

**EVALUASI KINERJA SEISMIK JEMBATAN EXISTING BETON  
PRATEGANG VOIDED SLAB DENGAN ANALISIS PUSHOVER PADA  
PILAR JEMBATAN  
(SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF EXISTING  
PRESTRESSED VOIDED SLAB CONCRETE BRIDGE WITH PUSHOVER  
ANALYSIS ON BRIDGE PIER)**

**Ahmad Afifi**

Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Barat  
Jl. Jati No. 109 Padang  
e-mail: ahmadafifi@pu.go.id  
Diterima: 14 April 2021; direvisi: 25 November 2021; disetujui: 29 November 2021

**ABSTRAK**

*Standar perencanaan dan pembebanan jembatan di Indonesia telah mengalami beberapa kali perubahan terutama pada aspek perencanaan beban gempa, dengan perubahan terakhir pada tahun 2016 yaitu SNI 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa dan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Jembatan. Dengan adanya perubahan standar tersebut, jembatan yang sudah beroperasi di Indonesia sebelum tahun 2016 perlu dilakukan evaluasi kinerja struktur. Pada tulisan ini, evaluasi dilakukan pada jembatan beton prategang dengan tipe voided slab yaitu Jembatan No. 5 Simpang Susun Cawang Tol Dalam Kota Jakarta yang telah dibangun sejak tahun 1987. Hasil evaluasi antara lain menunjukkan kapasitas aksial-lentur pada elemen pier jembatan tidak mampu memikul beban dengan standar yang terbaru pada kondisi batas ekstrem. Selain itu, kebutuhan luas tulangan confinement pada elemen pier jembatan tidak memenuhi syarat tulangan minimum. Selanjutnya, evaluasi kinerja struktur jembatan yang dilakukan dengan analisis statik pushover (NSPA) pada elemen pier P3 untuk pembebanan arah memanjang jembatan, menghasilkan level kinerja pier P3 pada kondisi Operational – Life Safety (O-LS) dengan drift 1.56%. Apabila model perkuatan struktur diaplikasikan pada elemen pier P3 dengan RC-jacketing  $f_c' 25$  MPa dengan tebal 100 mm dan tulangan longitudinal tambahan 72 D29, kapasitas P3 diharapkan dapat meningkat sebesar 49% dari kapasitas awal dan level kinerja pier P3 menjadi turun ke level Operational (O) dengan drift 1%.*

**Kata Kunci:** voided slab, pier, evaluasi kinerja, drift, NSPA, perkuatan, RC-jacketing

**ABSTRACT**

*The standard code of planning and loading bridges in Indonesia has undergone several changes, especially in the earthquake load planning aspect, with the latest changes in 2016, namely SNI 2833:2016 and SNI 1725:2016. With this change in standard codes, bridges that were already operating in Indonesia before 2016 needed to be evaluated on their structural performance. In this paper, evaluation was conducted on a pre-stressed bridge with voided slab type, such as Bridge 5 Cawang Interchange at Jakarta Intra Urban Tollway which has been built since 1987. The evaluation results showed that the axial-bending capacity of the bridge pier elements was not able to carry loads with the latest standard codes in extreme boundary conditions. In addition, the required area of confinement reinforcement on the bridge pier elements does not meet the minimum requirements. Furthermore, evaluation of bridge structure performance is carried out by using static pushover analysis (NSPA) on the pier P3 element bridge loading toward longitudinal direction, resulting P3 performance in Operational - Life Safety (O-LS) conditions reach a drift of 1.56%. Ultimately, when the structural retrofitting model is applied to the P3 pier element with RC-jacketing  $f_c' 25$  MPa with a thickness of 100 mm and additional longitudinal reinforcement of 72 D29, the P3 capacity is expected to increase by 49% from the initial capacity and the performance level will decrease to the Operational level (O) with a drift of 1%.*

**Key words:** voided slab, pier, performance evaluation, drift, NSPA, retrofitting, RC-jacketing

## PENDAHULUAN

Menurut Hariman, (Hariman, Christady, dan Triwiyono, 2007), jembatan merupakan bagian yang penting dalam suatu sistem jaringan jalan, karena pengaruhnya yang berarti bila jembatan itu runtuh atau tidak berfungsi dengan baik. Dalam masa layan jembatan, dimungkinkan terjadi penurunan level kinerja yang dapat disebabkan oleh faktor lingkungan sekitar jembatan korosi pada elemen struktur, gerusan pada pilar, gempa, dsb. serta faktor kondisi fisik jembatan kerusakan lantai jembatan, pergeseran pilar jembatan, dsb. Penurunan kinerja jembatan yang berlebihan dapat mengakibatkan kegagalan fungsi pada jembatan. Untuk itu, evaluasi kinerja pada struktur jembatan perlu dilakukan untuk mengetahui level kinerja suatu jembatan. Level kinerja dapat menjadi acuan untuk menentukan jenis upaya perkuatan/perbaikan sehingga jembatan tetap berfungsi dengan baik selama masa layannya.

Seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi, standar perencanaan dan pembebanan jembatan di Indonesia telah mengalami beberapa kali perubahan, dengan perubahan terakhir pada tahun 2016 yaitu SNI 2833:2016 (BSN 2016) tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa dan SNI 1725:2016 (BSN 2016) tentang Pembebanan Jembatan. Perubahan dilakukan untuk merevisi ketentuan teknis pembebanan jembatan sesuai kondisi terkini, dan melakukan *updating* data rekaman gempa melalui Peta Gempa Indonesia yang saat ini telah disusun mewakili level *hazard* gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Hal ini berarti bahwa persyaratan beban gempa pada standar perencanaan ketahanan gempa yang terbaru lebih besar dibandingkan dengan standar yang sebelumnya.

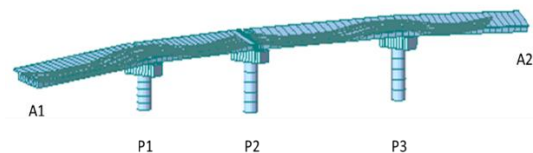
Suseno (2019) pada penelitiannya telah melakukan evaluasi kinerja struktur Jembatan Cipada yang berada di Jalan Tol Cipularang dengan menggunakan standar perencanaan dan pembebanan yang terbaru dengan prosedur analisis *pushover*. Pada tulisan ini, evaluasi kinerja dilakukan pada Jembatan No. 5 Simpang Susun Cawang yang berada di Jalan Tol Dalam Kota Jakarta.

## HIPOTESIS

Evaluasi yang dilakukan terhadap struktur jembatan *existing* menggunakan standar perencanaan dan pembebanan jembatan SNI 1725:2016 (BSN 2016) dan SNI 2833:2016 (BSN 2016) diprediksi menghasilkan rasio kapasitas aksial-lentur elemen *pier* lebih dari 1 dengan level kinerja struktur O-LS (*Operational-Life Safety*) (O-LS).

## METODOLOGI

Objek penelitian pada tulisan ini yaitu Jembatan No. 5 Simpang Susun Cawang di Jalan Tol Dalam Kota Jakarta yang telah dibangun sejak tahun 1987. Panjang total jembatan yaitu 91.49 m dengan terdiri dari 4 bentang dengan panjang bentang bervariasi. Pemodelan struktur dilakukan berdasarkan *as-built drawing* menggunakan bantuan *software* Midas Civil. Struktur atas Penyederhanaan pemodelan dilakukan pada sistem struktur jembatan *existing* yaitu terbatas pada elemen yang bersifat struktural, sedangkan elemen non struktural serta tiang pancang tidak dimodelkan. Struktur atas jembatan terdiri dari *voided slab* beton prategang dengan sistem *continuous span* (A1-P1-P2 dan P2-P3-A2) dan sistem tumpuan sederhana seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Perspektif struktur

Pembebanan struktur jembatan dilakukan masing-masing berdasarkan standar yang lama yaitu BMS (1992) dan standar yang terbaru yaitu SNI 1725:2016 (BSN 2016) dan SNI 2833:2016 (BSN 2016). Beban yang digunakan dalam melakukan desain jembatan antara lain: (1) Beban Permanen: Beban Mati (DL), Beban Mati Tambahan (SIDL), dan Beban Prategang, dll. (2) Beban Transien: Beban Lalu Lintas (BTR, BGT, dan Truk), Gaya Rem, Gaya Sentrifugal, Temperatur, Gaya Angin, Gaya Gempa, dll. Kombinasi pembebanan jembatan sesuai SNI 1725:2016 (BSN 2016) dapat dilakukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut: (a) Batas Kuat, (b) Batas Ekstrem, dan (c) Batas Layan.

Selanjutnya, untuk kebutuhan evaluasi kinerja struktur, salah satu analisis yang dapat digunakan yaitu analisis *pushover* atau NSPA (*Nonlinear Static Pushover Analysis*) yaitu analisis model matematika yang melibatkan karakteristik beban dan deformasi suatu komponen atau elemen dari bangunan yang dikenakan penambahan beban lateral statik sampai melampaui *target displacement*. Beberapa karakteristik respons yang dapat dihasilkan dari analisis *pushover* antara lain:

1. Hubungan antara gaya terhadap perpindahan struktur serta mekanisme kelelahan melalui kurva yang dikenal dengan kurva kapasitas
2. Gaya dalam yang bekerja yang terjadi pada elemen yang getas dan deformasi yang terjadi pada elemen yang *ductile*
3. Perpindahan global serta prediksi kerusakan struktural dan nonstruktural bangunan ketika menerima beban gempa rencana.

Mengacu kepada kriteria ATC-40 (Comartin, Niewiarowski and Rojahn 1996) “*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*”, kurva kapasitas hasil analisis *pushover* dikonversi menjadi kurva spektrum kapasitas dalam koordinat modal spektra dari sistem SDOF ekuivalen. Gaya geser dasar dan perpindahan atap pada kurva kapasitas dapat dikonversi menjadi percepatan spektra ( $S_a$ ) dan perpindahan spektra ( $S_d$ ) dengan bantuan program analisis struktur yang selanjutnya diplot dalam format kurva ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*). Selanjutnya, kurva respons spektrum yang telah direduksi sebagai *demand spectrum* diplot dalam format ADRS bersama dengan kurva spektrum kapasitas untuk menentukan titik perpotongan pada saat kapasitas seismik bangunan sama besarnya dengan demand yang bekerja pada bangunan. Titik tersebut dinamakan dengan *performance point* yang menggambarkan prediksi nilai perpindahan maksimum pada saat terjadinya gempa rencana.

Level kinerja struktur dapat ditentukan dengan kriteria NCHRP 440 *Synthesis* (2013) tentang “*Performance-Based Seismic Bridge Design*” sesuai dengan Tabel 1.

**Tabel 1.** Level kinerja struktur

BRIDGE PERFORMANCE/DESIGN PARAMETERS SRPH-1 (HOUSE AND SEIBLE 1999)					
Level	Description	Steel Strain	Concrete Strain	% Drift	Displacement Ductility
I	Fully operational	<0.005	<0.0032	<1.0	<1.1
II	Operational	0.005	0.0032	1.0	1.0
III	Life safety	0.019	0.01	3.0	2.0
IV	Near Collapse	0.048	0.027	5.0	6.0
V	Collapse	0.063	0.036	8.7	8.0

Sumber: NCHRP (2013).

Apabila dibutuhkan perkuatan jembatan, perkuatan elemen struktur salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode *RC-jacketing*. Raza dkk. (2019) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa alternative perkuatan dengan metode *RC-jacketing* secara umum dapat meningkatkan perilaku seismik dari kolom *existing* baik dari segi kapasitas aksial, kuat lentur, dan daktilitas, sehingga memiliki pengaruh yang relatif tinggi terhadap kinerja struktur.

## HASIL DAN ANALISIS

Elemen *pier* (P1, P2, dan P3) pada jembatan memiliki penampang *solid-circular* dengan diameter tipikal 2500 mm. Berdasarkan data *as-built drawing*, penulangan pada elemen *pier* jembatan ditabulasikan pada Tabel 2. Selain itu, mengacu kepada peta gempa SNI 2833:2016 (BSN 2016), jembatan ini dikategorikan sebagai jembatan lainnya yang berada pada zona gempa 3 dengan jenis tanah lunak SE dengan  $PGA=0,284$ ;  $S_s = 0,565$ ,  $S_1 = 0,23$ , dan faktor modifikasi respons  $R = 3$ .

**Tabel 2.** Penulangan elemen *pier* jembatan

Pier	Tipe	D (mm)	Selimut (mm)	Tulangan		
				Longitudinal	Tumpuan	Lapangan
P1	Solid-Circular	2500	75	105 D22	D16-150	D16-300
P2	Solid-Circular	2500	75	87 D19	D16-150	D16-300
P3	Solid-Circular	2500	75	120 D29	D22-150	D22-300

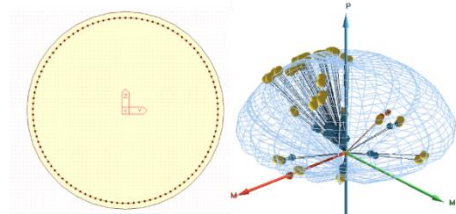
Data mutu material jembatan diambil dari Laporan Akhir Penelitian Kondisi Jembatan Ruas Jalan Tol untuk Jembatan Cawang 5 Simpang Susun Cawang Ruas Jalan Tol JTC (Jasa Marga 2019) yaitu:

- a. Girder :  $f_c'$  = 33,7 MPa
- b. Pier dan Pier head:  $f_c'$  = 19,8 MPa
- c. Baja Tulangan :  $f_y$  = 400 MPa
- d. Kabel Prategang :  $f_{pu}$  = 1860 MPa  
 $f_{py}$  = 1670 MPa

Selain itu, tebal selimut beton bertulang rata-rata sesuai laporan hasil pemeriksaan jembatan yaitu:

- Pier* : t = 75 mm
- Pier head* : t = 100 mm
- Girder : t = 55 mm

Analisis kapasitas pada penampang elemen struktur jembatan dilakukan berdasarkan output gaya dalam aksial, lentur, dan geser pada kondisi batas kuat dan batas ekstrem sesuai SNI 1725:2016 (BSN 2016) menggunakan program Midas Civil. Analisis kapasitas aksial-lentur dilakukan dengan Midas GSD dengan output berupa diagram interaksi aksial-lentur dengan contoh pada elemen P1 seperti pada Gambar 2. Analisis kapasitas geser dilakukan dengan perhitungan sesuai dengan ketentuan SNI 2833:2016 (BSN 2016).



**Gambar 2.** Interaksi aksial-lentur P1

Adapun keseluruhan hasil perhitungan analisis kapasitas penampang ditabulasikan dalam Tabel 2.

**Tabel 3.** Penulangan elemen *pier* jembatan

Elemen	Rasio Kapasitas Aksial-Lentur		Rasio Kapasitas Geser	
	Batas Kuat	Batas Ekstrem	Batas Kuat	Batas Ekstrem
P1	0,341	1,225	0,118	0,743
P2	0,388	1,094	0,084	0,507
P3	0,242	1,325	0,181	0,858
PH1	0,669	0,068	0,705	0,291
PH2	0,657	0,082	0,567	0,272
PH3	0,632	0,194	0,459	0,243
Girder Lapangan	0,666	0,293	0,154	0,059
Girder Tumpuan	0,875	0,424	0,446	0,189

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas aksial-lentur elemen *pier* pada kondisi batas ekstrem tidak memenuhi persyaratan pembebanan sesuai SNI 1725:2016 (BSN 2016).

Setelah dilakukan evaluasi berdasarkan SNI 2833:2016 (BSN 2016), seluruh elemen struktur jembatan memenuhi kebutuhan luas tulangan minimum, baik tulangan longitudinal maupun tulangan transversal/*confinement*, kecuali pada elemen *pier*. Rasio tulangan spiral minimum untuk kolom bundar sesuai AASHTO LRFD (2012) yaitu:

$$\rho_s \min = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yh}}$$

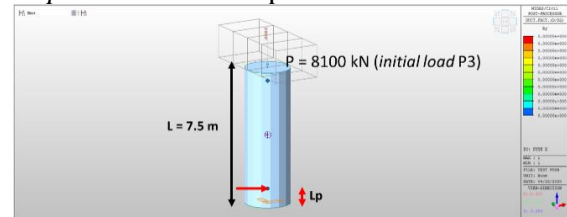
$$\rightarrow \rho_s \min = 0,3\%$$

Apabila digunakan ukuran tulangan transversal D16-150, nilai rasio tulangan spiral *pier existing* yaitu:

$$\rho_s = 4 \frac{A_{sp}}{D_c s} = 0,2\%$$

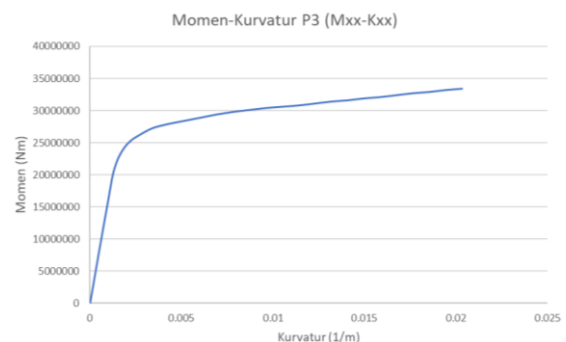
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio *confinement* pada *pier* tidak memenuhi kebutuhan rasio tulangan minimum yang dipersyaratkan.

Analisis *pushover* (NSPA) merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui perilaku inelastik struktur dengan beban statik. Pada analisis ini, kontrol dilakukan pada elemen *pier* P3 yang mengalami gaya dalam momen paling kritis (kondisi batas ekstrem) di antara ketiga *pier* dengan pembebanan awal yang telah dihitung sebesar 8100 kN seperti pada Gambar 3. Pembebanan untuk analisis *pushover* dilakukan secara longitudinal (arah X memanjang jembatan) / Push X dengan *displacement control* pada nodal atas P3.



**Gambar 3.** Analisis *pushover* dengan kontrol P3

Adapun properti nonlinear material dari penampang P3 dapat ditentukan dari hasil analisis penampang dengan program XTRACT berupa kurva momen-kurvatur dengan model *confinement* Mander yang direkomendasikan untuk daerah rawan gempa pada penelitian Imran and widhianto (2013). Kurva momen-kurvatur penampang P3 untuk pembebanan arah longitudinal jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.



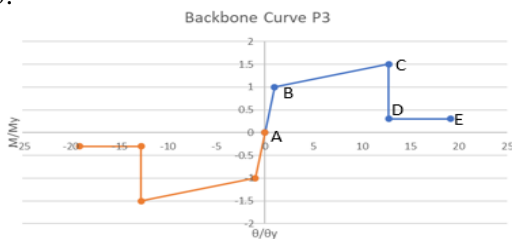
**Gambar 4.** Momen-Kurvatur P3

Berdasarkan kurva momen-rotasi yang dihasilkan, hubungan momen-rotasi elemen P3 dapat ditentukan dengan perhitungan seperti pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perhitungan hubungan momen-rotasi P3

Kondisi Beban	$\phi$ (1/m)	$\theta$ (rad)	$\theta/\theta_y$	M (Nm)	M/My	
Positif	Ultimit	0,0203	0,0254	13,76	33400000	1,50
	Leleh	0,0015	0,0018	1,00	22200000	1,00
Negatif	Ultimit	-0,0203	-0,0254	-13,76	-33400000	-1,50
	Leleh	-0,0015	-0,0018	-1,00	-22200000	-1,00

Selanjutnya, hubungan momen-rotasi atau *backbone curve* elemen *pier* P3 dapat ditentukan sesuai dengan kriteria FEMA (2005) dengan hasil seperti pada Tabel 5 dan Gambar 5.



**Gambar 5.** Backbone curve P3

Nilai batas kondisi *acceptance criteria* untuk kinerja elemen ditentukan mengacu kepada NCHRP 440 *Synthesis* (2013) yaitu:

1. CP = Batas ultimit
2. LS = 0,75 CP
3. IO = 0,67 LS

**Tabel 5.** Perhitungan backbone curve P3

Backbone Curve (Neg)			Backbone Curve (Pos)		
Point	M/My	$\theta/\theta_y$	Point	M/My	$\theta/\theta_y$
A	0	0	A	0	0
B	-1	-1	B	1	1
C	-1,505	-12,762	C	1,505	12,762
D	-0,301	-12,762	D	0,301	12,762
E	-0,301	-19,143	E	0,301	19,143

Analisis *pushover* pada P3 dapat dilakukan pada satu model *frame* kolom kantilever karena tumpuan girder bersifat *simple support* dan tidak kontinu atau *monolith* dengan *pier*. Periode struktur dan partisipasi modal P3 dapat dilihat pada Tabel 6.

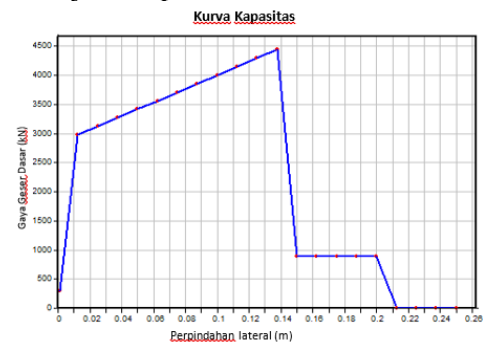
**Tabel 6.** Partisipasi modal P3

EIGENVALUE ANALYSIS						
Mode No	Frequency		Period		Period	
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)
1	17,946842	2,856329	0,3501			
2	17,946842	2,856329	0,3501			
3	127,746554	20,331496	0,049185			

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT						
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	100	100	0	0	0	0
2	0	100	100	100	0	0
3	0	100	0	100	100	100

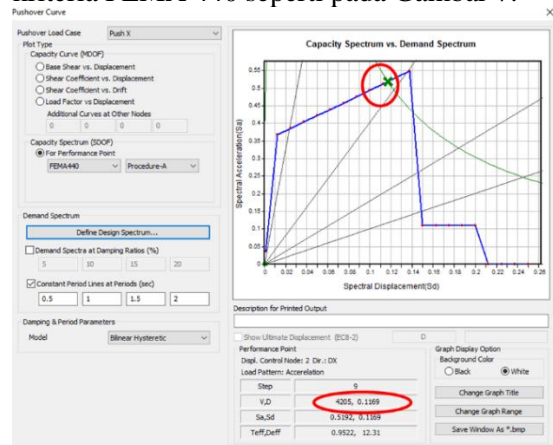
Hasil analisis *pushover* untuk arah tersebut dapat berupa kurva kapasitas yang ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Kurva kapasitas P3

Berdasarkan kurva kapasitas di atas, gaya geser dasar *design* dan *ultimate* pada struktur *existing* dapat ditentukan yaitu masing-masing sebesar 3000 kN dan 4400 kN. Selanjutnya, gaya geser dasar elastik maksimum hasil analisis struktur yaitu sebesar 7166 kN. Dengan demikian, faktor modifikasi respons R aktual dapat ditentukan yaitu 2,39. Dengan demikian, daktilitas dan kemampuan struktur *existing* dalam menerima gaya gempa lebih kecil dibandingkan dari yang direncanakan.

Level kinerja struktur dapat ditentukan melalui *performance point* perpotongan *demand spectrum* dan *capacity spectrum* (kurva ADRS dari kurva kapasitas) sesuai dengan kriteria FEMA 440 seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Performance point P3

*Performance point* yang dihasilkan yang dihasilkan yaitu gaya geser dan perpindahan lateral maksimum target masing-masing 4205 kN dan 0,1169 m, sehingga *drift* yang terjadi pada P3 yaitu 1,56 %. Kriteria level kinerja untuk P3 hasil analisis *pushover* (NSPA) sesuai NCHRP 440 *Synthesis* (2013) berada dalam

kategori *Operational – Life Safety (O-LS)* dengan level kerusakan yang masih dapat diperbaiki dengan upaya perkuatan struktur.

## PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa jembatan berada pada level kinerja O-LS yang berarti bahwa struktur jembatan tersebut perlu dilakukan perbaikan. Untuk menurunkan level kinerja struktur pada taraf *Operational (O)*, rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan metode perkuatan struktur. Mengacu kepada kriteria NCHRP Report 293 (1987) “*Methods of Strengthening Existing Highway Bridges*”, salah satu perkuatan struktur yang dapat dilakukan untuk elemen *pier* yaitu dengan metode *Reinforced Concrete Jacketing (RC-jacketing)*. Pada tesis ini, contoh perkuatan struktur dilakukan pada elemen *pier* P3 dengan kriteria awal pemodelan *jacketing* sebagai berikut:

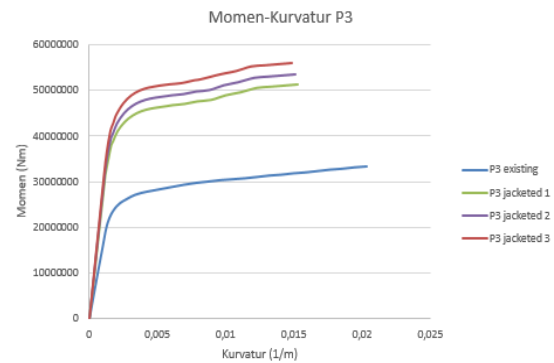
- Mutu material *jacketing* : 75 mm
- Tebal lapisan *jacketing* : 100 mm
- Tulangan longitudinal : D29
- Tulangan transversal : D22-150

Pemodelan dalam perkuatan elemen P3 dengan *RC-jacketing* dilakukan dengan SAP2000 berdasarkan target *drift* hasil pendekatan analisis statik nonlinear *pushover* dapat berkurang sampai dengan 1% (level kinerja *Operational*) seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Untuk kebutuhan analisis *pushover*, hasil analisis penampang berupa kurva momen-kurvatur setiap model dapat dilihat pada Gambar 8.

**Tabel 7.** P3 dengan *RC-jacketing*

No	Model P3	Detail perkuatan		
		Ketebalan (mm)	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal
1	P3 existing	-	120 D29	D22-150
2	P3 jacketed 1	100	180 D29	D22-150
3	P3 jacketed 2	100	192 D29	D22-150
4	P3 jacketed 3	100	200 D29	D22-150

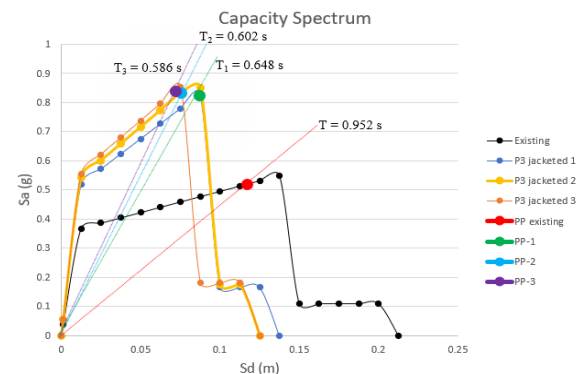
Selanjutnya, hasil analisis *pushover* berupa kurva kapasitas, *performance point*, serta level kinerja P3 pasca dilakukan perkuatan dengan *RC-jacketing* dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 9.



**Gambar 8.** Perbandingan kurva momen-kurvatur P3 dengan *RC-jacketing*

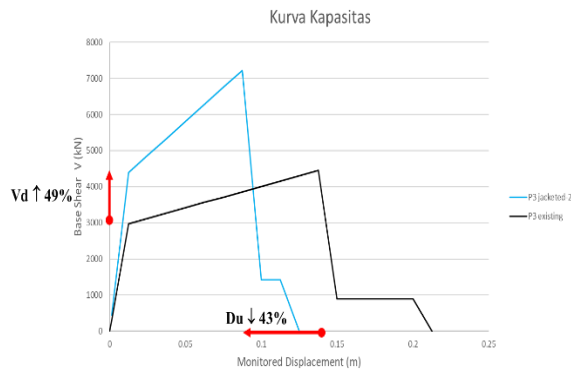
**Tabel 8.** P3 dengan *RC-jacketing*

No	Model	$\rho$ (%)	Performance Point			Tn (s)	Level Kinerja
			V (kN)	D (m)	drift (%)		
1	P3 existing	1,61	4205	0,1169	1,559	0,952	O-LS
2	P3 jacketed 1	2,08	6689	0,0862	1,149	0,648	O-LS
3	P3 jacketed 2	2,21	6763	0,07528	1,004	0,602	O
4	P3 jacketed 3	2,31	6794	0,07166	0,955	0,586	FO



**Gambar 9.** Perbandingan kurva kapasitas P3 dengan *RC-jacketing*

Berdasarkan informasi di atas, secara umum perkuatan pada *pier* P3 dengan perkuatan *RC-jacketing* dapat meningkatkan kekakuan dan menurunkan perpindahan lateral yang terjadi pada struktur *existing*. Selain itu, rasio tulangan juga dapat berpengaruh pada nilai periode serta *drift* yang terjadi pada struktur. Model P3 *jacketed -2* dengan rasio tulangan 2,21% selanjutnya akan digunakan untuk perkuatan struktur karena dapat menghasilkan level kinerja yang diharapkan yaitu level *Operational* dengan *drift* ~1%. Hasil perhitungan menunjukkan peningkatan kapasitas elemen P3 dari kondisi *existing* yaitu sebesar 49% seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Kurva kapasitas P3 pasca perkuatan dengan RC-jacketing

Untuk kebutuhan analisis linear, hasil analisis kapasitas aksial-lentur model penampang P3 pasca perkuatan struktur dengan RC-jacketing yaitu rasio kapasitas sebesar 0,854. Selanjutnya, rasio *confinement* P3 dengan RC-jacketing diperoleh 0,4% dan memenuhi kebutuhan *confinement* minimum yang dipersyaratkan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Evaluasi kinerja struktur Jembatan No. 5 Simpang Susun Cawang di Jalan Tol Dalam Kota Jakarta yang sudah beroperasi lebih dari 30 tahun menghasilkan level kinerja struktur pada tingkat *Operational-Life Safety* (O-LS) dengan *drift* lebih besar dari 1%.

Pasca perkuatan struktur dengan RC-jacketing yaitu rasio kapasitas sebesar 0,854. Selanjutnya, rasio *confinement* P3 dengan RC-jacketing diperoleh 0,4% dan memenuhi kebutuhan *confinement* minimum yang dipersyaratkan.

### Saran

Kajian analisis pushover arah melintang jembatan perlu dilakukan untuk memperoleh desain retrofit yang aman.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai wujud penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan tulisan ini, ucapan rasa terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, Tim Pengajar KK Rekayasa Struktur Teknik Sipil ITB, dan Ivan Sandi Darma.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials Load and Resistance Factor Design (AASHTO LRFD). 2012. *Bridge Design Specifications*. D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials
- Comartin, D. C., Niewiarowski, W.R. and Rojahn, C. 1996. *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Amerika Serikat: Seismic Safety Commission State of California.
- Antonius, Imran, I. and widhianto, A. 2013. *Ductility of Confined Bridge Piers in The Seismic Region*. 17-23. Proceeding the 6<sup>th</sup> Civil Engineering Conference in Asia Region.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 (BSN 2016)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833:2016*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bridge Management System (BMS) 1992. *Bridge Desain Manual*. Jakarta: Directorate general of Highways Ministry of Public Work Republic of Indonesia.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2005. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures FEMA 440*. Washington DC: FEMA.
- Hariman, F, Christady, H, dan Triwiyono, A. 2007. Evaluasi dan program pemeliharaan jembatan dengan metode Bridge Management System (BMS). *Forum Teknik Sipil*. 17: 581-593
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 440 Synthesis. 2013: *Performance Based Seismic Bridge Design*. Washington, D.C.: National Cooperative Highway Research Program.
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 293. 1987: *Methods of Strengthening Existing Highway Bridges*. D.C.: National Cooperative Highway Research Program
- Raza, S, Khan, I. K. M., Menengon, J. S., Tsang, H., and Wilson, L., L. 2019. Strengthening and Repair of Reinforced Concrete Columns by Jacketing, *Sustainability*. 11: 1-31.
- Suseno, A. 2019. Analisis Kondisi Existing Sebagai Evaluasi Kinerja Jembatan Cipada. Institut Teknologi Bandung