

Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana yang Diretrofit dengan *Link Slab* Ditinjau dari Wilayah Zona Gempa

Mohamad Bagus Ansori, Hidajat Sugihardjo, dan Ananta Sigit Sidharta
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: hidayat@ce.its.ac.id

Abstrak—Umumnya struktur jembatan komposit di Indonesia menggunakan *expansion joint*. Dengan sistem tersebut, timbul gap antar lantai kendaraan dan antara lantai kendaraan dan pangkal jembatan, yang bisa menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengendara. Untuk mengatasi masalah tersebut gap antar lantai kendaraan jembatan komposit dihubungkan dengan *link slab*. Penelitian ini membahas penggunaan *link slab* bentang 25 m pada 6 wilayah gempa. Hasil permodelan dengan program bantu untuk analisa struktur menunjukkan bahwa penggunaan *link slab* sangat mengurangi displesemen jembatan arah longitudinal. Tegangan tarik yang terjadi pada penulangan *link slab*, yang sebelumnya sudah didisain dengan beban-beban nonseismik, masih sangat aman terhadap beban gempa rencana (maksimum 15,21% tegangan leleh) dan retak yang terjadi pada *link slab* masih di bawah yang disyaratkan. Kekakuan tanah pada oprit berkontribusi cukup signifikan terhadap respon struktur jembatan. Hal yang perlu mendapat perhatian pada *retrofitting* jembatan dengan menggunakan *link slab* adalah timbulnya gaya tambahan horisontal sampai 59,81% pada abutmen, meskipun di lain sisi ada pengurangan gaya pada pilar sebesar 61,32%.

Kata Kunci— *expansion joint*, *link slab*, jembatan komposit, *retrofitting*, seismik.

I. PENDAHULUAN

SEBAGIAN besar struktur jembatan yang ada di Indonesia, terutama pada jalan-jalan provinsi, menggunakan material beton, beton pratekan atau komposit baja dan beton. Selain itu sistem strukturnya juga merupakan sistem struktur sederhana diatas dua perletakan atau sederhana bentang banyak yang dihubungkan dengan *expansion joint*.

Permasalahan yang muncul pada jembatan yang mempunyai lebih dari satu bentang yang menggunakan *expansion joint* adalah seiring berjalannya waktu maka *expansion joint* tersebut akan mengalami kelelahan dan penurunan kekuatan yang berakhir dengan terjadinya retak. Pada saat terjadi retak maka akan terbentuk celah kecil yang akan mengakibatkan air hujan masuk kedalam celah tersebut. Hal ini akan mengakibatkan korosi pada balok jembatan [1]. Akibat dari semua ini akan memberikan ketidaknyamanan bagi para pengguna jalan dan dapat mengakibatkan kegagalan struktur bila dibiarkan terjadi korosi secara terus menerus. Untuk menyelesaikan masalah tersebut maka penggunaan *link slab* dapat menjadi suatu alternatif penyelesaian masalah yang timbul sebagai akibat adanya kerusakan pada *expansion joint*.

Studi penggunaan *link slab* akibat pembebanan nonseismik telah banyak dilakukan. [2] melakukan penelitian akibat beban statik dengan cara eksperimental pada balok baja dan beton bertulang. Studi analitik, desain dan *retrofitting link slab* pada jembatan pratekan untuk bentang yang bervariasi dan dengan pembebanan statik sesuai standar [3] juga telah dilakukan [4].

Qian (2009) telah melakukan eksperimental dan desain *link slab* pada jembatan komposit dengan memperhitungkan daerah paling lemah pada *interface* antara *link slab* dan lantai kendaraan [1]. Rekomendasi penambahan penghubung geser (*shear connector*) pada daerah transisi antara zona nirlekat (*debonding zone*) dan pelat lantai kendaraan telah meningkatkan kinerja jembatan komposit sederhana bentang-banyak nirsambungan (*jointless*). Hasil studi ini telah diaplikasikan pada disain dan metode penyambungan jembatan komposit sederhana dengan memperhitungkan variasi bentang antara 12 sampai 30 meter menurut Standar [5], [6] dan [7].

Fungsi *link slab* adalah sebagai elemen tarik dan tekan. Metode *retrofitting* tanpa memperhitungkan kemampuan tekan dapat menyebabkan kerusakan pada ujung balok akibat gempa kuat. Studi analitik dan disain *retrofitting* pada jembatan balok pratekan sederhana dengan bentang-banyak dengan meninjau kinerja seismik telah dilakukan [2]. Dalam studi ini *retrofitting* dilakukan, dimana ujung balok jembatan tidak monolit (tidak terintegrasi dengan abutmen) atau yang biasa dikenal sebagai *semi integral bridge*.

Penggunaan *link slab* sebagai metode *retrofitting* pada jembatan komposit dengan bentang-banyak nirsambungan akan diteliti dalam tugas akhir ini. Penelitian kinerja seismik yang akan dilakukan berdasar metode yang telah dilakukan dengan meninjau kinerja struktur pada berbagai wilayah zona gempa dengan memperhatikan nilai nilai faktor respons gempa rencana pada RSNI-02 2005 dan merupakan pengembangan dari analisis nonseismik dari studi terdahulu [6] - [7].

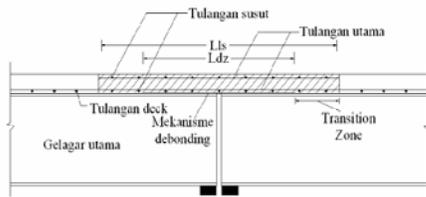
II. METODE PENELITIAN

Metoda penelitian mengadopsi studi yang telah dilakukan oleh [8], [2], dan [9] dengan mengacu pada peraturan [3]. Modifikasi utama dilakukan pada pemodelan abutmen akibat adanya pengaruh tanah oprit [8]. Hasil analisis dan desain *link slab* untuk pembebanan nonseismik diambil dari studi terdahulu, [6], [7]. Analisis seismik dilakukan pada wilayah gempa rencana, yaitu wilayah Gempa 1-6 (RSNI T 02 - 2005)

pada kondisi tanah lunak. Metoda analisis seismik mengadopsi studi yang dilakukan [9], menggunakan 3 metoda, yaitu Metoda Statik Ekuivalen, Respon Spektrum dan *Time History Analysis (THA)*. Beban gempa yang digunakan dalam studi ini adalah 5 riwayat gempa dengan kandungan frekuensi yang berbeda.

A. Hasil Desain Nonseismik Terdahulu

Dari analisis nonseismik terdahulu diperoleh detail dan penulangan *link slab* seperti pada Gambar 1, [6], [7]. Untuk bentang jembatan 25 meter diperoleh tebal *link slab* 195 mm, panjang *debonding zone* (untuk mekanisme debonding) 1750 mm, panjang zona transisi 625 mm dan dengan lebar jembatan 9 meter. Tulangan utama (*longitudinal*) yang digunakan D22-100 mm, dari baja dengan $f_y=390$ MPa dan beton $f'_c = 35$ MPa.



Gambar 1. Detail penulangan *link slab* dengan zona *debonding* dan -transisi pada pilar

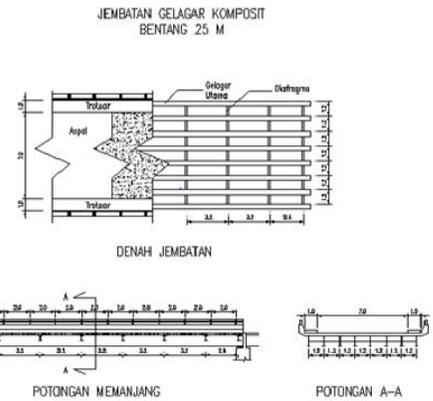
B. Perencanaan Struktur Jembatan

Model jembatan layang yang diteliti mempunyai bentang 4x25 m pada 6 wilayah gempa [10]. Panjang ini masih lebih kecil dari panjang jembatan baja integral yang bisa mencapai panjang 160 m [11]. Denah dan potongan jembatan seperti terlihat pada Gambar 2, [5]. Perencanaan struktur atas jembatan mengambil dari studi terdahulu [6] , [7] dan peraturan [3] .

Balok jembatan dari profil WF buatan ukuran 900x400x24x38 mm, lantai kendaraan dari beton bertulang, dengan tebal 200 mm, sedang ukuran link slab 1.7x9x0.195 m. Lantai kendaraan dipisah oleh expansion joint selebar 50 mm.

Penampang abutmen sebesar 1 x 11 m, pilar terdiri dari 2 kolom bulat dengan diameter 1.7 m (zona 1 dan 2), diameter 1,5 m(zona 3,4,5) dan diameter 1,3 m (zona 6). Tinggi teoritis pilar dan abutmen sama yaitu 7 meter (dihitung dari permukaan pile cap ke titik berat balok pilar) terjepit didalam tanah sedalam 1 meter. Ukuran balok pilar 1.3x1.3 meter dengan bentang 8.4 meter as-as kolom.

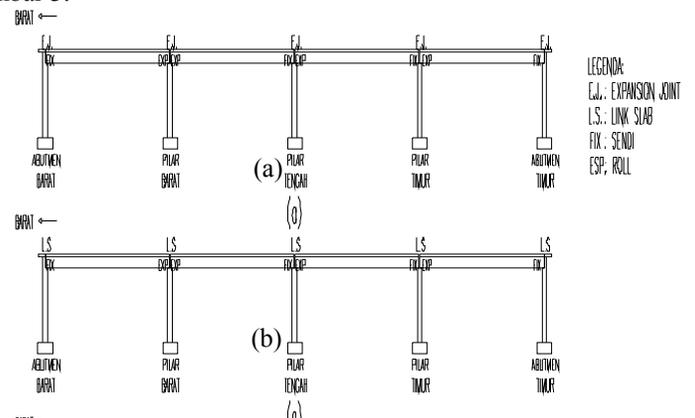
Perletakan yang digunakan adalah bantalan elastomer (elastomeric bearing pads) tipe tetap (fix) dan geser (expansion) ukuran 300x200x26 mm, dengan tinggi elastomer diantara pelat baja 14 mm, tebal pelat baja dan pembungkus masing-masing 6 mm dengan kekerasan 600 [12].



Gambar 2. Denah dan potongan jembatan, Direktorat (1993).

C. Desain Retrofitting

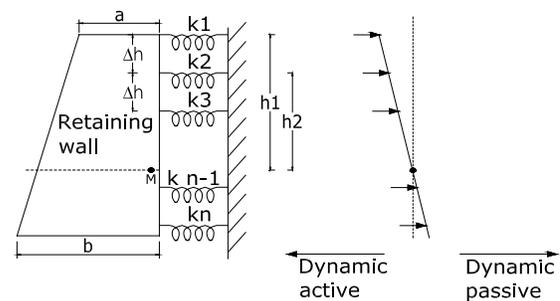
Retrofitting dilakukan dengan mengganti semua expansion joint dengan link slab. Dengan konfigurasi perletakan yang tetap atau sama dengan struktur asli. Seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Potongan memanjang jembatan layang: (a) Struktur Asli; (b) Struktur Retrofitting

D. Permodelan Tanah Oprit

Tanah oprit dimodelkan sebagai pegas yang dipasang dengan interval $\Delta_h = 1$ meter sepanjang abutmen. Perilaku pegas dimodelkan sebagai pegas aktif dan pegas pasif. Dimana setiap jenis pegas memiliki nilai kekakuan yang berbeda. Konfigurasi pemodelan tanah oprit terlihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi pemodelan tanah oprit

Untuk menghitung nilai kekakuan pegas translasi aktif atau pasif digunakan persamaan (1) sampai (5).

$$k_1 = \frac{1}{6} \eta_h (\Delta h)^2 \tag{1}$$

$$k_2 = \eta_h (\Delta h)^2 \tag{2}$$

$$k_3 = 2\eta_h (\Delta h)^2 \tag{3}$$

$$k_i = (i - 1)\eta_h (\Delta h)^2 \tag{4}$$

$$k_n = \frac{1}{6} (3n - 4)\eta_h (\Delta h)^2 \tag{5}$$

Dimana k_1 adalah kekakuan pegas paling atas, dan k_n adalah kekakuan pegas paling bawah, n adalah jumlah banyak pegas yang akan dipasang dan Δh interval tinggi pegas. η_h adalah modulus reaksi tanah dasar yang didapat dari Tabel 1 berdasarkan jenis tanah dan sifatnya. Tetapi untuk studi ini hanya menggunakan tipe tanah jenis *loose*.

Tabel 1.
Interval nilai modulus reaksi tanah dasar η_h (Saran dkk., 1985)

Soil	η_h (KN/m ³)	
	Active	Passive
Loose sand	200-300	400-600
Medium dense sand	400-600	800-1200
Dense sand	800-1200	1600-2400

E. Langkah-langkah Retrofitting

Metode *Retrofitting* akibat beban dinamik mengadopsi cara yang dilakukan oleh [2] dan [9]. Langkah pertama menghitung retak yang terjadi pada *link slab* dengan persamaan (6). Kemudian menghitung displesmen perletakan pada sistim jembatan sederhana dengan persamaan (7), dimana besarnya tidak boleh lebih besar dari displesmen ijin persamaan (8), jika tidak dikehendaki *Retrofitting*. Cara sederhana untuk menghitung beban gempa statik pada *link slab* dapat digunakan persamaan (9), dimana Metode Simpilkasi ini akan dibandingkan dengan Metode Respon Spektrum dan Analisis Riwayat Waktu. Dalam Analisis Riwayat Waktu, nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) gempa diperoleh dengan cara menyamakan intensitas gempa tersebut dengan respon spektrum redaman 5% RSNI (2005) menggunakan persamaan (10). Langkah terakhir mengontrol ulang tegangan-tegangan pada setiap unsur struktur jembatan seperti abutmen, pilar dan balok jembatan akibat adanya redistribusi gaya yang disebabkan oleh adanya *link slab*.

$$\omega = 0.000011\beta f_{ls}^3 \sqrt{d_c A} \tag{6}$$

dimana: β = perbandingan jarak antara serat tarik terluar ke garis netral terhadap jarak antara titik berat tulangan pokok dan garis netral; f_{ls} = tegangan tulangan *link slab*, dibatasi $0.4f_y$ (MPa) ; d_c = tebal penutup beton dihitung dari serat tarik terluar titik berat tulangan terdekat (mm); dan A = luas efektif tulangan (mm²)

$$\delta_{perletakan} = \frac{T_{EQ}^*}{k_{eff}} = \frac{CISW_T}{k_{eff}} \tag{7}$$

dimana: T_{EQ}^* = beban gempa rencana minimum, RSNI bagian 7.7.1; C = koefisien geser dasar untuk zona gempa, perioda dan kondisi tanah tertentu; I = faktor kepentingan; S = faktor tipe bangunan W_T = berat satu bentang jembatan; dan k_{eff} = kekakuan efektif, dimana diasumsikan sebagai setengah kekakuan lateral bangunan bawah pada sistim di atas 2 perletakan.

$$\delta_{ijin} = \frac{\tau A_b}{k_{perletakan}} \tag{8}$$

dimana: τ = tegangan geser yang terjadi, dimana besarnya 20% dari tegangan normal (σ) pada perletakan akibat beban mati pada regangan geser elastomer 70%, Iverson dan Pfeifer (1986); A_b = luas permukaan perletakan elastomer; dan $k_{perletakan} = GA_b/h$ = kekakuan geser perletakan elastomer; dimana G = modulus geser perletakan; h = tinggi bantalan elastomer diantara pelat baja.

$$T_{LS}^* = CISW_{T(1+2)} \tag{9}$$

dimana: $W_{T(1+2)}$ = berat dari 2 bentang yang berdekatan di setiap sisi *link slab*

$$I = \int S_v dT \tag{10}$$

dimana: S_v = percepatan spektra; dT = diferensiasi perioda

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Desain dan Analisa Nonseismik

Dari perencanaan struktur jembatan [3] didapatkan berat satu bentang jembatan, yang terdiri dari berat balok, diafragma, lantai kendaraan, aspal, trotoar dan pagar sebesar 3563.5 kN.

Dengan tulangan *link slab* D22-100 mm, maka dari Persamaan (6) untuk $\beta=2$ (asumsi), tegangan tulangan pada *link slab* $40\%f_y=156$ MPa, tebal selimut beton $d_c=50$ mm dan $A=10000$ mm² (asumsi tinggi luas efektif sebesar 2 kali selimut beton), didapat lebar retak $\omega=0.272$ mm lebih kecil dari lebar retak ijin $=0.33$ mm. Retak selebar 82.5% dari retak ijin ini dapat diatasi dengan penggunaan beton *Engineered Cementious Composite* (ECC) yang mempunyai kekuatan tarik 350 kali beton normal [13].

Dengan asumsi struktur bangunan bawah terjepit penuh didapat kekakuan lateral kolom pilar didapat 106591 kN/m dan abutmen 238323 kN/m, sehingga kekakuan efektif untuk satu sistim jembatan sederhana $k_{eff}=172457$ kN/m (rata-rata dari kekakuan abutmen ditambah kekakuan kolom). Jembatan direncanakan dibangun pada Daerah Gempa-2 dan di atas tanah lunak. Sehingga didapat koefisien geser dasar 0.21, RSNI (2005). Dengan asumsi jembatan untuk jalan raya utama dan struktur jembatan masih dalam keadaan elastis jika terjadi gempa (tidak ada plastifikasi), sehingga didapat faktor keutamaan 1.2 dan faktor tipe bangunan 3. Sesuai Persamaan (7) didapatkan displesemen longitudinal perletakan elastomer tipe geser sebesar $\delta_{perletakan} = 12,9$ mm. Nilai ini bisa jauh

lebih besar jika diasumsikan bangunan bawah dalam kondisi retak.

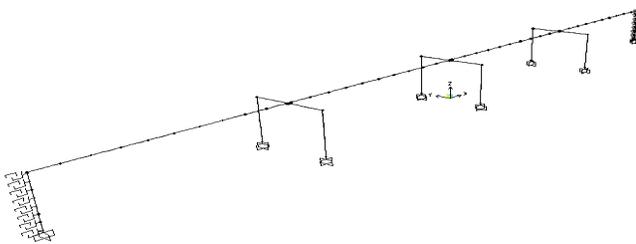
Sesuai dengan desain perletakan di atas, didapat luas permukaan perletakan 60000 mm². Pada persamaan (9) dengan tinggi elastomer diantara pelat baja 14 mm dan modulus geser 0.96 MPa, diperoleh $k_{perletakan} = 4114.3$ kN/m. Dengan jumlah balok 8 untuk satu bentang, besarnya reaksi vertikal tiap perletakan balok didapat 1377 kN. Sehingga tegangan tekan pada perletakan yang terjadi $\sigma = 2869$ MPa. Besarnya tegangan geser yang terjadi diasumsikan 20% σ , didapat $\tau = 0,573$ MPa. Dari Persamaan (8) didapat besarnya kemampuan displesemen longitudinal perletakan sebelum slip $\delta_{ijin} = 8,35$ mm. Kemampuan geser perletakan ini lebih kecil dibandingkan dengan displesemen longitudinal yang terjadi akibat gempa, 12,9 mm. Balok-balok jembatan dapat terlepas dari perletakannya atau bahkan jatuh ke bawah, sehingga perlu dilakukan retrofiting, untuk menyediakan kekakuan lateral yang cukup.

B. Desain dan Analisa Seismik

Dengan Metoda Simplikasi, besarnya gaya gempa statik yang bekerja pada *link slab* pada satu pilar dapat dihitung dengan Persamaan (9). Untuk jembatan dengan CIS=0.756 dan berat satu bentang 2754 kN, didapat $T_{LS}^* = 2280,3$ kN. Dengan luas tulangan 38000 mm²/m, tegangan yang terjadi pada *link slab* dengan anggapan retak terjadi penuh pada ketebalannya, didapat 77.6 MPa. Nilai ini jauh lebih kecil dari tegangan 50% $f_y = 195$ MPa.

Untuk analisis dinamik menggunakan program bantu untuk analisa struktur. Model struktur jembatan mengacu pada studi [2], dimana balok jembatan dimodelkan dengan satu balok pengganti yang mempunyai properti fisik delapan kali balok aslinya, dan dimodelkan sebagai elemen balok 2D. Bangunan bawah dimodelkan 3D. Modifikasi utama pada studi ini dibandingkan dengan studi terdahulu [9], terletak pada pemodelan abutmen yang diberi pegas aktif dan pasif di posisi per 1 meter di sepanjang ketinggian abutmen dengan dengan kekakuan diperoleh dari persamaan 1 sampai 5, seperti pada Tabel 2. Abutmen diasumsikan terjepit pada tiang pancang, sehingga titik gulingnya berada pada jepit tersebut.

Perletakan dimodelkan sebagai balok 2D, dengan beberapa konstrain sesuai fungsinya sebagai perletakan tetap atau bergerak (bergeser), dimana kekakuan gesernya sebesar 4114.3 kN/m untuk tiap perletakan. Model struktur jembatan 3D dengan kekakuan pegas horisontal pada abutmen seperti ditunjukkan Gambar 5.



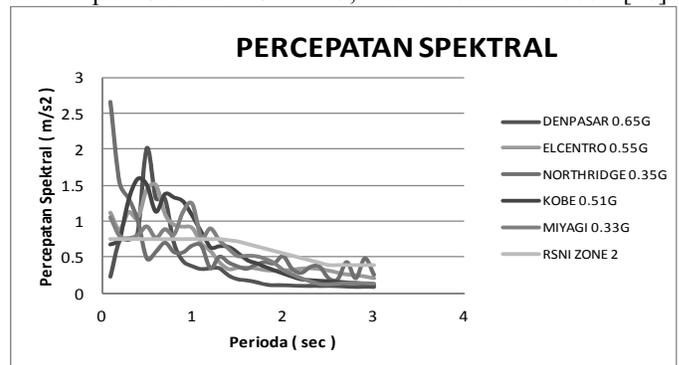
Gambar. 5. Model 3D struktur jembatan layang 4 bentang dengan pegas horisontal

Sementara dari persamaan (1) - (5) diperoleh nilai kekakuan pegas seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai kekakuan pegas

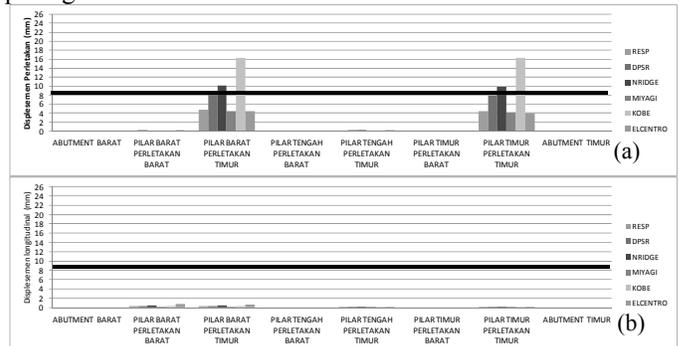
DESAIN-1 (LOOSE)			
AKTIF (kN/m)		PASIF (kN/m)	
K ₁ = 50		K ₁ = 100	
K ₂ = 300	$\Delta K_1 = 175$	K ₂ = 600	$\Delta K_1 = 350$
K ₃ = 600	$\Delta K_2 = 450$	K ₃ = 1200	$\Delta K_2 = 900$
K ₄ = 900	$\Delta K_3 = 750$	K ₄ = 1800	$\Delta K_3 = 1500$
K ₅ = 1200	$\Delta K_4 = 1050$	K ₅ = 2400	$\Delta K_4 = 2100$
K ₆ = 1500	$\Delta K_5 = 1350$	K ₆ = 3000	$\Delta K_5 = 2700$
K ₇ = 1800	$\Delta K_6 = 1650$	K ₇ = 3600	$\Delta K_6 = 3300$
K ₈ = 1000	$\Delta K_7 = 1400$	K ₈ = 2000	$\Delta K_7 = 2800$

Sebagai kontrol Metoda Simplikasi, dilakukan Analisis Respon Spektrum untuk Daerah Gempa-2, RSNI (2005) dan Analisis Riwayat Waktu linier dengan 5 riwayat gempa El Centro-1940 PGA 0.55, Denpasar-1976 PGA 0.65, Miyagi-1978 PGA 0.33, Northridge-1994 PGA 0.35, dan Kobe-1995 PGA 0.51 untuk menghitung tegangan tulangan pada *link slab*. Analisis gempa hanya dilakukan dalam arah longitudinal. Nilai PGA gempa diperoleh dengan cara menyamakan intensitasnya menggunakan Persamaan (10) dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6, untuk Faktor Keutamaan I = 1.2 dan Tipe Struktur S = 3; dan redaman 5% [10].



Gambar 6. Skala lima rekaman gempa terhadap spektra desain RSNI 2005 Zona-2, I = 1.2 dan S = 3; redaman 5%.

Nilai displesemen longitudinal pada perletakan tergambar pada gambar 7.



Gambar. 7. (a) Displesemen perletakan pada struktur asli (b) Struktur retrofiting pada zona gempa 2

Nilai rata-rata dispilesemen untuk 6 riwayat gempa pada zona gempa 1-6 untuk struktur asli dan struktur *retrofitting* dapat dilihat dalam tabel 3 dan 4.

Tabel 3

Rata-rata nilai dispilesemen longitudinal dari 6 riwayat gempa pada struktur asli

Zona Gempa	Diameter Pilar (m)	Dispilesemen Perletakan		δijin (mm)	Ket
		Pilar Barat Perletakan Barat (mm)	Pilar Barat Perletakan Timur (mm)		
		1	1.7		
2	1.7	0.35908	0.34884	8.35	OK
3	1.5	0.30428	0.31228	8.35	OK
4	1.5	0.31994	0.3292	8.35	OK
5	1.5	0.32338	0.3326	8.35	OK
6	1.3	0.18688	0.19258	8.35	OK

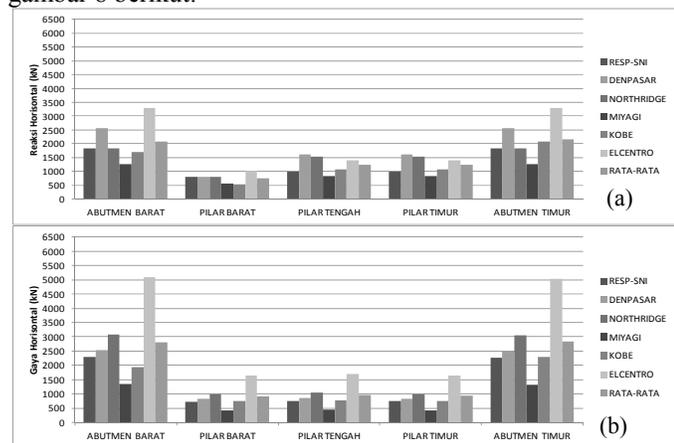
Tabel 4

Rata-rata nilai dispilesemen longitudinal dari 6 riwayat gempa pada struktur *retrofitting*

Zona Gempa	Diameter Pilar (m)	Dispilesemen Perletakan		δijin (mm)	Ket
		Pilar Barat Perletakan Timur (mm)	Pilar Timur Perletakan Timur (mm)		
		1	1.7		
2	1.7	8.69638	8.42544	8.35	NOT OK
3	1.5	17.6663	17.53138	8.35	NOT OK
4	1.5	16.88432	16.66938	8.35	NOT OK
5	1.5	16.78016	16.5665	8.35	NOT OK
6	1.3	15.67718	15.39706	8.35	NOT OK

Dari tabel 3 didapatkan bahwa nilai dispilesemen dari rata-rata 6 riwayat gempa pada struktur asli diperoleh hasil semua perletakan tipe geser melebihi batas slipnya yaitu 8.35 mm, yang mengindikasikan balok jembatan bisa jatuh ke bawah. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa struktur tersebut memerlukan *retrofitting*. Setelah dilakukan *retrofitting* dengan mengganti expansion joint dengan *link slab* didapat perletakan bergeser di bawah batas slipnya.

Hasil dari permodelan pada struktur asli dan struktur *retrofitting*, diperoleh nilai reaksi horisontal seperti pada gambar 8 berikut:



Gambar. 8a. Reaksi horisontal struktur asli pada zona gempa 2

8b. Reaksi horisontal struktur *retrofitting* pada zona gempa 2

Dari hasil permodelan, pada struktur *retrofitting* terjadi penambahan daya horisontal pada abutmen dan pengurangan gaya pada pilar tengah dan pilar timur. Besarnya penambahan dan pengurangan reaksi horisontal seperti pada tabel 6.

Tabel 6.

Penambahan dan pengurangan reaksi horisontal pada abutment dan pilar

Zona Gempa	Abutmen Barat	Pilar Barat	Pilar Tengah	Pilar Timur	Abutmen Timur
1	35.87%	39.16%	-22.62%	-25.49%	34.03%
2	34.49%	22.43%	-22.39%	-25.11%	32.30%
3	34.72%	37.40%	-40.72%	-25.07%	32.35%
4	40.88%	43.33%	-46.70%	-49.07%	35.93%
5	44.45%	46.62%	-45.64%	-48.06%	39.20%
6	59.81%	63.40%	-59.38%	-61.32%	51.31%

(+) = Penambahan gaya horisontal

(-) = Pengurangan gaya horisontal

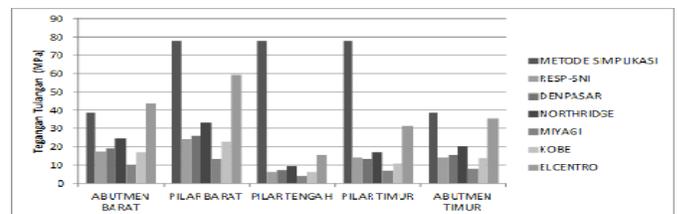
Tabel 4

Nilai partisipasi massa pada struktur *retrofitting*

Ragam	Partisipasi massa					
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
	(nonsatuan)	(nonsatuan)	(nonsatuan)	(nonsatuan)	(nonsatuan)	(nonsatuan)
1	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42
2	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42
3	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42
4	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42
5	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42
6	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42
7	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
8	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
9	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
10	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
11	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
12	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
13	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
14	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
15	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
16	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
17	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
18	0.91	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9
19	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
20	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
21	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
22	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

Nilai partisipasi massa pada tabel 5 sudah mencapai 90% (syarat SNI – 03– 1726 – 2002) dari 22 moda. Artinya respon spectrum sudah bisa digunakan dan dianalisa karena nilai partisipasi massanya sudah mencapai 90%.

Nilai tegangan tulangan maksimum *link slab* terjadi pada zona gempa 1 sesuai gambar 9 yaitu sebesar 59,32 mPa atau 15,21 %fy. Nilai itu masih di bawah nilai maksimum 40%fy (156 mPa) untuk desain nonseismik dan 50%fy (195 mPa) untuk desain seismik.



Gambar. 9. Tegangan tulangan *link slab* pada zona gempa 1

Nilai rekapan tegangan tulangan *link slab* yang terjadi pada 6 zona gempa seperti pada tabel 5 dan 6 berikut ini.

Tabel 5
Nilai tegangan tulangan *link slab* dari perhitungan respon spektrum

Zona Gempa	Respon Spektrum RSNI T 02-2005 (kN)				
	Abutmen Barat	Pilar Barat	Pilar Tengah	Pilar Timur	Abutmen Timur
1	22.7988	30.8497	8.4691	16.0658	18.6683
2	19.5306	25.8343	7.6369	12.5532	15.7949
3	16.7626	22.1775	6.5668	10.7968	13.5622
4	17.0542	25.6167	4.6435	17.8379	14.8751
5	16.9521	25.4633	4.6161	17.7314	14.7861
6	9.5273	15.7687	1.7274	13.4326	8.8687

Tabel 6
Nilai rata-rata tegangan tulangan *link slab* dari perhitungan riwayat waktu

Zona Gempa	Rata-rata 6 Riwayat Gempa (kN)				
	Abutmen Barat	Pilar Barat	Pilar Tengah	Pilar Timur	Abutmen Timur
1	17.2973	24.3287	6.2158	14.2499	14.2959
2	17.0271	23.4051	6.4151	12.9318	13.9145
3	14.5971	20.0703	5.5198	11.1228	11.9372
4	13.1497	20.3143	3.5084	14.8722	11.5886
5	10.5237	16.2660	2.8347	11.9542	9.2862
6	6.5895	11.1288	1.1967	9.6580	6.1733

IV. KESIMPULAN

- Besarnya dispersemen longitudinal pada perletakan pada struktur retrofit kurang dari batas slipnya yaitu 8,35 mm. Tetapi perbedaan ukuran dimensi pilar pada masing-masing zona gempa menyebabkan nilai dispersemenya tidak dalam 1 trend yang sama. Perbedaan trend ini diakibatkan oleh karakter masing-masing gempa yang memiliki respon yang berbeda terhadap tipe struktur tertentu.
- Gaya horisontal tambahan pada abutmen sampai 34,03 % (zona 1) dan 59,81 % (zona 6) yaitu semakin kuat zona gempa, penambahan dan pengurangan gaya horisontal yang terjadi pada abutment dan pilar adalah semakin kecil. Pengurangan gaya horisontal pada pilar antara 22,39% sampai 61,32%
- Penulangan *link slab* disain nonseismik masih aman jika diaplikasikan pada retrofit jembatan terhadap beban seismik yaitu tegangan maksimum sebesar 59,32mPa (15,21 % f_y). Tegangan tarik yang terjadi pada tulangan *link slab* akibat beban mati dan gempa pada 6 zona gempa lebih kecil dari persyaratan akibat beban nonseismik, sebesar 40% f_y , dan beban seismik sebesar 50% f_y .
- Nilai periode pada struktur yang telah diretrofit menjadi lebih kecil daripada struktur aslinya. Hal ini menunjukkan bahwa struktur yang telah diretrofit menjadi lebih kaku. Sedangkan partisipasi massa sudah mencapai 90% (syarat SNI – 03– 1726 – 2002) dari 20 moda. Artinya respon spectrum sudah bisa digunakan dan dianalisa karena nilai partisipasi massanya sudah mencapai 90%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shunzhi Qian, Michael D. Lepech, Yun Yong Kim, dan Victor C. Li, "Introduction of Transition Zone Design for Bridge Deck Link slabs Using Ductile Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol. 106, No. 1 (2009, Jan.) 96-105.
- [2] A. Caner, E. Dogan, dan P. Zia, "Seismic Performance of Multisimple-Span Bridges Retrofitted with Link slab," *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 7, No. 2 (2002) 85-93.
- [3] *Draf Standar Nasional Indonesia T-02-2005*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta (2005).
- [4] H. Sugihardjo dan Supani, "Introduction of Repairing and Joining Methods for Simply-Supported Prestressed Bridges Using Link slab," in *Proc. 1st International on rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE)*, Solo (2009) 66-73.
- [5] M. Dicleli dan S.M. Albhaisi, "Maximum length of integral bridges supported on steel H-piles driven in sand," *Engineering Structures*, Vol. 25, No. 12 (2003, Okt.) 1491-1504.
- [6] F. Irawan, "Studi Penggunaan, Perbaikan dan Metoda Sambungan untuk Jembatan Komposit Menggunakan *Link slab*," Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya (2010).
- [7] H. Sugihardjo, B. Piscesa, dan F. Irawan, "Studi Penggunaan *Link slab* pada Jembatan Komposit," in *Proc. Kolokium Jalan dan Jembatan: Peningkatan Penerapan Teknologi Jalan dan Jembatan untuk Keselamatan dan Kenyamanan Pengguna Jalan ISBN 978-602-8256-16-2*, Bandung (2010).
- [8] S. Saran, R. K. Reddy, M. N. Viladkar, "Prediction of Displacement of Retaining Wall Under dynamic Conditions," *Bull of Indian Soc. Earth Tech.*, Vol. 22, No. 239 (1985).
- [9] H. Sugihardjo dan A. S. Sidharta, "Kinerja dan Perilaku Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana Bentang Banyak Nirsambungan yang Diretrofit *Link Slab*," Penelitian Produktif LPPM-ITS No. 0750.155/12.7/PM/2011, Surabaya (2011)
- [10] M. B. Ansori, "Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana yang Diretrofit dengan *Link Slab* Ditinjau dari Wilayah Zona Gempa," Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya (2012).
- [11] M. Dicleli, P. Eng, dan S.M. Albhaisi, "Maximum length of integral bridges supported on steel H-piles driven in sand," *Engineering Structures* Vol. 25, No. 12 (2003, Okt.) 1491-1504.
- [12] *Elastomeric Bridge Bearing*, Honel Structural Products Ltd., Pinetown (2008)
- [13] Yun Yong Kim, Gregor Fischer, dan Victor C. Li, "Performanced of bridge deck link slabs designed with ductile engineered cementitious composite," *Structural Journal*, V.101, No.6 (2004, Nov.) 792-801.