

# Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana yang Diretrofit dengan *Link Slab* Ditinjau dari Bentang Jembatan dan Kekakuan Bangunan Bawah

Aditya Nugroho Raharjo, Hidajat Sugihardjo, dan Ananta Sigit Sidharta  
Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaannya (FTSP), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
*E-mail:* hidayat@ce.its.ac.id, ananta@ce.its.ac.id

**Abstrak**— Jembatan komposit sederhana dengan bentang banyak yang dihubungkan dengan link slab (jembatan nirsambung) merupakan jembatan semi integral. Dengan adanya link slab mengakibatkan jembatan lebih kaku dan tidak daktail. Pada studi terdahulu jembatan komposit sederhana dengan menggunakan link slab mendapatkan dimensi balok dan dimensi link slab untuk bentang 12m sampai 30m menggunakan pembebanan non seismik. Pada studi ini telah dilakukan perencanaan bangunan bawah untuk bentang 12m sampai 30m dengan pembebanan seismik. Dimensi bangunan bawah setiap bentang berbeda sehingga kekakuan struktur bangunan bawah juga berbeda. Hasil studi menunjukkan bahwa kekakuan tanah pada oprit berkontribusi cukup signifikan terhadap respon struktur jembatan. Untuk jembatan komposit dengan konstruksi link slab yang ditinjau dari bentang jembatan dan kekakuan struktur bawah adalah didapatkan pengaruh panjang bentang dan bangunan bawah terhadap konstruksi link slab, kemampuan link slab dari studi terdahulu masih mampu jika terjadi beban seismik.

**Kata Kunci**— jembatan komposit, link slab, struktur bawah, kekakuan struktur.

## I. PENDAHULUAN

JEMBATAN merupakan struktur yang berfungsi sebagai sarana untuk menyeberangi jurang atau rintangan seperti sungai, rel kereta api ataupun jalan raya. Struktur ini sangat diperlukan untuk menunjang perkembangan dan pemerataan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Dengan kondisi wilayah Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil terdiri dari sekitar 17.000 pulau. Kondisi alam Indonesia berupa pulau-pulau dengan bukit-bukit, pegunungan dan sungai-sungai besar serta kondisi tanah lunak (rawa-rawa & gambut) yang tersebar diseluruh kepulauan Indonesia, sehingga masih banyak diperlukan pembangunan jembatan yang sesuai dengan perkembangan teknologi untuk mendukung sistem jaringan jalan.

Pada daerah terpencil yang terhalang sungai ataupun jurang, jembatan merupakan solusi yang paling efektif untuk tercapainya pertumbuhan kesejahteraan ekonomi dan perkembangan sosial budaya. Jembatan yang merupakan bagian dari jalan sangat diperlukan dalam sistem jaringan

transportasi darat yang akan menunjang pembangunan nasional pada masa yang akan datang.

Dari sekian banyak jembatan di Indonesia, sebagian besar menggunakan jembatan dengan sistem perletakan sederhana, yang berarti struktur antara lantai kendaraan dengan abutmen atau lantai kendaraan jembatan yang satu dengan yang lainnya terpisah dengan siar. Siar tersebut biasanya ditutup dengan menggunakan konstruksi yang dinamakan *expansion joint*.

Permasalahan yang muncul dengan adanya siar tersebut adalah terjadinya ketidaknyamanan bagi pengguna jalan. Seiring dengan bertambahnya waktu, *expansion joint* akan mengalami *deterioration* dan terjadi retak di sekitarnya. Air hujan juga bisa mengalir melewati *expansion joint*. Hal ini akan mengakibatkan karat pada girder maupun perletakannya dan tumbuhnya tanaman serta lumut yang berakibat rusaknya *bearing pad*.

Beberapa permasalahan tersebut pada akhirnya menimbulkan dampak terhadap ketidaknyamanan bagi pemakai jalan, biaya yang tinggi dalam perawatan dan berkurangnya umur jembatan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dan banyaknya jembatan panjang di Indonesia menggunakan sistem pratekan diatas dua perletakan, maka perlu dilakukan studi terhadap Konstruksi Lantai Menerus dengan menggunakan *Link slab*.

Fungsi link slab adalah sebagai elemen tarik dan tekan. Metoda 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 sebelumnya [1]. Dalam studi ini retrofitting dilakukan, dimana ujung balok jembatan tidak monolit (tidak terintegrasi dengan abutmen) atau yang biasa dikenal sebagai *semi integral bridge*.

Studi kinerja seismik yang akan dilakukan berdasar metoda yang telah dilakukan [1] dan merupakan pengembangan dari analisis nonseismik dari studi terdahulu [2], [3]. Studi ini merupakan pengembangan

terdahulu. Bentang jembatan yang di studi 12,16,20,25 dan 30 meter sesuai dengan standard bangunan atas jembatan komposit.

II. METODE PENELITIAN

Metoda penelitian mengadopsi studi yang telah dilakukan [4], [1], dan [3] dengan mengacu pada peraturan [5]. Modifikasi utama dilakukan pada pemodelan bentang jembatan yang berbeda dan abutmen akibat adanya pengaruh tanah oprit [4]. Hasil analisis dan desain *link slab* untuk pembebanan nonseismik diambil dari studi terdahulu [2], [3]. Analisis seismik dilakukan pada wilayah gempa rencana, yaitu wilayah Gempa 1 (gempa paling kuat) pada kondisi tanah lunak (RSNI 2005). Metoda analisis seismik mengadopsi studi yang telah dilakukan [6], 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 Analisa Seismik Terdahulu

Dari analisis nonseismik terdahulu diperoleh detail dan penulangan *link slab* seperti pada Gambar 3, [2], [3]. 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.

B. Perencanaan Struktur Jembatan

Model jembatan layang yang diteliti mempunyai bentang 4x12, 4x16, 4x20, 4x25 dan 4x30 m. Panjang ini masih lebih kecil dari panjang jembatan baja integral yang bisa mencapai panjang 160 m [7]. Perencanaan struktur atas jembatan mengambil dari studi sebelumnya [2] dan [3]. Perencanaan struktur bawah jembatan mengacu pada peraturan [5].

Spesifikasi perencanaan jembatan sebagai berikut :  
 Bentang 12m: balok WF400x400x21x21; Dimensi Pilar 1,2m  
 Bentang 16m: balok WF400x400x30x50; Dimensi Pilar 1,4m  
 Bentang 20m: balok WF900x300x15x23; Dimensi Pilar 1,5m  
 Bentang 25m: balok WF900x400x24x38; Dimensi Pilar 1,7m  
 Bentang 30m: balok WF1200x500x20x35; Dimensi Pilar 1,8m  
 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.

Spesifikasi penampang abutment sebagai berikut :

- Bentang 12m: Dimensi Abutment 0,8 x 10 m
- Bentang 16m: Dimensi Abutment 0,8 x 10 m
- Bentang 20m: Dimensi Abutment 1 x 10 m
- Bentang 25m: Dimensi Abutment 1 x 11 m
- Bentang 30m: Dimensi Abutment 1x11 m

Penampang abutmen seperti diatas, pilar terdiri dari 2 kolom bulat dengan diameter seperti yang telah disebutkan diatas. 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) dengan ukuran sebagai berikut :

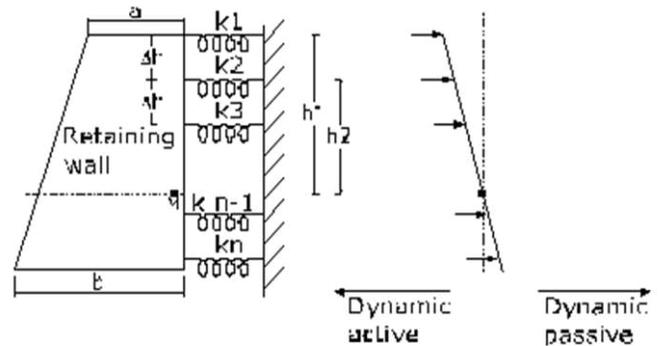
- Bentang 12m: Dimensi Elastomer 200x150x22 mm
  - Bentang 16m: Dimensi Elastomer 300x150x26 mm
  - Bentang 20m: Dimensi Elastomer 300x150x26 mm
  - Bentang 25m: Dimensi Elastomer 300x200x26 mm
  - Bentang 30m: Dimensi Elastomer 400x300x30 mm
- dengan tinggi elastomer diantara pelat baja 14 mm, tebal pelat baja dan pembungkus masing-masing 6 mm dengan kekerasan  $60^0$  [8].

C. Desain Retrofitting

Material bangunan bawah, lantai kendaraan dan *link slab* menggunakan mutu beton dengan  $f'_c=35$  MPa, tulangan dengan  $f_y=390$  MPa. Sedang untuk balok baja jembatan digunakan material Bj 41 dengan  $f_y=250$  MPa dan untuk perletakan elastomer diasumsikan besarnya modulus geser  $G=0.96$ MPa, SNI (2008); [1].

D. Pemodelan 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 1.



Gambar. 1. 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  $\Delta_h$  interval tinggi pegas.  $\eta_h$  adalah modulus reaksi tanah dasar yang didapat dari Tabel 1 berdasarkan jenis tanah dan sifatnya.

Tabel 1.  
Interval nilai modulus reaksi tanah dasar  $\eta_h$  (Saran dkk., 1985)

SOIL	$\eta_h$ (KN/M <sup>3</sup> )	
	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 telah dilakukan [1] dan [6]. Langkah pertama menghitung retak yang terjadi pada *link slab*. Kemudian menghitung displesmen perletakan pada sistim jembatan sederhana, dimana besarnya tidak boleh lebih besar dari displesmen ijin, jika tidak dikehendaki *Retrofitting*. Cara sederhana untuk menghitung beban gempa statik pada *link slab* dapat digunakan Metode Simplikasi. Metode 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). 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*.

III. DISKUSI HASIL

A. Analisa dan Desain Nonseismik

Dari perencanaan struktur jembatan sesuai dengan RSNI (2005) didapatkan berat satu bentang jembatan, yang terdiri dari berat balok, diafragma, lantai kendaraan, aspal, trotoar dan pagar sebagai berikut: bentang 12 m: 1090,8 kN; bentang 16 m: 1774,6 kN; bentang 20 m: 1860,3 kN; bentang 25 m: 2753,6 kN, bentang 30 m: 3424,1 kN.

Dengan tulangan *link slab* D22-100 mm, maka untuk  $\beta=2$  (asumsi), tegangan tulangan pada *link slab*  $40\%f_y=156$  MPa, tebal selimut beton  $d_c=50$  mm dan  $A=10000$  mm<sup>2</sup> (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, [10].

Dengan asumsi struktur bangunan bawah terjepit penuh didapat kekakuan lateral kolom pilar dan abutment didapat Bentang 12 m: Pilar 49.014 kN/m; Abutment 110.929 kN/m Bentang 16 m: Pilar 90.804 kN/m; Abutment 110.929 kN/m Bentang 20 m: Pilar 119.663 kN/m; Abutment 216.658 kN/m Bentang 25 m: Pilar 197.420 kN/m; Abutment 238323 kN/m Bentang 30 m: Pilar 248133 kN/m; Abutment 238323 kN/m sehingga kekakuan efektif untuk satu sistim jembatan sederhana  $k_{eff}$  adalah :

Bentang 12 m: 79971 kN; Bentang 16 m: 100866 kN; Bentang 20 m: 168160 kN; Bentang 25 m: 217817 kN; Bentang 30 m: 243228 kN; (rata-rata dari jumlah kekakuan abutmen dan kekakuan kolom). Jembatan direncanakan dibangun pada Daerah Gempa-1 dan di atas tanah lunak.

Sehingga didapat koefisien geser dasar 0.23, 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. Didapatkan displesmen longitudinal perletakan elastomer tipe geser sebesar  $\delta_{perletakan}=17,11$  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 mm<sup>2</sup>. 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 1 bentang, besarnya reaksi vertikal tiap perletakan balok didapat 1377 kN. Sehingga tegangan tekan pada perletakan yang terjadi  $\sigma=3,712$  MPa. Besarnya tegangan geser yang terjadi diasumsikan  $20\%\sigma$ , didapat  $\tau=0,7424$  MPa dan didapat besarnya kemampuan displesmen longitudinal perletakan sebelum slip  $\delta_{ijin}$  sebagai berikut: bentang 12m: 4,73 mm; bentang 16m: 7,19mm; bentang 20m: 7,54mm; bentang 25m: 8,37mm, bentang 30m: 6,69mm. Kemampuan geser perletakan ini lebih kecil dibandingkan dengan displesmen longitudinal yang terjadi akibat gempa bentang 12m: 39,1mm; bentang 16m: 35,8mm; bentang 20m: 24,6mm; bentang 25m: 23,1mm, bentang 30m: 24,7mm. Balok-balok jembatan dapat terlepas dari perletakannya atau bahkan jatuh ke bawah, sehingga perlu dilakukan *Retrofitting*, 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 didapatkan pada tabel 2, Dengan luas tulangan 38000 mm<sup>2</sup>/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.

Tabel 2.  
Tegangan Tulangan Link Slab Metode Simplikasi

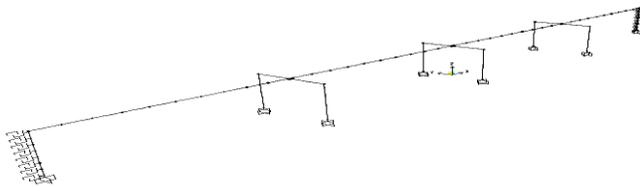
Bentang	Bentang 12	Bentang 16	Bentang 20	Bentang 25	Bentang 30	satuan
Wt	1090.8	1774.6	1860.3	2753.6	3424.1	kN
CIS	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	-
T <sub>1s</sub>	903181.3	1469362.3	1540293.2	2280004.2	2835116.4	kN
A	38013.3	38013.3	38013.3	38013.3	38013.3	mm
Tegangan t	23.76	38.65	40.52	59.98	74.58	Mpa

Untuk analisis dinamik menggunakan program bantu untuk analisa struktur. Model struktur jembatan mengacu pada studi yang telah dilakukan sebelumnya [1], 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 [6], terletak pada pemodelan abutmen yang diberi pegas aktif dan pasif di posisi per 1 meter di sepanjang ketinggian abutmen. 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 Bentang 12m: 2880 kN/m; Bentang 16m: 3085,71 kN/m; Bentang 20m: 3085,71 kN/m; Bentang 25m:4114,29 kN/m; Bentang 30m: 6400 kN/m[9].

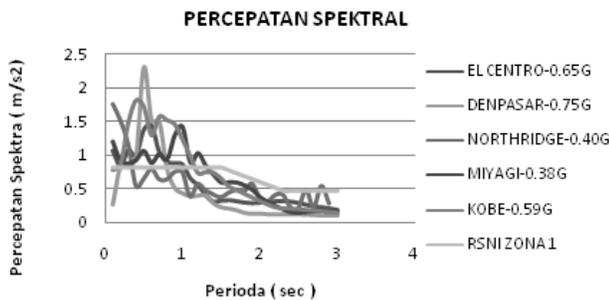
untuk tiap perletakan. Model struktur jembatan 3D dengan kekakuan pegas horisontal pada abutmen seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Model 3D struktur jembatan layang 4 bentang dengan pegas horizontal.

C. Desain dan Analisa Seismik

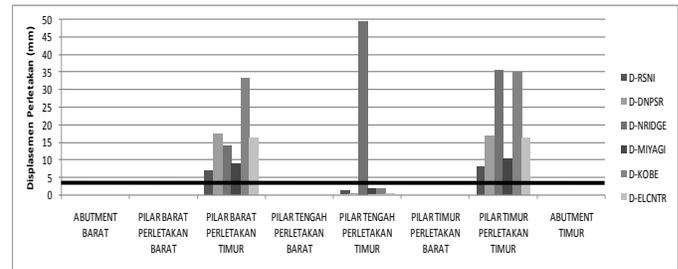
Sebagai kontrol Metoda Simplikasi, dilakukan Analisis Respon Spektrum untuk Daerah Gempa-1, RSNI (2005) dan Analisis Riwayat Waktu linier dengan 5 riwayat gempa El Centro-1940 PGA 0,65, Denpasar-1976 PGA 0,75, Miyagi-1978 PGA 0,38, Northridge-1994 PGA 0,4, dan Kobe-1995 PGA 0,59 untuk menghitung tegangan tulangan pada link slab. Analisis gempa hanya dilakukan dalam arah longitudinal. Nilai PGA gempa diperoleh dengan cara menyamakan intensitasnya dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4, untuk Faktor Keutamaan I = 1.2 dan Tipe Struktur S = 3; dan redaman 5%.



Gambar 3. Skala lima rekaman gempa terhadap spektra desain RSNI 2005 Zona-1 (gempa terkuat), I = 1.2 dan S = 3; redaman 5%.

Analisa setelah menggunakan Time History Analisis terlihat Pada Gambar 4a bahwa pada struktur asli (sebelum diretrofit) nilai displesmen perletakan tipe gesernya sebesar 49,64 mm, melebihi displesmen ijin 4,73 mm. Hal ini menunjukkan bahwa struktur jembatan bisa slip atau lepas akibat displesmen yang melebihi kapasitas.

Pada gambar 4b setelah diretrofit dengan link slab nilai displesmen dibawah dari displesmen ijin 4,73 mm, sehingga penggunaan retrofiting link slab dapat mencegah terjadinya slip atau lepas dari perletakan.



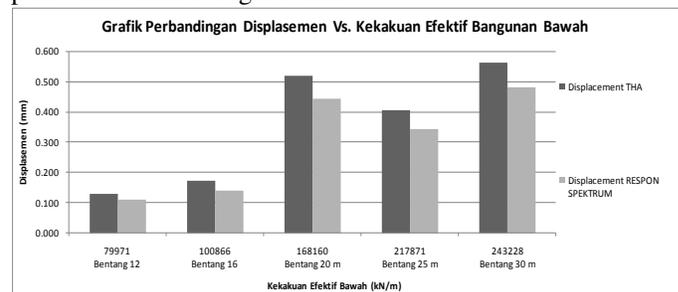
(a)



(b)

Gambar. 4a. Displasemen yang terjadi sebelum retrofiting bentang 12 m. Gambar. 4b. Displasemen yang terjadi setelah retrofiting bentang 12 m.

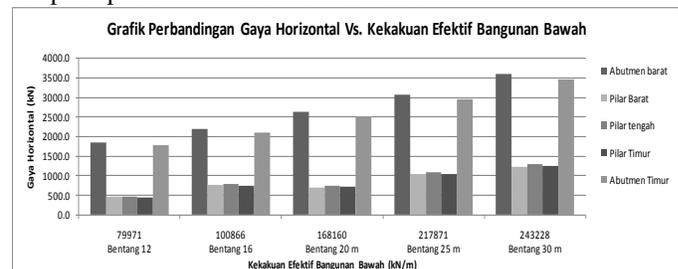
Dari data displesmen di dapat dibandingkan dalam satu grafik berdasarkan bentang jembatan untuk pilar barat perletakan timur sebagai berikut :



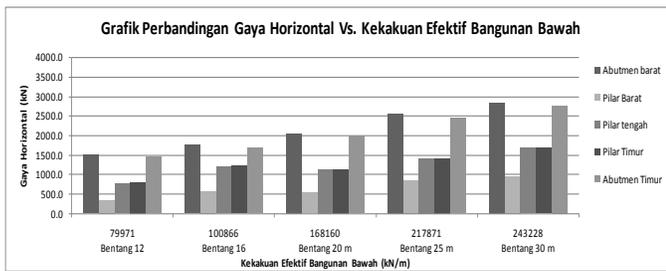
Gambar. 5. Displasemen pada pilar barat perletakan timur pada semua bentang.

Dari gambar gambar 5 diatas dapat dilihat bahwa kekakuan struktur bawah semakin pendek bentang semakin kecil, semakin panjang bentang kekakuan struktur bawah bertambah besar, hal ini disebabkan oleh pembesaran dimensi karena dengan bertambahnya bentang, beban akan semakin bertambah.

Displasemen THA untuk setiap jenis bentang berbeda-beda, hal ini disebabkan karena setiap gempa memiliki karakteristik akselerasi dan percepatan sendiri-sendiri seperti gambar akselerasi gempa sedangkan untuk displesmen Respon spektrum lebih kecil dari THA.



Gambar. 6 Gaya Horizontal setiap bentang dan kekakuan struktur bawah untuk struktur asli.



Gambar. 7 Gaya Horizontal setiap bentang dan kekakuan struktur bawah untuk struktur retrofiting.

Dari gambar gambar 6 dan Gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa gaya horizontal yang terjadi semakin panjang bentang semakin kaku bangunan bawahnya dan gaya horizontal semakin bertambah besar. Secara umum, dengan adanya link slab gaya-gaya yang terjadi akan menyebar lebih merata pada struktur jembatan. untuk melihat prosentase gaya yang didistribusikan seperti tabel dibawah ini:

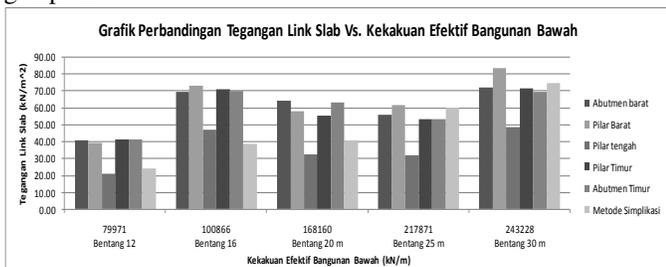
Tabel 3. Prosentase distribusi gaya horizontal

Bentang	Abutment Barat	Pilar Barat	Pilar Tengah	Pilar Timur	Abutment Timur
12 m	23%	33%	-41%	-47%	22%
16 m	26%	31%	-35%	-39%	25%
20 m	28%	33%	-35%	-38%	26%
25 m	19%	23%	-24%	-26%	20%
30 m	26%	30%	-24%	-26%	25%

\* Tanda (-) : Gaya berkurang; Tanda (+): Gaya Bertambah

Pada gambar 8 tegangan rata-rata yang terjadi untuk setiap jenis bentang berbeda beda hal ini disebabkan karena setiap gempa memiliki karakteristik akselerasi dan percepatan sendiri-sendiri.

Secara umum, tegangan yang terjadi pada link slab akibat pembebanan seismik dengan Time History Analisis masih dibawah dari persyaratan 50% fy, sehingga desain link slab pada studi terdahulu masih mampu jika dipasang pada wilayah gempa kuat.



Gambar. 8. Tegangan tulangan rata setiap bentang berdasarkan kekakuan efektif bangunan bawah

Dari tabel 4 terlihat bahwa periode pada struktur yang telah diretrofit menjadi hampir sama dengan bentang lainnya. Sedangkan partisipasi massa sudah mencapai 90%

Secara umum, periode akibat beban seismik untuk struktur retrofiting lebih kecil dari struktur asli, artinya struktur lebih kaku, sedangkan untuk partisipasi massa membutuhkan node hingga 22 node untuk mencapai partisipasi massa 90%.

Tabel 4. Periode dan Partisipasi massa bentang 12m

Ragam	Periode		Partisipasi Massa	
	Struktur Asli	Retrofitting-1	Struktur Asli	Retrofitting-1
1	0.277951	0.274431	2.49E-17	0.000003991
2	0.272849	0.269416	4.19E-17	0.00002413
3	0.267559	0.264141	6.23E-17	0.00003992
4	0.265256	0.261698	6.23E-17	0.00005794
5	0.228988	0.19437	0.44	0.91
6	0.223072	0.083073	0.44	0.91
7	0.170571	0.077567	0.91	0.91
8	0.083015	0.070991	0.91	0.91
9	0.077637	0.067235	0.91	0.91
10	0.071264	0.049945	0.91	0.91
11	0.067722	0.044652	0.91	0.91
12	0.052542	0.040012	0.91	0.91
13	0.049594	0.037003	0.91	0.92
14	0.044465	0.03286	0.91	0.92
15	0.039889	0.031922	0.91	0.92
16	0.031159	0.030881	0.91	0.92
17	0.029598	0.029356	0.91	0.92
18	0.029461	0.026886	0.91	0.92
19	0.027142	0.024951	0.91	0.92
20	0.025249	0.021615	0.91	0.95
21	0.02295	0.0214	0.95	0.95
22	0.021435	0.018188	0.95	0.95

IV. KESIMPULAN

1. Pada bangunan bawah dengan adanya retrofiting menggunakan link slab, gaya horizontal yang semula terpusat menjadi tersebar merata pada struktur bawah jembatan, displasemen perletakan akan menjadi kecil, sehingga pada struktur setelah diretrofitting dengan link slab akan lebih aman dari slip pada perletakan jika terjadi gempa sesuai THA.
2. Pembesaran dimensi bangunan bawah berkorelasi dengan panjang bentang, pembesaran dimensi tersebut sangat mempengaruhi kekakuan struktur, semakin kaku struktur semakin besar gaya horizontal yang terjadi serta periode akan lebih cepat.
3. Tegangan tulangan yang terjadi pada link slab pada studi terdahulu pada bentang 12, 16, 20, 25, dan 30 masih memenuhi batas aman 50%fy= 195 Mpa
4. Analisa dinamis dengan time history analisis sangatlah tidak menentu, karena setiap gempa mempunyai karakteristik intensitas dan PGA yang berbeda-beda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Caner, A and Zia, P. 1998. PCI Journal May-June. *Behavior and design of link slab for jointless bridge decks*: 68-80.
- [2] Irawan, F. 2010. Studi Penggunaan, Perbaikan dan Metoda Sambungan untuk Jembatan Komposit Menggunakan *Link slab*. Surabaya: Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- [3] Sugihardjo, H., Piscesa, B. dan Irawan, F. 2010. Prosiding Kolokium Jalan dan Jembatan: Peningkatan Penerapan Teknologi Jalan dan Jembatan untuk Keselamatan dan Kenyamanan Pengguna Jalan, Bandung 11-12 Mei 2010, ISBN 978-602-8256-16-2. Studi Penggunaan *Link slab* pada Jembatan Komposit.
- [4] Saran, S., Reddy, R.K. dan Viladkar, M.N. 1985. Prediction of Displacement of Retaining Wall Under dynamic Conditions, Bull of Indian Soc. Earth Tech., paper no. 239, vol 22, No.3.
- [5] RSNI. 2005. Draf Standar Nasional Indonesia T-02-2005. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [6] Sugihardjo, H. dan Sidharta, A.S. 2011. Kinerja dan Perilaku Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana Bentang Banyak Nirsambungan yang Diretrofit Link Slab. Surabaya: Penelitian Produktif LPPM-ITS No. 0750.155/12.7/PM/2011.
- [7] Dicleli, M. and S.M. Albhaisi. 2003. Engineering Structures. *Maximum length of integral bridges supported on steel H-piles driven in sand*, Vol. 25, Oct.: 1491-1504.
- [8] Honel . 2011. Elastomeric Bridge Bearing, Honel Structural Products Ltd., Pinetown.
- [9] Raharjo,A.N.. Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana yang Diretrofit dengan *Link Slab* Ditinjau dari Bentang Jembatan dan Kekakuan Bangunan Bawah. Surabaya(2012): Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- [10] Kim, Y., Fischer, G. and Li, V.C. ACI Structural Journal. *Perfomanced of bridge deck link slabs designed with ductile engineered cementitious composite*, V.101, No.6. November-December( 2004): 792-801.
- [11] Caner, A., Dogan, E. and Zia. P. 2002. Journal of Bridge Engineering. *Seismic Performance of Multisimple-Span Bridges Retrofitted with Link slab*, Vol. 7, No. 2: 85-93.
- [12] Direktorat Bina Program Jalan. 1993. *Standar Jembatan Komposit*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.