text{beton}} \dots\dots\dots(2)$$

Pergerakan kepala jembatan akibat perubahan temperatur di Indonesia sudah pernah diteliti pada jembatan semi integral Tukad Cucukan bentang 60 meter di Propinsi Bali (Setiati, N. R. 2013). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh besarnya pergerakan kepala jembatan semi integral tersebut sebesar 5,76 mm dengan perubahan temperatur jembatan  $8^\circ\text{C}$ .

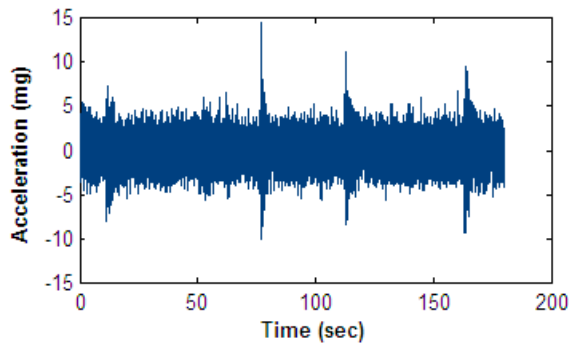
Penelitian lain mengenai perilaku jembatan integral pernah dilakukan oleh Michael V, *et al.* (2006). Aplikasi sistem monitoring dengan menggunakan sensor nirkabel diaplikasikan pada jembatan integral bentang pendek tipe gelagar komposit yang terletak di St. Lawrence New York. Sebanyak sepuluh sensor ditanam pada beberapa lokasi jembatan seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Lokasi sensor pada jembatan integral (Michael V., *et al.* 2006)

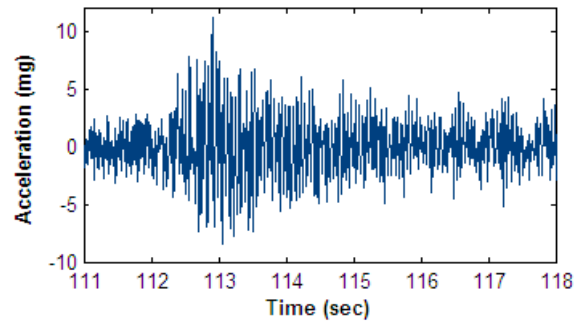
Gambar 3 menunjukkan letak sensor yang dipasang pada jembatan integral komposit dengan bentang 17 meter. Elemen jembatan terdiri dari lantai beton dengan empat gelagar baja W36 x 135. Volume kendaraan yang melewati jembatan adalah volume lalu lintas rendah. Sensor dipasang pada lokasi yang menghasilkan respon maksimum jembatan yaitu di tengah bentang untuk momen maksimum lapangan. Akselerasi vertikal diukur secara simultan dengan mengukur regangan. Pemasangan instrumentasi ini bertujuan untuk

menentukan perilaku moda dalam frekuensi natural dan bentuk moda. Regangan negatif diprediksi terjadi pada sayap (*flange*) bagian bawah dekat tumpuan dan regangan positif berada dalam rentang antara titik-titik infleksi. Diprediksi bahwa regangan pada pertengahan bentang akan lebih tinggi daripada di daerah tumpuan. Hasil pengukuran sensor untuk frekuensi jembatan ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Riwayat waktu jembatan integral komposit menurut Michael V., *et. al* (2006)

Gambar 4 menunjukkan riwayat waktu yang terukur dari sensor. Bentuk frekuensi alami jembatan ini ditunjukkan dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Frekuensi alami yang terjadi pada jembatan akibat beban lalu lintas kendaraan berat (Michael V., *et al.* 2006)

Gambar 5 menunjukkan frekuensi alami dari jembatan. Berdasarkan hasil monitoring, disimpulkan bahwa jembatan dalam kondisi utuh.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan (2009), desain jembatan integral penuh dibuat dengan bentang 20 meter dengan menggunakan fondasi sumuran. Beban yang digunakan mengacu pada RSNI 3 2014 (Indonesia 2014) (Pembebanan untuk Jembatan). Metode untuk menganalisis kepala jembatan menggunakan model rangka batang (*frame element*) dan cangkang (*shell element*). Hasil analisis desain ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Rekapitulasi gaya-gaya dalam yang bekerja pada jembatan integral (Setiati, N. R. 2009)

	Cambu 1	Cambu 2	Cambu 3	CambuA	Cambu II	Cambu2	Cambu21	Cambu22	Cambu23	Cambu 24	Satuan	
Metode rangka batang	Mlap	1852906	1545550.26	1545530.97	1904713.89	1981553.15	1929745.28	1805913.71	1904741.98	1788281.47	1852934.12	Nm
	A	-1951052.3	-1337307.64	-1514687.73	-1890851.34	-1897059.38	-1957260.37	-1815831.92	-1890804.92	-1817527.37	-1951005.91	Nm
	B	-2091288.4	-1984457.66	-1807006.24	-2031087.39	-1897059.38	-1957260.37	-1955621.44	-2031052.80	-1906992.66	-2091253.79	Nm
	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Nm
	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Nm
	V	609592.23	551017.07	533170.02	609923.94	605553.30	605221.59	607373.24	609902.61	607152.10	609570.90	N
	H	265644.11	244939.56	227735.33	254160.09	210389.29	225503.23	634603.99	658926.91	275138.47	243264.96	N
	defleksi	0.0180	0.0160	0.0160	0.0190	0.0210	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0180	m
Metode cangkang	Mlap	1915954.5	1554428.86	1554543.83	1915760.39	1995066.99	1946995.77	1937254.95	1915811.09	1905207.47	1867739.88	Nm
	A	-193094.77	-1308307.42	-141071.32	-1876462.49	-1939338.48	-1993810.74	-1903564.04	-1876176.93	-1939878.89	-1930649.28	Nm
	B	-2201250	-2100006.19	-1917648.95	-2146777.65	-1939338.48	-1933810.74	-2076590.78	-2146531.27	-2112905.63	-2201003.55	Nm
	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Nm
	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Nm
	V	626790.56	567770.18	54912.77	627007.94	614653.26	613836.48	621979.06	626917.89	621834.54	626701.17	N
	H	265644.11	244939.56	227735.33	254160.09	210389.29	225503.23	634603.99	658926.91	275138.47	243264.96	N
	defleksi	0.0185	0.0161	0.0160	0.0194	0.0208	0.0198	0.0198	0.0194	0.0192	0.0185	m

Berdasarkan Tabel 1 besarnya momen tumpuan maksimum terjadi pada kombinasi beban 1 sebesar  $M_{tumpuan} = -2201250$  Nm dan gaya geser  $V = 626791$  N. Gaya dalam yang dihasilkan dengan menggunakan metode cangkang (*shell element*) lebih besar dibandingkan metode rangka batang (*frame element*). Dari gaya dalam tersebut, secara teoritis dapat ditentukan besarnya regangan maksimum yang terjadi pada kepala jembatan integral.

## HIPOTESIS

Pengukuran regangan beton dapat mendeteksi kondisi keutuhan kepala jembatan.

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kajian literatur dari beberapa penelitian mengenai perilaku jembatan integral, analisis dan evaluasi data hasil monitoring sistem dari beberapa sensor yang terpasang pada jembatan integral

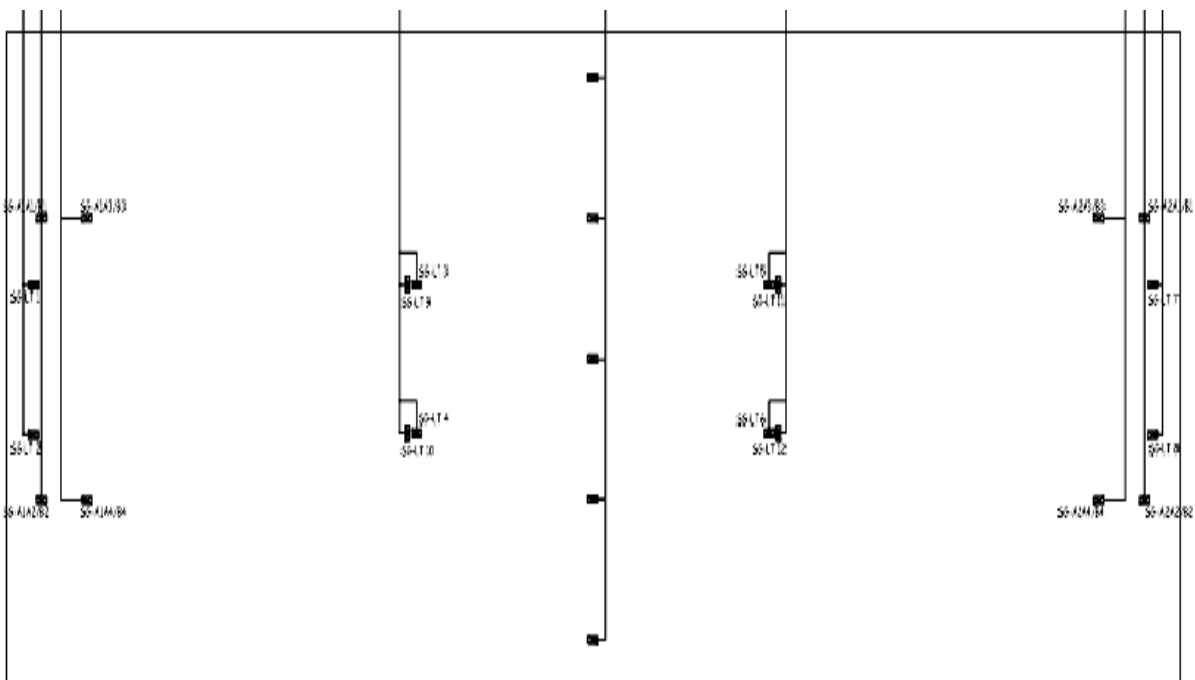
Sinapeul, dan perbandingan perilaku jembatan integral dari hasil sistem monitoring terhadap teori analitis.

## HASIL DAN ANALISIS

Jembatan integral tipe gelagar beton bertulang dengan panjang bentang 20 meter pada saat pelaksanaan konstruksi telah dipasang beberapa sensor. Tujuan pemasangan sensor adalah untuk mengetahui perilaku jembatan tersebut dalam menerima gaya-gaya transversal maupun longitudinal. Skema pemasangan alat sensor pada jembatan dapat dilihat dalam Gambar 6.

Dari Gambar 6, sensor terdiri dari *strain gauge* yang dipasang pada lantai untuk mengetahui temperatur jembatan serta regangan gelagar dan kepala jembatan. Hubungan struktur bangunan atas yang terdiri dari gelagar dan lantai dibuat secara menerus dengan bangunan bawah (kepala jembatan), sehingga jembatan berperilaku seperti portal balok dengan kolom (Setiati, N. R. 2012).

Hasil pengukuran temperatur jembatan integral Sinapeul ditunjukkan dalam Tabel 2.



**Gambar 6.** Lokasi pemasangan sensor pada lantai jembatan (Sukmara, G. 2012)

**Tabel 2.** Temperatur rata-rata maksimum dan minimum jembatan integral

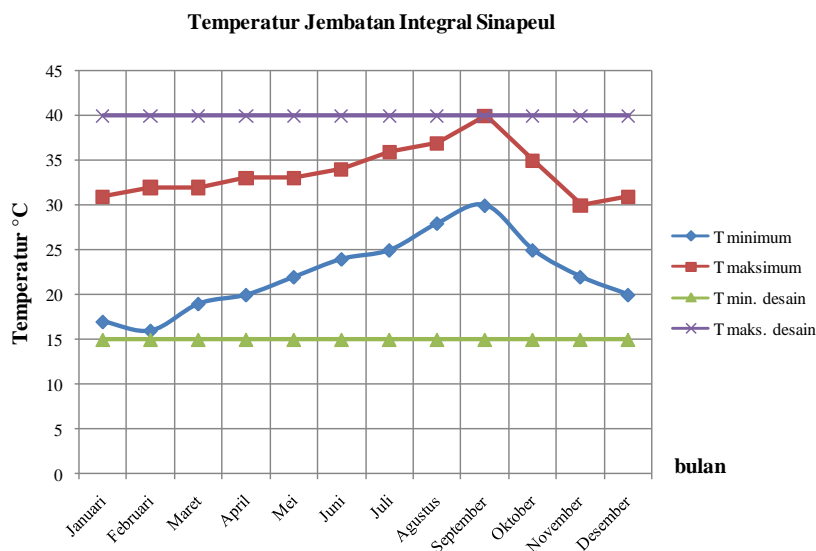
No	Bulan	T <sub>min</sub>	T <sub>maks</sub>	T <sub>rata-rata</sub>	T <sub>min desain</sub>	T <sub>maks desain</sub>
1	Januari	17	31	24.00	15	40
2	Februari	16	32	24.00	15	40
3	Maret	19	32	25.50	15	40
4	April	20	33	26.50	15	40
5	Mei	22	33	27.50	15	40
6	Juni	24	34	29.00	15	40
7	Juli	25	36	30.50	15	40
8	Agustus	28	37	32.50	15	40
9	September	30	40	35.00	15	40
10	Oktober	25	35	30	15	40
11	November	22	30	26	15	40
12	Desember	20	31	25.50	15	40

Berdasarkan Tabel 2, temperatur maksimum dan minimum yang terukur dari jembatan integral Sinapeul berkisar antara (16 – 40)°C, sehingga perubahan temperatur jembatan adalah:

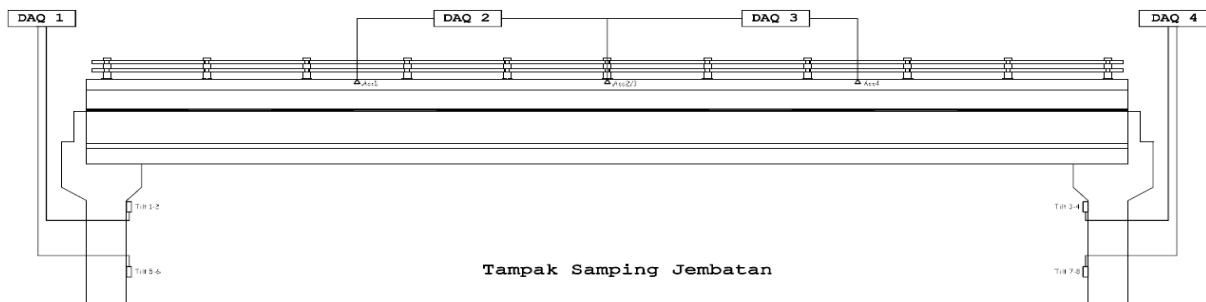
$$\Delta T = \frac{T_{maks} - T_{min}}{2} = \frac{\{40 - 16\}^{\circ}C}{2} = 12^{\circ}C \quad \dots(3)$$

Bentuk diagram temperatur rata-rata bulanan jembatan integral Sinapeul dari Tabel 2 ditunjukkan dalam Gambar 7.

Dari Gambar 7, berdasarkan RSNI 3 2014 (Indonesia 2014) (Pembebanan untuk Jembatan), temperatur jembatan rata-rata maksimum dan minimum untuk desain berkisar antara (15 – 40)°C. Regangan gelagar dan kepala jembatan diukur dengan menggunakan *strain gauge*. Dari *strain gauge* dapat diketahui berapa regangan yang terjadi pada jembatan integral tersebut. Sebanyak 100 data regangan diambil dari alat monitoring sistem dalam selang waktu (9 – 7308) detik. CH – 10, CH – 11, CH – 12, dan CH – 13 adalah *strain gauge* yang terpasang pada kepala jembatan dengan lokasi pemasangan ditunjukkan dalam Gambar 8.

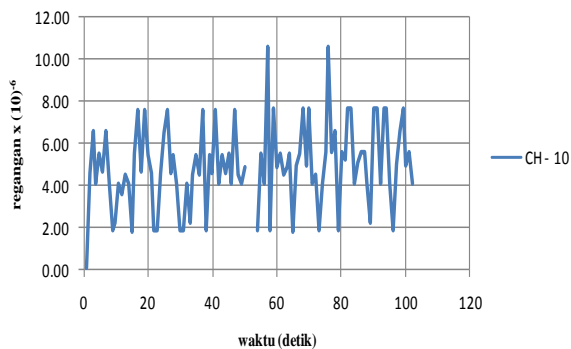


**Gambar 7.** Temperatur rata-rata bulanan jembatan integral Sinapeul (Setiati, N. R. 2014)



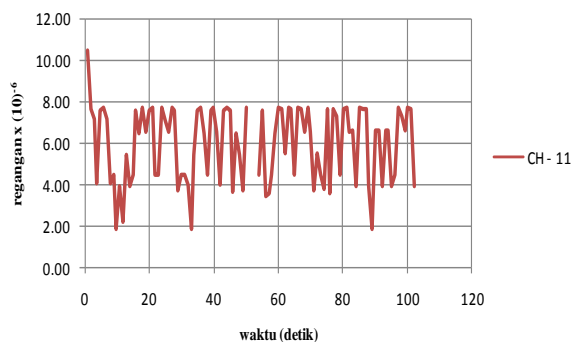
**Gambar 8.** Lokasi pemasangan *strain gauge* pada kepala jembatan (Sukmara, G. 2012)

*Strain gauge* CH – 10 dan CH – 11 dipasang pada pangkal kepala jembatan arah menuju Subang, sedangkan CH – 12 dan CH – 13 dipasang pada kepala jembatan arah menuju kota Sumedang. Diagram hubungan regangan akibat beban yang bekerja terhadap waktu untuk masing-masing titik pengukuran (CH – 10 sampai dengan CH – 13) ditunjukkan dalam Gambar 9 sampai dengan Gambar 12.



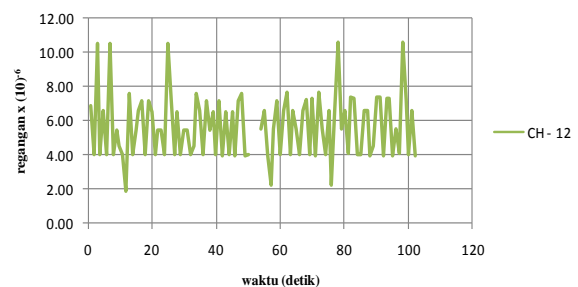
**Gambar 9.** Diagram hubungan terhadap waktu pada kepala jembatan integral di lokasi CH - 10

Berdasarkan Gambar 9, regangan maksimum sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  terjadi secara berulang pada 3686 detik dan 5143 detik. Untuk diagram regangan pada titik pengukuran CH – 11 ditunjukkan dalam Gambar 10.



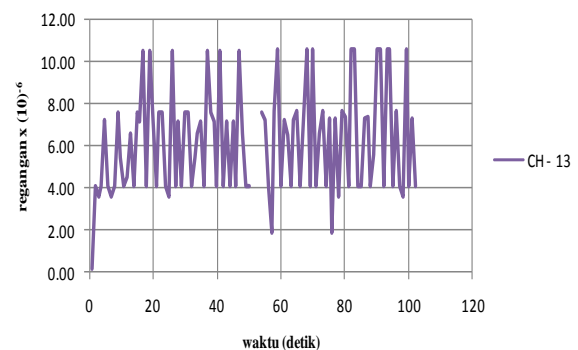
**Gambar 10.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada kepala jembatan integral di lokasi CH 11

Dari Gambar 10, regangan maksimum sebesar  $10,49 \times 10^{-6}$  terjadi dalam waktu 9 detik. Bentuk diagram regangan pada lokasi CH – 12 ditunjukkan dalam Gambar 11.



**Gambar 11.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada kepala jembatan integral di lokasi CH - 12

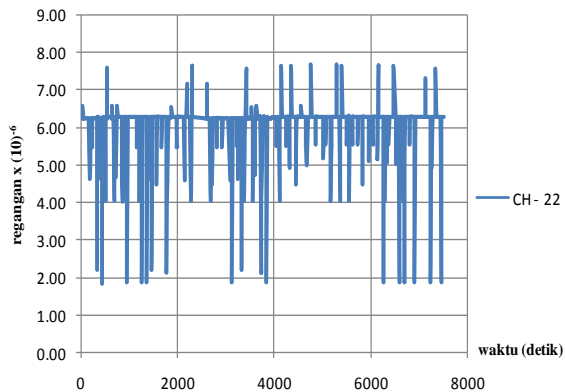
Berdasarkan Gambar 11, besarnya regangan maksimum sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  terjadi secara berulang pada 83 detik, 289 detik, 1526 detik, 5360 detik, dan 6984 detik. Sedangkan pada titik pengukuran CH – 13 regangan maksimum sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  terjadi sebanyak 17 kali sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 12.



**Gambar 12.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada kepala jembatan integral di lokasi CH 13

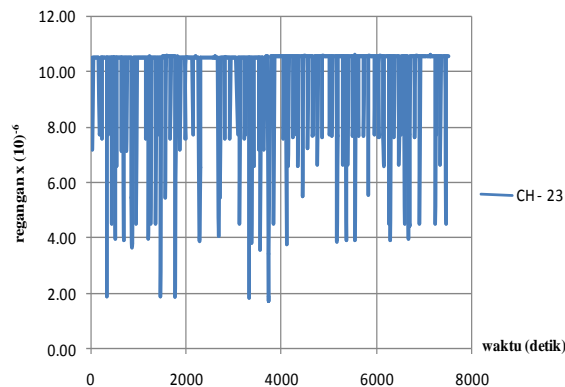
Hasil pengukuran regangan pada gelagar jembatan dapat dilihat dalam Lampiran B.

Titik lokasi pengukuran regangan pada gelagar adalah CH – 22, CH – 23, CH – 24, dan CH – 25. Nilai regangan yang terukur dari masing-masing lokasi tersebut ditunjukkan dalam Gambar 13 sampai dengan Gambar 16. Nilai regangan sejumlah 500 data terekam dalam sistem monitoring. Data-data tersebut tersimpan dalam Data Senter Pusjatan.



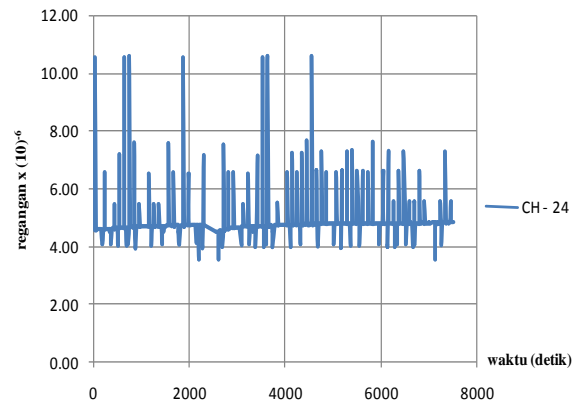
**Gambar 13.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 22

Dari Gambar 13, besarnya regangan maksimum sebesar  $7,69 \times 10^{-6}$  terjadi secara berulang pada 4750 detik, 5292 detik.



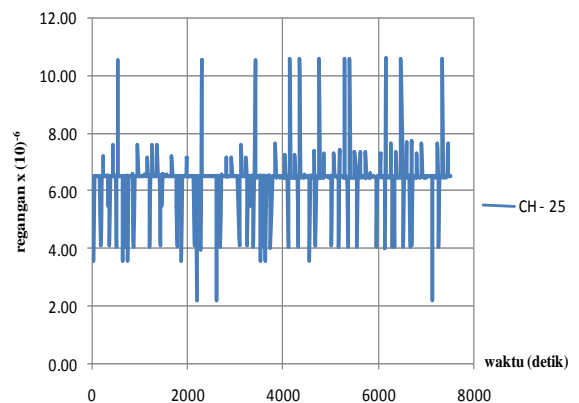
**Gambar 14.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 23

Pada Gambar 14, frekuensi terjadinya regangan maksimum pada lokasi CH - 23 sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  lebih sering terjadi dibandingkan pada lokasi lainnya.



**Gambar 15.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 24

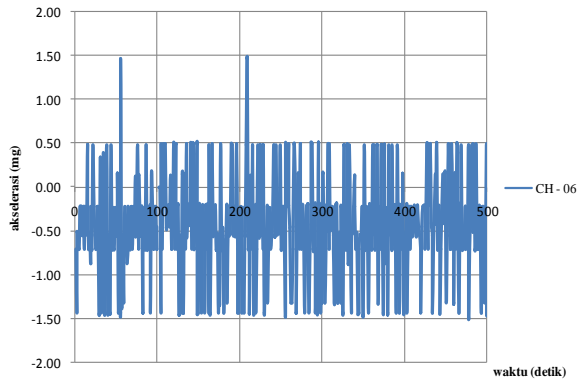
Untuk Gambar 15, regangan maksimum pada lokasi CH - 24 sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  terjadi pada 741 detik dan pada lokasi CH – 25 terjadi sebanyak 8 kali dari 500 data yang terkumpul (Gambar 16).



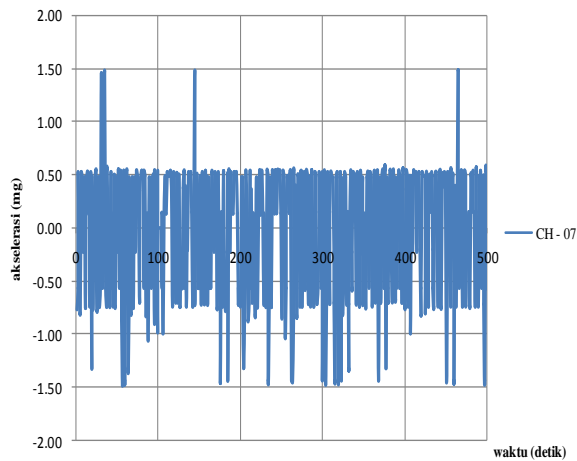
**Gambar 16.** Diagram hubungan regangan terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH– 25

Bentuk diagram dari frekuensi jembatan akibat beban dinamik untuk masing-masing titik pengukuran CH – 06, CH – 07, CH – 08, CH - 09 ditunjukkan dalam Gambar 17 sampai dengan Gambar 20.

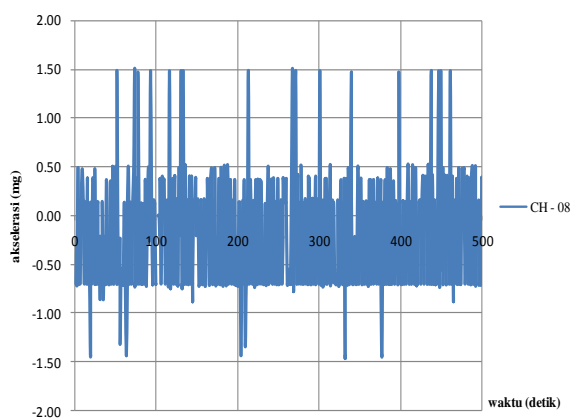




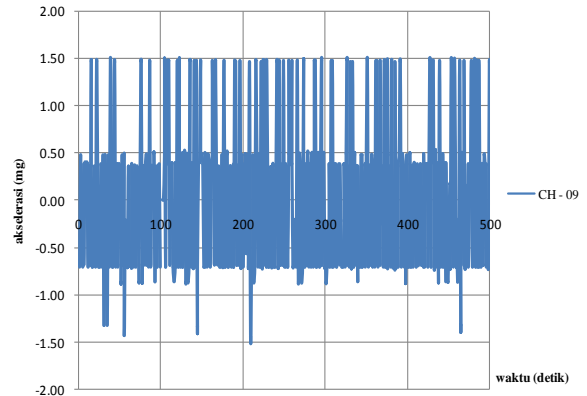
**Gambar 17.** Diagram hubungan akselerasi (percepatan) terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 06



**Gambar 18.** Diagram hubungan akselerasi (percepatan) terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 07



**Gambar 19.** Diagram hubungan akselerasi (percepatan) terhadap waktu pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 08



**Gambar 20.** Diagram hubungan akselerasi (percepatan) terhadap pada gelagar jembatan integral di lokasi CH – 09

Berdasarkan Gambar 17, pada titik pengukuran CH – 06 akselerasi maksimum terjadi pada 1,46 mg, sedangkan untuk CH – 07 sampai dengan CH – 09 akselerasinya adalah 1,48 mg.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 1, perubahan temperatur jembatan untuk kondisi Indonesia, khususnya Jawa Barat tidak se-ekstrim di luar negeri (di Indonesia sekitar 12°C). Dalam desain, perubahan temperatur jembatan berdasarkan RSNI 3 2014 (Indonesia 2014) (Pembebanan untuk Jembatan), dibatasi antara (15 – 40)°C, sehingga diperoleh faktor keamanan dalam desain sebesar 2. Untuk kondisi di luar negeri (sebagai studi kasus negara USA), perubahan temperatur jembatan sekitar 20°C, sehingga dalam desain yang mengacu pada Spesifikasi AASHTO LRFD *Bridge Design* (2010), perubahan temperatur berkisar antara 46°C dan (-1)°C. Dari persamaan (1), pergerakan jembatan berbanding lurus dengan perubahan temperatur dan panjang bentang. Jika ditentukan nilai koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) untuk beton sebesar  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , maka regangan jembatan integral Sinapeul sebesar 2,88 mm dan di luar negeri sebesar 4,80 mm (regangan jembatan lebih besar 60% dibandingkan dengan di Indonesia). Selain pengaruh temperatur, faktor beban vertikal

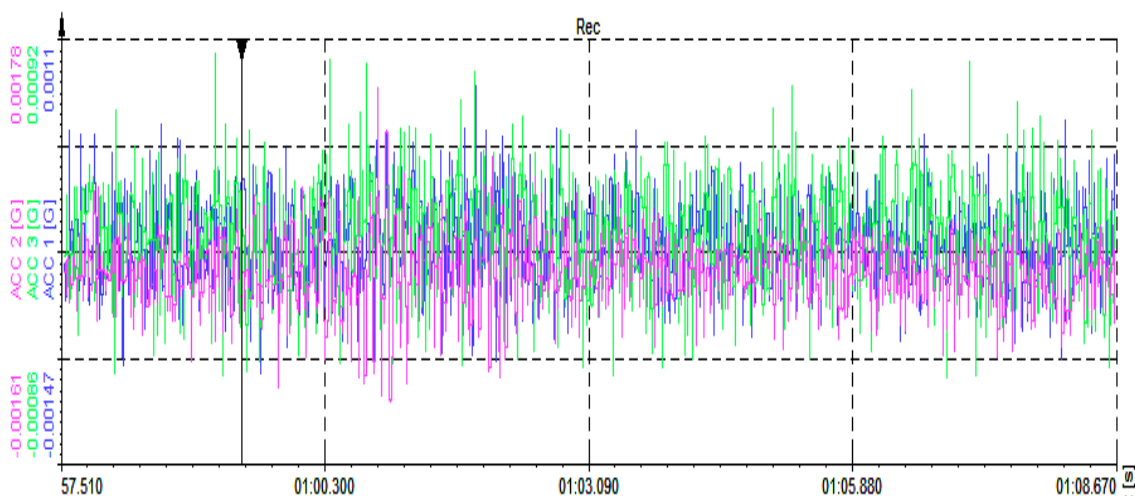
seperti kendaraan juga berpengaruh pada perilaku jembatan, meskipun tidak dominan karena dari beberapa hasil penelitian, jembatan integral lebih dominan dipengaruhi gaya-gaya horisontal seperti tekanan tanah lateral, gempa, dan perubahan temperatur.

Gambar 9 dan Gambar 10 adalah diagram hubungan regangan terhadap waktu yang terukur dari *strain gauge* di lokasi ujung kepala jembatan menyatu dengan fondasi. Berdasarkan Gambar 9, besarnya regangan diukur dalam selang waktu (7 – 7308) detik dengan 100 data regangan yang terkumpul. Selama selang waktu pengukuran tersebut, regangan maksimum sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  terjadi dalam 2 kali. Regangan rata-rata adalah sebesar  $4,96 \times 10^{-6}$ . Pada Gambar 10, regangan rata-rata adalah  $6,02 \times 10^{-6}$ . Regangan maksimum sebesar  $10,49 \times 10^{-6}$  tidak terjadi dalam waktu yang bersamaan dengan pengukuran di lokasi CH – 10.

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan hasil pengukuran regangan pada pangkal kepala jembatan berdekatan dengan gelagar jembatan. Regangan maksimum yang diperoleh dari hasil monitoring selama dua tahun adalah sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  yang terjadi pada dua titik lokasi pengukuran tersebut (CH – 12 dan CH – 13). Regangan rata-rata untuk CH – 12 dan CH – 13 masing-masing sebesar  $5,72 \times 10^{-6}$  dan  $6,27 \times 10^{-6}$ . Selama masa layan jembatan integral tersebut, besarnya regangan yang terjadi diharapkan tidak melebihi besarnya regangan yang dihitung pada saat desain.

Pada elemen struktur gelagar, perilaku regangannya tidak berbeda dengan kepala jembatan, hal ini dikarenakan antara elemen struktur gelagar dengan kepala jembatan dirancang sebagai satu kesatuan. Dari gambar diagram hubungan regangan vs waktu (Gambar 13 sampai dengan Gambar 16), pengukuran pada masing-masing lokasi (CH - CH – 22, CH – 23, CH – 24, dan CH – 25) dilakukan dalam selang (0 – 7512) detik. *Strain gauge* dipasang pada gelagar tepi dan tengah jembatan. Regangan maksimum yang terjadi adalah  $10,59 \times 10^{-6}$ . Regangan rata-rata untuk CH – 22, CH – 23, CH – 24, dan CH – 25 berturut-turut adalah  $6,00 \times 10^{-6}$ ;  $9,69 \times 10^{-6}$ ;  $4,93 \times 10^{-6}$ ; dan  $6,42 \times 10^{-6}$ .

Untuk mengetahui getaran dinamis akibat beban, dilakukan pengukuran akselerasi beban dengan menggunakan alat akselerometer. Pemasangan akselerometer ditempatkan pada lantai jembatan. Data percepatan yang terekam sebanyak 500 data dengan percepatan maksimum yang terjadi sebesar 1,48 mg. Percepatan akselerasi daripada jembatan tergantung pada frekuensi kendaraan yang melewati jembatan tersebut. Makin banyak kendaraan, maka percepatan akselerasi akan semakin besar. Hasil pengukuran percepatan akselerasi dari sistem monitoring tidak menunjukkan adanya beban kendaraan berat yang melewati jembatan integral Sinapeul. Kondisi ini akan berbeda pada saat kita lakukan uji beban, dimana frekuensi hasil pengukuran beban dinamis sangat besar (Gambar 21).

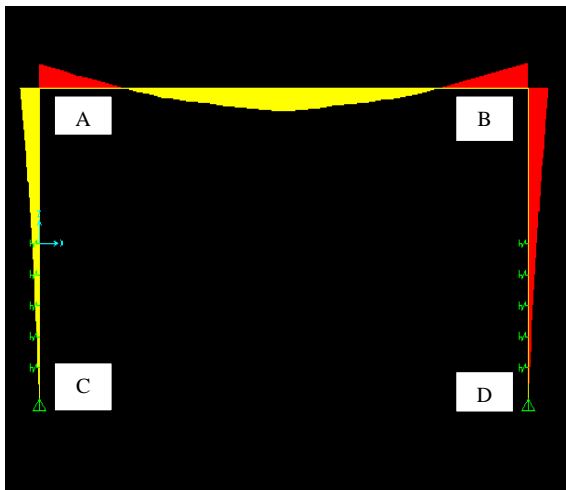


**Gambar 21.** Diagram frekuensi uji beban dinamis (Surviyanto, A. 2012)

Berdasarkan Gambar 21, hasil pengukuran frekuensi yang dilakukan pada saat uji beban adalah sebesar 9,86 Hz.

Perhitungan analisis dilakukan dengan menggunakan metode rangka batang (*frame element*) dan cangkang (*shell element*), dengan asumsi struktur jembatan integral dimodelkan sebagai portal dengan ujung fondasi dimodelkan sebagai sendi (Gambar 22). Perhitungan beban mengacu pada RSNI 3:2014 tentang Pembebanan untuk Jembatan (Indonesia 2014). Secara teoritis, dari Tabel 1 besarnya gaya yang bekerja pada hubungan gelagar dan kepala jembatan berdasarkan analisis program SAP (Gambar 22) adalah sebagai berikut:

1. Reaksi vertikal ( $R_{V_C}=R_{V_D}$ ) = 626,791 kN
2. Reaksi horizontal ( $R_{H_C}=R_{H_D}$ ) = 658,927 kN
3. M tumpuan ( $M_A=M_B$ ) = 2201,250 kNm
4. M lapangan = 1995,067 kNm



**Gambar 22.** Diagram momen lentur berdasarkan output program analisis struktur (SAP)

Penampang beton bertulang dengan dimensi (500 x 1000) mm dan penulangan 9 buah dengan diameter 32 mm, 4 buah tulangan diameter 13 mm diperhitungkan berdasarkan penampang retak dengan regangan tarik beton  $150 \times 10^{-6}$  ( $\sim 3$  MPa) sebagai batas terjadinya retak. Hasil monitoring menunjukkan regangan tarik maksimum pada kepala jembatan sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  ( $\sim 0,25$  MPa) yang berada dibawah batas regangan penampang retak, artinya bahwa struktur masih dalam kondisi utuh.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan data yang terekam dari sistem monitoring, regangan maksimum dari kepala jembatan dan gelagar sebesar  $10,59 \times 10^{-6}$  dengan tegangan tekan/tarik 0,25 MPa (lebih kecil  $150 \times 10^{-6}$  dan tegangan 3 MPa sebagai batas terjadinya retak), sehingga jembatan integral Sinapeul masih dalam kondisi utuh.

### Saran

Untuk mengetahui pengaruh dari kondisi tekanan tanah, lingkungan, gempa dan pengaruh beban lainnya, maka diperlukan sistem monitoring yang terintegrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 2010. *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. 4<sup>th</sup> Ed. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Black, W.; and Emerson, M. 1976. *Bridge temperatures derived from the measurement of movements*. TRL Report 748 Crowthorn : TRRL.
- Emerson, M. 1977. *Thermal movements of concrete bridges field measurements*. Crowthorne: England: Transport and Road Research Laboratory.
- Greimann, *et al.* 1991. "Validation of design recommendations for integral-abutment piles. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 117 (7): 2117-2134.
- Indonesia. Kementerian PU. 2014. *Pembebanan untuk Jembatan*. RSNI 3: 2014. Jakarta: Kementerian PU.
- Michael V. Gangone, *et al.* 2006. *Performance Monitoring of a Short-Span Integral-Abutment Bridge Using Wireless Sensor Technology*, Ph.D. Dissertation. University of California.
- Rodriguez Leo E. 2012. *Temperature Effects on Integral Abutment Bridges for The Long-Term Bridge Performance Program*. A Thesis of Master degree, Utah State University.
- Setiati, N. R. 2009. *Perancangan Umum Jembatan Integral*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- \_\_\_\_\_. 2012. *Uji Coba Skala Penuh Prototipe Jembatan Integral Gelagar Beton Bertulang*". Laporan Penelitian Puslitbang Jalan dan Jembatan. Bandung: Pusjatan.

- \_\_\_\_\_. 2013 “Efek Perubahan Temperatur Terhadap Gerakan Muai Susut Jembatan Integral”, *Prosiding Kolokium Jalan dan Jembatan*, Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- \_\_\_\_\_. 2014 *Monitoring dan Pemeliharaan Jembatan Integral*, Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Sukmara, G. 2012. *Aplikasi Sistem Monitoring Pada Uji Coba Skala Penuh Prototipe Jembatan Integral Gelagar Beton Bertulang*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Surviyanto, A. 2012. *Laporan Uji Pembebanan Statis dan Dinamis Jembatan Integral Sinapeul Kabupaten Sumedang*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.