

Diterima : 27 Oktober 2023 | Selesai Direvisi : 13 November 2023 | Disetujui : 28 November 2023 | Dipublikasikan : Desember 2023

DOI : <http://dx.doi.org/10.24853/jk.15.1.97-111>

Copyright © 2023 Jurnal Konstruksia

This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Perbandingan Pengaruh LRB (*Lead Rubber Bearing*) Dan FPB (*Friction Pendulum Bearing*) Pada Perilaku Struktur Jembatan (Studi Kasus Jembatan Tol Layang Dalam Kota Jakarta)

Ahmad Dzirki Fauzan¹, Pariatmono Sukamdo¹

¹Prodi Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Jl. Raya, RT.4/RW.1, Meruya Sel, Jakarta 11650

Email korespondensi: mail.dzikrifzn@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membandingkan pengaruh penggunaan LRB (*Lead Rubber Bearing*) dan FPB (*Friction Pendulum Bearing*) terhadap perilaku struktur jembatan di Kota Jakarta dengan geometrik alinyemen berbelok pada salah satu *ramp* diarea *interchange*. Geometrik alinyemen jembatan telah terbukti memengaruhi kinerja struktur. Pemilihan jenis perletakan jembatan seperti LRB dan FPB juga dapat meningkatkan kinerja struktur terutama saat terjadi gempa. Penelitian ini menggunakan analisis respon spektra dan analisis nonlinear riwayat waktu untuk memeriksa respon struktur seperti perpindahan, gaya geser dasar, gaya momen, dan gaya normal. Faktor-faktor seperti geometrik alinyemen, ketinggian pilar, serta jenis perletakan (LRB atau FPB) menjadi pertimbangan dalam penelitian ini. Desain dimensi LRB dan FPB mengikuti pedoman AASHTO *Guide Specification for Seismic Isolation Design* dan *Technical Report MCEER-13-0010*. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak CSI Bridge24. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alinyemen berbelok pada jembatan berpengaruh signifikan terhadap respon struktur. Penggunaan LRB mengurangi nilai respon struktur perpindahan 81%, gaya geser dasar 52%, gaya momen 45%, dan gaya normal 8%. Sementara penggunaan FPB mengurangi nilai respon struktur perpindahan 84%, gaya geser dasar 58%, gaya momen 48%, dan gaya normal sebesar 10%. Secara keseluruhan, FPB lebih efektif daripada LRB dalam mengurangi nilai respon spektra, dengan pengurangan lebih besar, yaitu sekitar 2%-6%.

Kata kunci: *Curved Bridge, LRB, FPB, Seismic Isolator, CSI Bridge*

ABSTRACT

This study compares the influence of using LRB (Lead Rubber Bearings) and FPB (Friction Pendulum Bearings) on the behavior of bridge structures in Jakarta, particularly those with curved geometric alignments on one of the ramps in an interchange area. It has been well-established that the geometric alignment of bridges significantly impacts structural performance. Moreover, the choice of bridge bearing types like LRB and FPB can enhance structural performance, particularly during seismic events. The research employs spectral response analysis and nonlinear time history analysis to examine structural responses, including displacement, base shear forces, moment forces, and axial forces. Factors such as geometric alignment, pier height, and the type of bearings (LRB or FPB) are taken into consideration in this study. The dimensions of LRB and FPB are designed according to the AASHTO Guide Specification for Seismic Isolation Design and Technical Report MCEER-13-0010. Structural modeling and analysis are carried out using the CSI Bridge24 software. The study's findings reveal that curved geometric alignment on bridges significantly affects structural responses. The use of LRB reduces structural displacement responses by 81%, base shear forces by 52%, moment forces by 45%, and axial forces by 8%. On the other hand, the use of FPB reduces structural displacement responses by 84%, base shear forces by 58%, moment

forces by 48%, and axial forces by 10%. Overall, FPB proves to be more effective than LRB in reducing spectral response values, with greater reductions of approximately 2%-6%.

Keywords: Curved Bridge, LRB, FPB, Seismic Isolator, CSI Bridge

1. PENDAHULUAN

Jalan Tol Layang Dalam Kota terdiri dari 6 ruas jalan tol dengan konstruksi utama berupa jembatan. Karena dibatasi dan dipengaruhi oleh bangunan sekitarnya, jalan, utilitas bawah tanah, banyak jembatan harus mengadopsi struktur dengan bentuk spesial yang termasuk dalam kategori jembatan tidak beraturan [10]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bentuk geometrik alinyemen jembatan berpengaruh pada kinerja struktur jembatan terhadap beban. Perletakan jembatan juga memiliki peran penting dalam menjaga keandalan struktur jembatan.

Pada saat sekarang ini terdapat dua tipe perletakan yang sering digunakan, yaitu tipe yang perletakan geser yang dikombinasikan dengan karet elastomer dan tipe yang lainnya adalah bantalan [5].

Secara umum sistem isolasi seismik terbagi menjadi dua kategori yaitu *elastomeric rubber bearing* dan *sliding bearing*. Salah satu jenis *elastomeric rubber bearing* adalah LRB (*Lead Rubber Bearing*), sedangkan *sliding bearing* adalah FPB (*Friction Pendulum Bearing*) [2]. Efisiensi dari sistem isolasi seismik pada jembatan dalam melindungi struktur sudah terbukti dengan menggunakan LRB dan FPB [3].

Analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu sering digunakan sebagai metode untuk menganalisis respon seismik dari jembatan [10]. Metode respon spektrum adalah metode sederhana untuk menghitung nilai maksimum respon seismik struktur, sementara metode riwayat waktu cocok untuk struktur jembatan yang tidak beraturan.

Penelitian ini menggunakan kedua metode analisis untuk mengevaluasi sejumlah kondisi seperti variasi geometri alinyemen

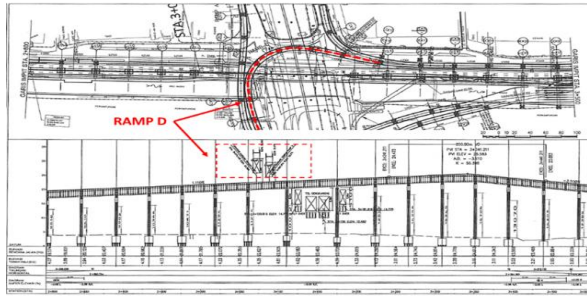
jembatan, perletakan LRB atau FPB, dan beban dinamis terhadap perilaku respon struktur yang dihasilkan

Tinjauan struktur tol dalam Kota Jakarta

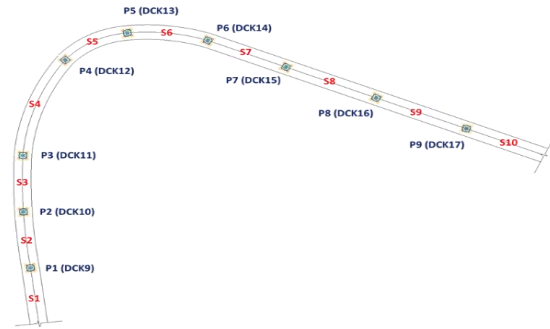
Struktur jembatan yang ditinjau berada pada Cengkareng *Junction Ramp D* (Pilar DCK9 sampai dengan Pilar DCK17) Proyek Pembangunan 6 (Enam) Ruas Tol Dalam Kota Jakarta Tahap 1 Seksi B.

Struktur jembatan terdiri dari 10 span dengan konfigurasi panjang bentang dengan radius yang bervariasi.

Spesifikasi material yang digunakan adalah beton f_c 40 Mpa untuk PC Box Girder dan *Pier Head*, serta f_c 30 Mpa untuk Kolom Pilar.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Cengkareng Junction Ramp D, (b) Layout Alinyemen Jembatan

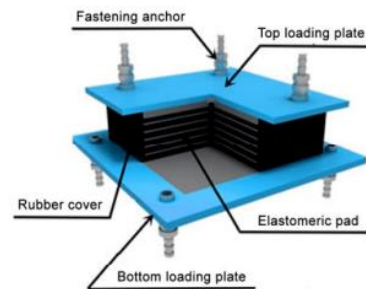
Tabel 1. Panjang Bentang dan Radius Jembatan

Span	Panjang Bentang	Radius
	[m]	
S1	35	
S2	35	
S3	35	365
S4	63	175.744
S5	36	48.9953
S6	41	68.5798
S7	43	153.78
S8	50	
S9	50	
S10	42.5	

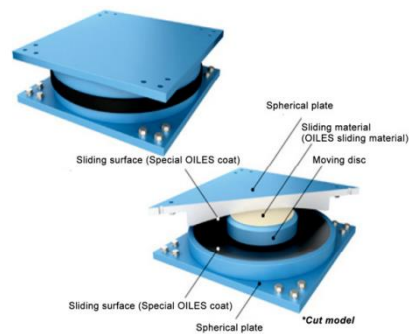
FPB memiliki mekanisme kerja sama seperti bandul sederhana menggunakan geometri dan gravitasi untuk menghasilkan peredam gempa. Sistem ini juga memiliki kemampuan *recentering* yang memungkinkan struktur untuk tetap berada pada tempatnya setelah gempa berakhir. Ketika gempa terjadi, *slider* bergerak sepanjang permukaan cekung, dengan adanya tahanan friksi pada kedua permukaan dapat memberikan gaya pemulihan dalam sistem [6].

LRB (Lead Rubber Bearing) dan FPB (Friction Pendulum Bearing)

LRB terbuat dari paduan lapisan karet dan baja, dengan bagian tengahnya terdapat rongga berupa lead dari perunggu. Lapisan karet divulkanisir dan dilaminasi diantara lapisan baja sehingga bisa bergerak ke semua arah horizontal dan mampu menahan beban aksial. *lead* perunggu berfungsi sebagai tempat penyerap energi sehingga mampu mengurangi gaya gempa dan perpindahan [7].



(a)

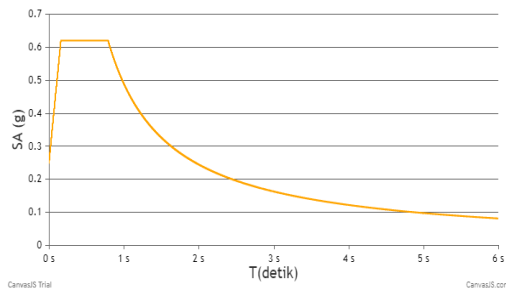


(b)

Gambar 2. (a) LRB, dan (b) FPB

Beban gempa respon spektra dan beban gempa riwayat waktu

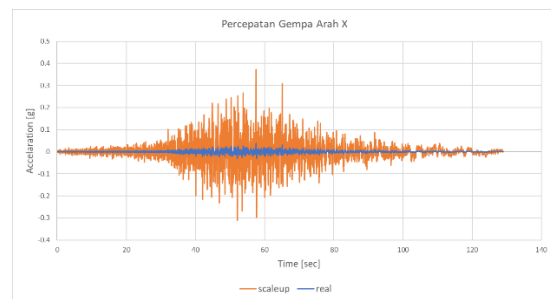
Beban gempa respon spektra dan parameternya menggunakan karakteristik kegempaan untuk wilayah DKI Jakarta.



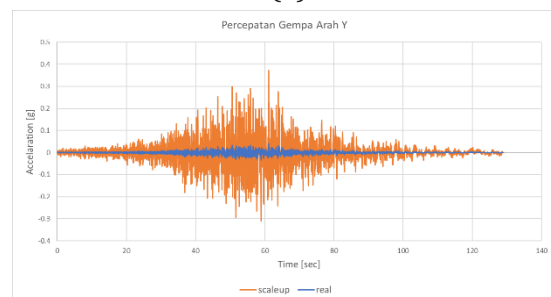
Gambar 3. Respon Spektra Jakarta untuk Kondisi Tanah Sedang

Data beban gempa riwayat waktu menggunakan rekaman gempa Bengkulu (*Earthquake Southern Sumatra 2007-09-12 11:10:00 UTC*). Data tersebut diperoleh dari portal USGS.

Nilai percepatan gempa yang didapatkan dari data USGS nilai nya masih terlalu kecil sehingga dilakukan proses *scaleup* disesuaikan dengan PGA wilayah Jakarta.



(a)



(b)

Gambar 4. Grafik Percepatan Gempa Bengkulu (a) Arah-x dan (b) Arah-y

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian

Untuk mendapatkan hasil analisis perbandingan pengaruh penggunaan LRB dan FPB pada struktur jembatan, proses pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa studi kasus.

- Kasus-1: Jembatan dengan perletakan *fixed bearing*, dengan beban gempa respon spektra.
- Kasus-2: Jembatan dengan perletakan LRB, dengan beban gempa riwayat waktu.
- Kasus-3: Jembatan dengan perletakan FPB, dengan beban gempa riwayat waktu.

Proses analisis terlebih dahulu dilakukan terhadap kasus-1 untuk mendapatkan nilai respon strukturnya.

Selanjutnya hasil respon struktur kasus-1 berupa berat struktur dan nilai perpindahan dari bagian atas pilar maksimum digunakan untuk melakukan perhitungan kebutuhan dimensi LRB dan FPB.

Setelah dimensi LRB dan FPB diketahui, maka analisis dilakukan terhadap kasus-2 dan kasus-3, untuk mendapatkan nilai respon struktur maksimum dari setiap studi kasus.

Dilakukan perbandingan terhadap nilai respon struktur pada setiap studi kasus berdasarkan kombinasi pembebanan yang terjadi. Nilai respon struktur yang ditinjau adalah perpindahan pada bagian atas pilar, gaya geser dasar, gaya momen pada bagian bawah pilar, dan gaya normal.

Pemodelan sistem struktur jembatan

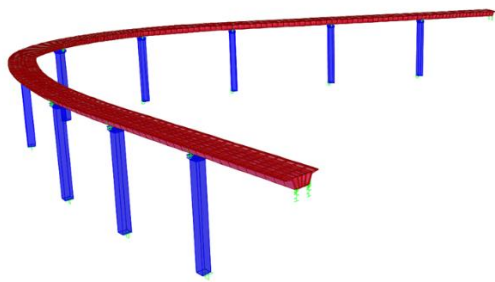
Struktur jembatan yang digunakan dalam merupakan struktur jembatan multispans dengan panjang bentang dan radius lengkung yang bervariasi.

Model jembatan memiliki elevasi atas jembatan 33.25 m, dengan ketinggian kolom pilar adalah 30 m.

Bentuk potongan struktur *box girder* model disesuaikan dengan standar AASHTO, yakni *Concrete Box Girder* –

AASHTO – PCI – ASBII dengan tinggi girder 2.7 meter, dan lebar span 9 m.

Pada kolom pilar menggunakan ukuran 2.5m x 2.5m. Sedangkan pada *pier head* terdapat variasi bentuk potongan struktur sehingga dibuatkan 2 tipe potongan struktur dengan ukuran 0.75 m x 2.5 m pada bagian ujung dan 1.5 m x 2.5 m pada bagian tengahnya.



Gambar 5. Pemodelan Struktur Jembatan

Perletakan sendi sempurna (*fixed bearing*)

Pada tahap awal struktur jembatan yang dimodelkan menggunakan perletakan sendi sempurna (*fixed bearing*) dan akan

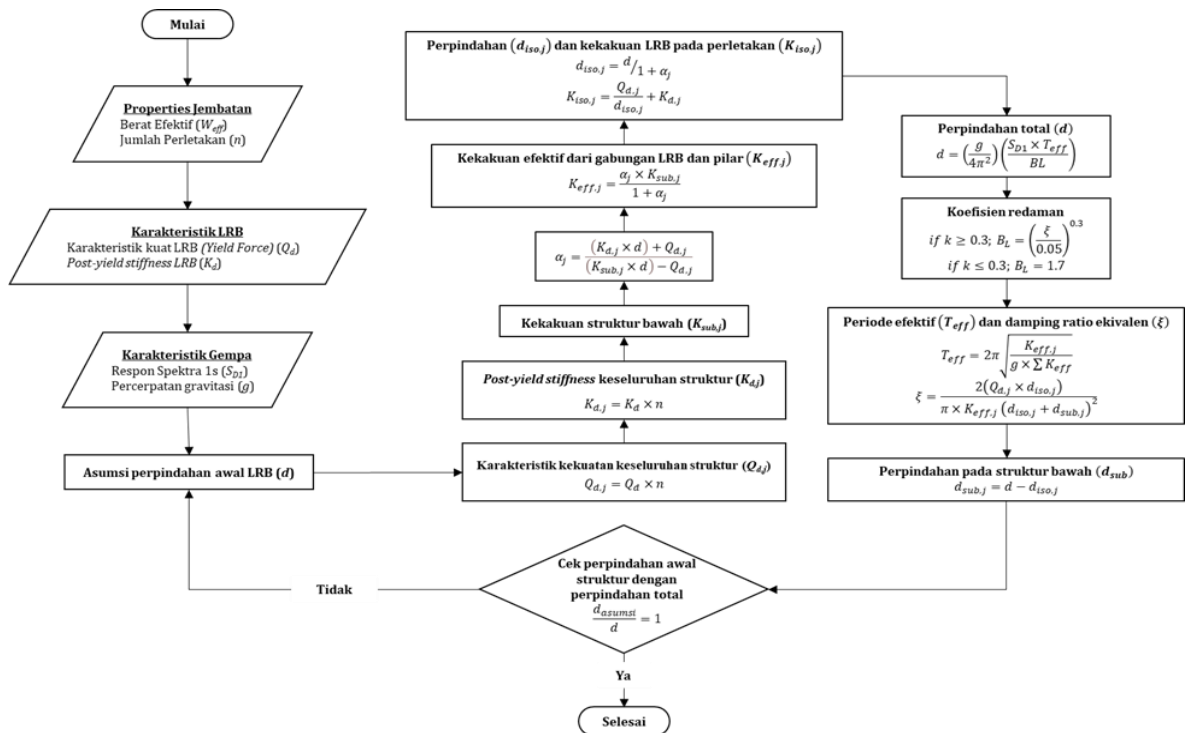
dilakukan analisis terhadap output hasil respon strukturnya.

Desain dimensi LRB

Proses perencanaan dimensi LRB pada penelitian ini dilakukan berdasarkan rumus perhitungan LRB menurut [1] dengan melakukan iterasi untuk mendapatkan kesamaan antara nilai perpindahan awal dan akhir dari LRB berdasarkan berat efektif struktur yang digunakan.

Tabel 2. Properti Material LRB

Properti	Besaran	Satuan
Kekakuan Efektif U1	3737	[kN/m]
Kekakuan Efektif U2 & U3	4.1	[kN/m]
Redaman Efektif U2 & U3	23%	
Yield Displacement	15	[mm]
Yield Strength	366	kN



Gambar 6. Diagram Alur Perhitungan Desain Dimensi LRB

Desain dimensi FPB

Analisis desain dimensi perletakan jembatan FPB mengacu kepada [4]. Proses perhitungan dilakukan secara iterasi hingga mendapatkan nilai yang sama antara perpindahan awal dan akhir.

Tabel 3. Properti Non-Linier FPB

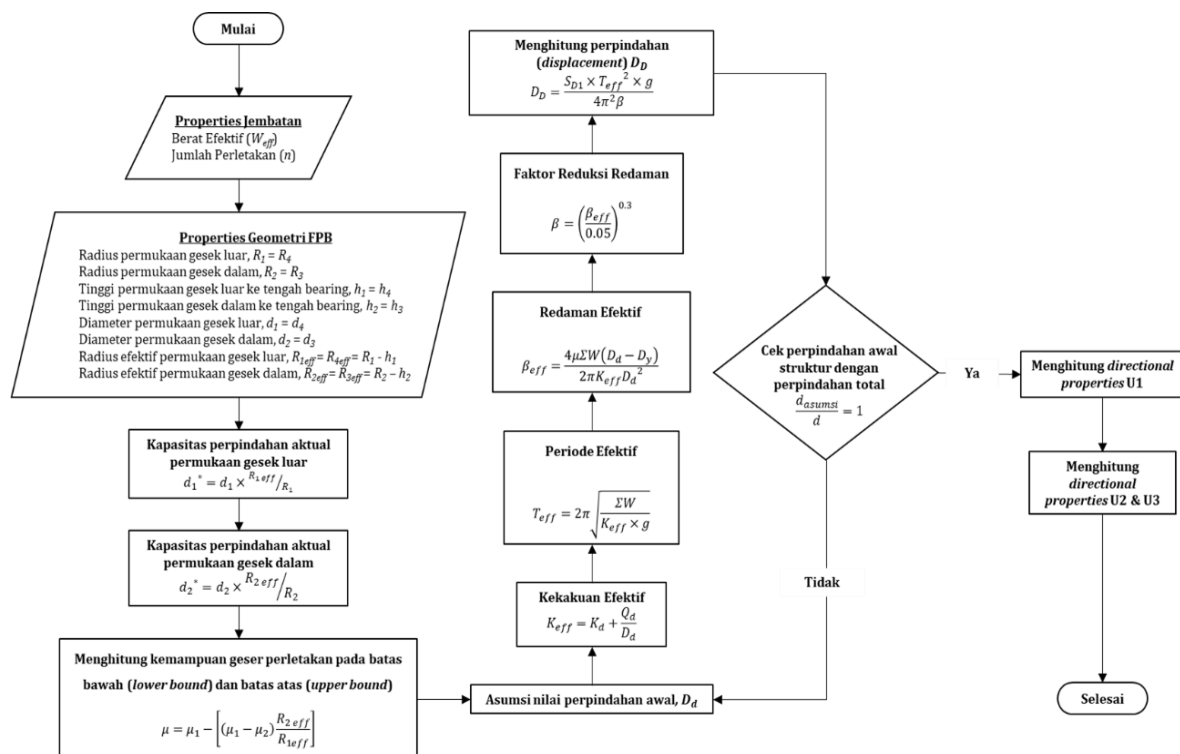
Properti	Satuan	Besaran	
		Sisi Dalam	Sisi Luar
Kekakuan permukaan	[Ton /m]	4373.5	2624.8
Friction co. Slow		0.07508	0.0451
Friction co. Fast		0.15017	0.0901
Parameter Rating		0.5	0.5
Radius permukaan gesek	[m]	2.435	0.297
Jarak henti	[m]	2.08806	0.0923

Tabel 4. Properti Linier Material LRB

Properti	Besaran	Satuan
Massa	0.0256	[Ton . sec ² /m]
Berat	0.2554	[Ton]
Inersia Rotasi	7.643E-08	[m ⁴]
Kekakuan Efektif U1	2245100	[Ton/m]
Redaman Efektif U1	29.68%	
Kekakuan Efektif U2, U3	733.459	[Ton/m]
Kekakuan Efektif U1, U3	29.68%	

Pembebanan dan kombinasi beban

Beban yang bekerja pada struktur didasarkan pada [8]. Beban mati dihitung berdasarkan berat keseluruhan struktur. Beban mati tambahan berasal dari komponen non-struktural. Beban kendaraan berasal dari terdiri dari beban lajur, beban truk, beban sentrifugal, dan beban rem.



Gambar 7. Diagram Alur Perhitungan Desain Dimensi FPB

Beban gempa yang bekerja pada struktur didasarkan pada [9]. Nilai beban gempa di-input untuk arah-x maupun arah-y.

Kombinasi pembebanan merujuk kepada [9], yakni tipe Kuat I, Kuat IV, dan Ekstreme I, sehingga kombinasi beban yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{COMB1} = \text{DL} + \text{SDL}$$

$$\text{COMB2} = 1.2\text{DL} + 2\text{SDL}$$

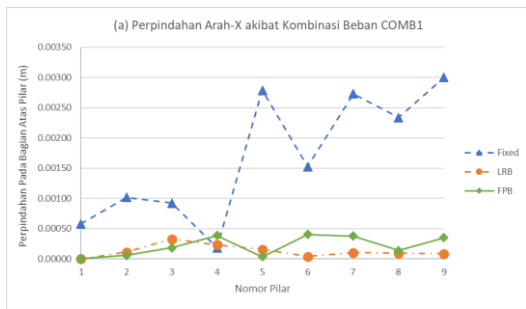
$$\text{COMB3} = \text{COMB2} + 1.8(\text{TD} + \text{TR} + \text{TB})$$

$$\text{COMB4} = \text{COMB3} + \text{EQX} + 0.3 \text{EQY}$$

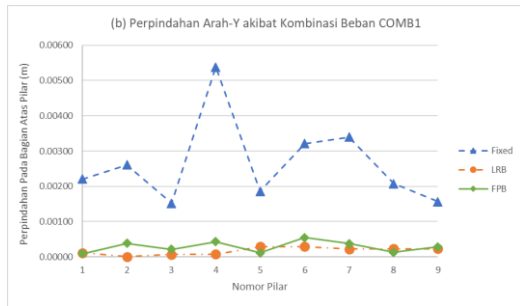
$$\text{COMB5} = \text{COMB3} + 0.3 \text{EQX} + \text{EQY}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perpindahan pada bagian atas pilar

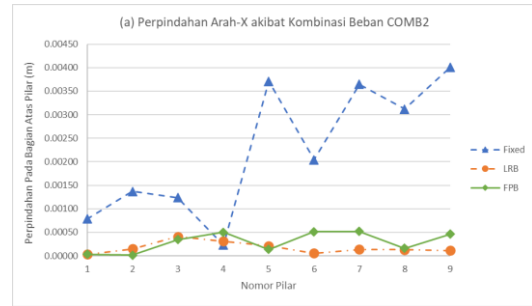


(a) Perpindahan arah-x

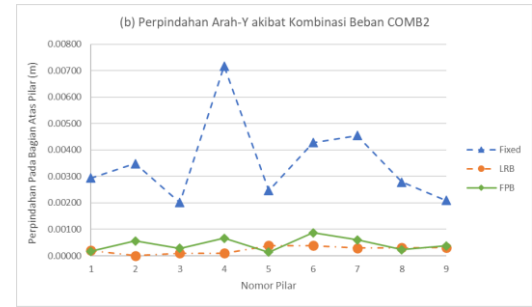


(b) Perpindahan arah-y

Gambar 8. Nilai Perpindahan Pada Bagian Atas Pilar untuk Kombinasi Pembebanan COMB1

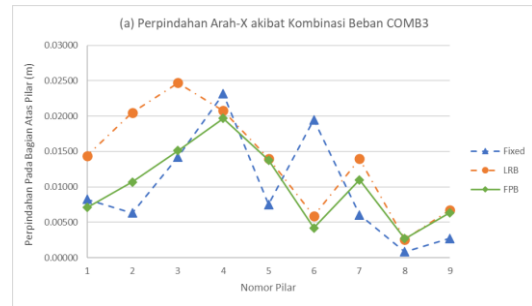


(a) Perpindahan arah-x

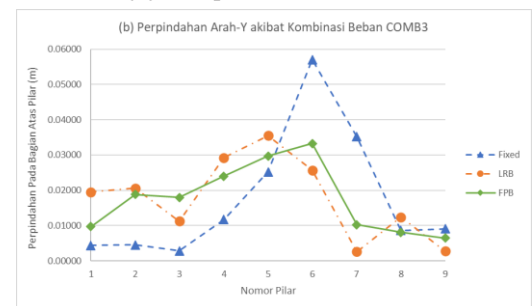


(b) Perpindahan arah-y

Gambar 9. Nilai Perpindahan Pada Bagian Atas Pilar untuk Kombinasi Pembebanan COMB2

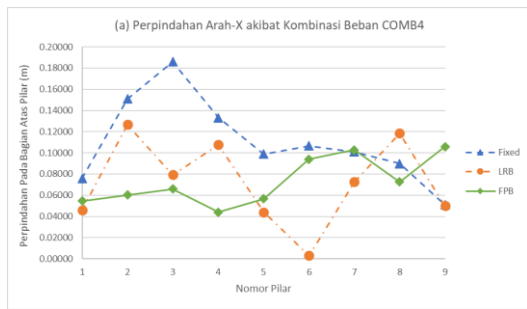


(a) Perpindahan arah-x

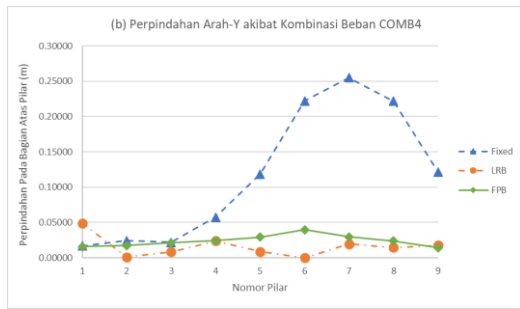


(b) Perpindahan arah-y

Gambar 10. Nilai Perpindahan Pada Bagian Atas Pilar untuk Kombinasi Pembebanan COMB3

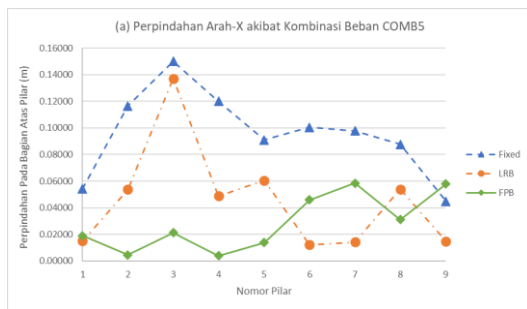


(a) Perpindahan arah-x

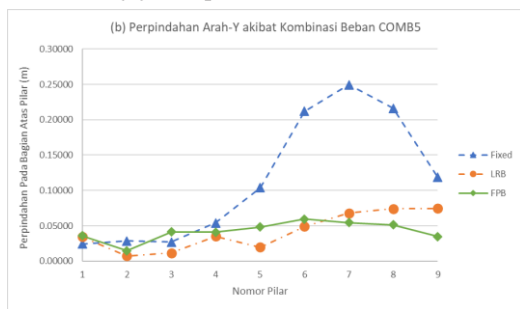


(b) Perpindahan arah-y

Gambar 11. Nilai Perpindahan Pada Bagian Atas Pilar untuk Kombinasi Pembebanan COMB4



(a) Perpindahan arah-x



(b) Perpindahan arah-y

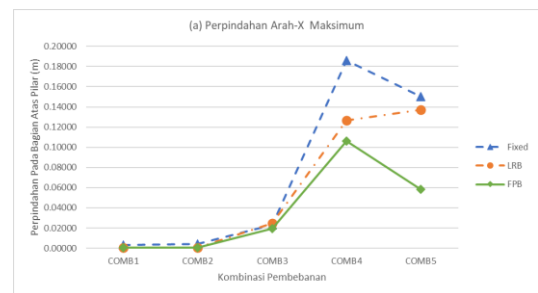
Gambar 12. Nilai Perpindahan Pada Bagian Atas Pilar untuk Kombinasi Pembebanan COMB5

Pada *fixed bearing*, beban vertikal memengaruhi nilai perpindahan pada arah memanjang alinyemen jembatan. Penambahan beban sentrifugal merubah

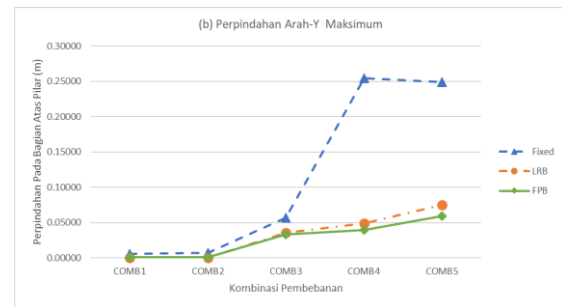
nilai perpindahan maksimum ke pilar yang berada di alinyemen berbelok. Ketika beban gempa diterapkan baik dalam arah-x maupun arah-y, perpindahan lateral di alinyemen jembatan meningkat, dan perpindahan di alinyemen berbelok juga bertambah.

Pada penggunaan LRB adanya beban vertikal, sentrifugal dan gempa memiliki dampak signifikan pada perpindahan lateral alinyemen dan pada alinyemen berbelok. Dalam kedua kondisi ini, perpindahan mencapai nilai maksimum.

Sementara itu, pada penggunaan FPB nilai perpindahan maksimum berada pada arah memanjang alinyemen jembatan dan pada kondisi alinyemen berbelok untuk semua kondisi pembebanan.



(a) Perpindahan maksimum arah-x



(b) Perpindahan maksimum arah-y

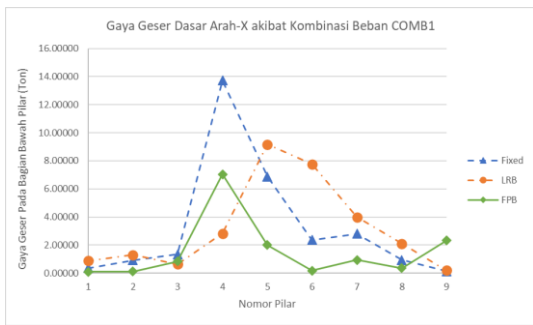
Gambar 13. Nilai Perpindahan Maksimum di Setiap Kombinasi Beban

Tabel 5. Perbandingan Pengaruh LRB dan FPB pada Nilai Perpindahan Maksimum

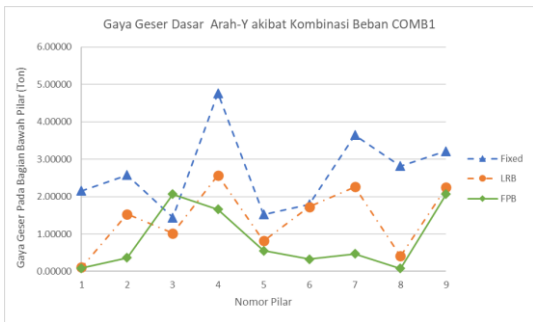
COMB	Persentase perubahan nilai respon struktur terhadap penggunaan fixed bearing	
	LRB	FPB
COMB1	89% - 95%	87% - 90%
COMB2	90% - 95%	87% - 88%

COMB	Persentase perubahan nilai respon struktur terhadap penggunaan fixed bearing	
	LRB	FPB
COMB3	(-7)% - 38%	15% - 42%
COMB4	32% - 81%	43% - 84%
COMB5	9% - 70%	61% - 76%

Gaya geser dasar

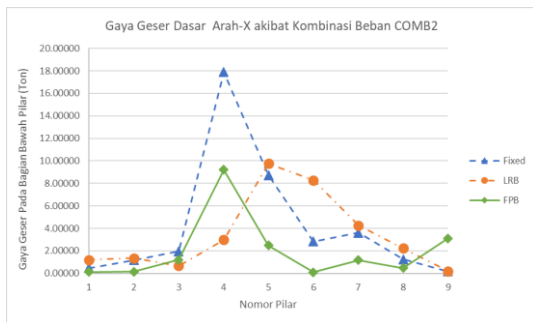


(a) Gaya geser arah-x

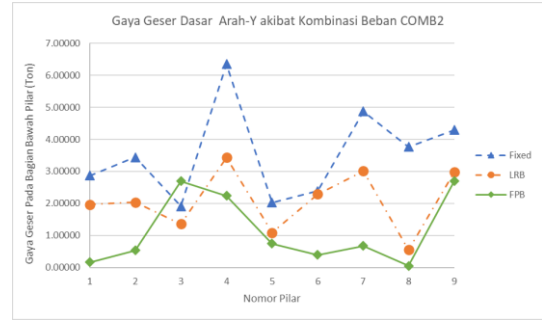


(b) Gaya geser arah-y

Gambar 14. Nilai Gaya Geser Dasar untuk Kombinasi Pembebanan COMB

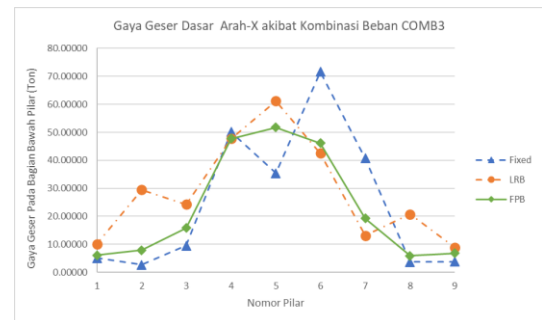


(a) Gaya geser arah-x

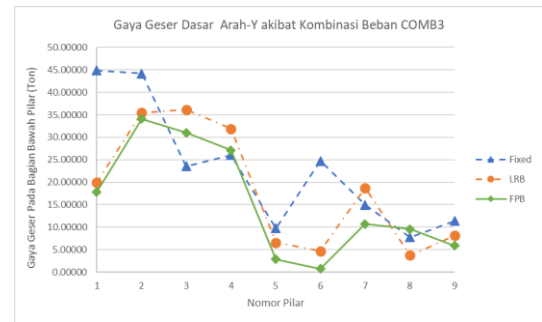


(b) Gaya geser arah-y

Gambar 15. Nilai Gaya Geser Dasar untuk Kombinasi Pembebanan COMB2

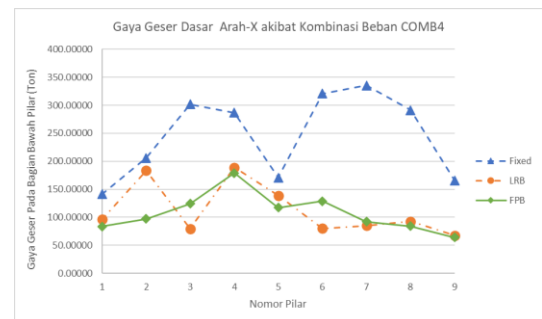


(a) Gaya geser arah-x

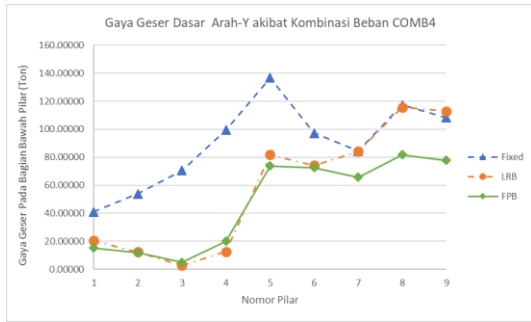


(b) Gaya geser arah-y

Gambar 16. Nilai Gaya Geser Dasar untuk Kombinasi Pembebanan COMB3

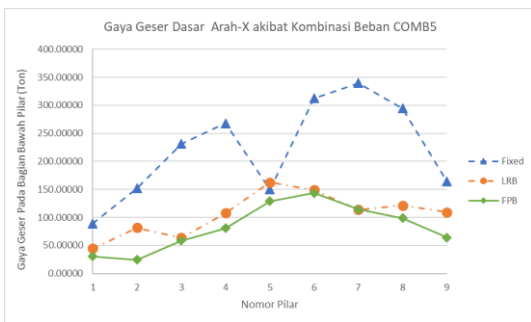


(a) Gaya geser arah-x

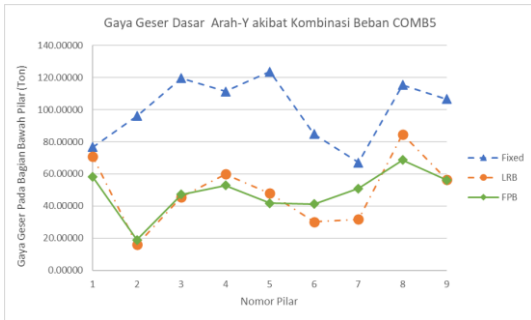


(b) Gaya geser arah-y

Gambar 17. Nilai Gaya Geser Dasar untuk Kombinasi Pembebanan COMB4



(a) Gaya geser arah-x



(b) Gaya geser arah-y

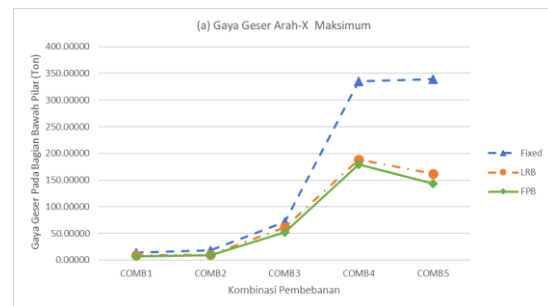
Gambar 18. Nilai Gaya Geser Dasar untuk Kombinasi Pembebanan COMB5

Nilai respon struktur gaya geser yang terjadi sangat dipengaruhi oleh alinyemen berbelok dan gaya geser yang memanjang arah alinyemen. Pada *fixed bearing* adanya beban vertikal menghasilkan nilai gaya geser arah-x dan arah-y maksimum pada pilar dialinyemen berbelok. Kemudian adanya beban kendaraan pada alinyemen dan beban sentrifugal pada alinyemen berbelok menghasilkan nilai gaya geser arah-x maksimum bukan hanya pada kondisi alinyemen berbelok tetapi juga pada alinyemen yang memanjang gaya geser arah-y. Adanya beban gempa juga

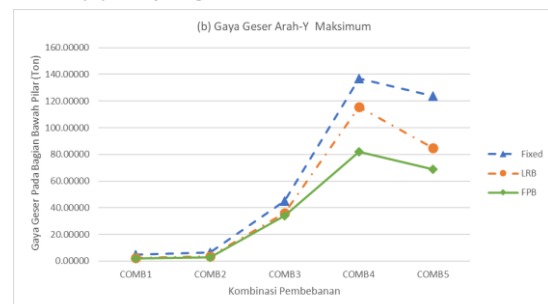
memberikan nilai gaya geser arah-y maksimum pada kondisi alinyemen berbelok dan pada alinyemen yang memanjang gaya geser arah-x.

Pada LRB respon struktur akibat adanya beban dari berat struktur menghasilkan nilai gaya geser arah-x dan arah-y maksimum pada alinyemen berbelok. Adanya beban kendaraan, beban sentrifugal, dan beban gempa juga menghasilkan nilai gaya geser arah-x maksimum pada kondisi alinyemen berbelok dan alinyemen memanjang gaya geser arah-y.

Pada penggunaan FPB respon struktur dari berat struktur menghasilkan nilai gaya geser arah-x maksimum pada alinyemen berbelok, sedangkan untuk arah-y nilai respon gaya geser adalah paling minimum pada alinyemen berbelok. Adanya beban kendaraan, beban sentrifugal, dan beban gempa juga menghasilkan nilai gaya geser arah-x maksimum pada kondisi alinyemen berbelok dan alinyemen memanjang gaya geser arah-y.



(a) Gaya geser maksimum arah-x



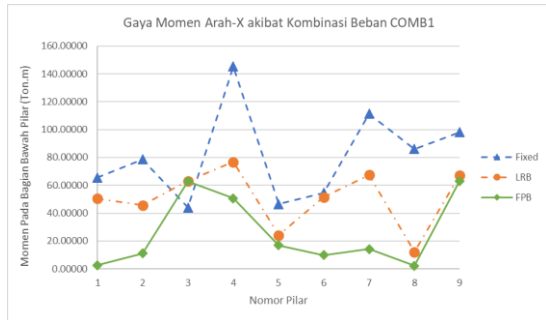
(b) Gaya geser maksimum arah-y

Gambar 19. Nilai Gaya Geser Dasar Maksimum di Setiap Kombinasi Beban

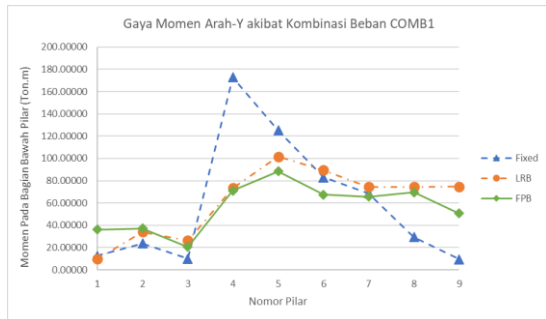
Tabel 6. Perbandingan Pengaruh LRB dan FPB pada Nilai Gaya Geser Dasar Maksimum

COMB	Persentase perubahan nilai respon struktur terhadap penggunaan fixed bearing	
	LRB	FPB
COMB1	33% - 46%	49% - 57%
COMB2	45% - 46%	49% - 57%
COMB3	15% - 19%	24% - 28%
COMB4	15% - 44%	40% - 47%
COMB5	32% - 52%	45% - 58%

Gaya momen

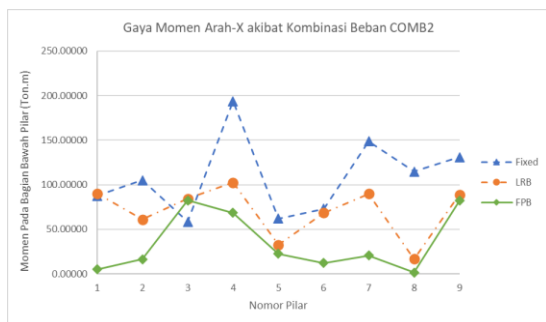


(a) Gaya momen arah-x

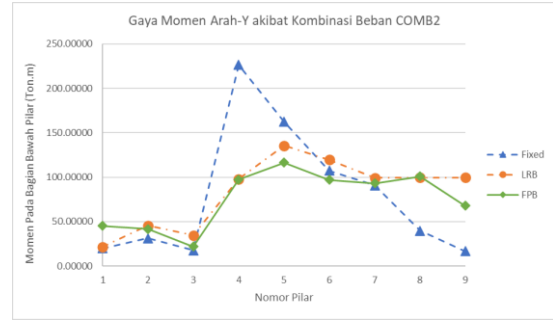


(b) Gaya momen arah-y

Gambar 20. Nilai Momen untuk Kombinasi Pembebanan COMB1

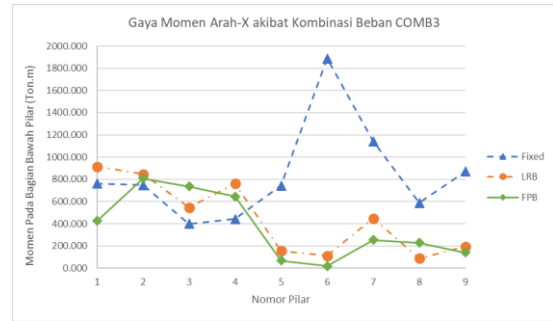


(a) Gaya momen arah-x

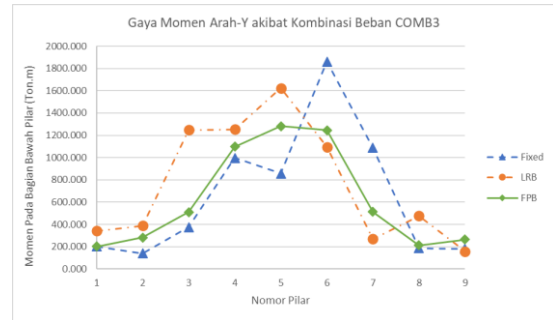


(b) Gaya momen arah-y

Gambar 21. Nilai Momen untuk Kombinasi Pembebanan COMB2

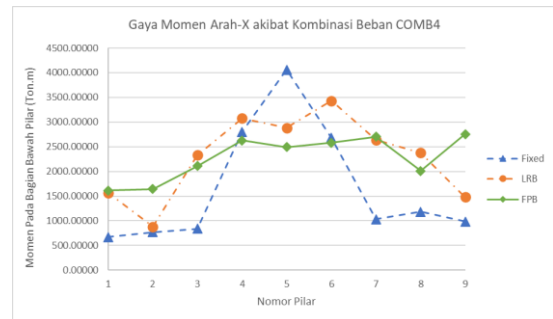


(a) Gaya momen arah-x

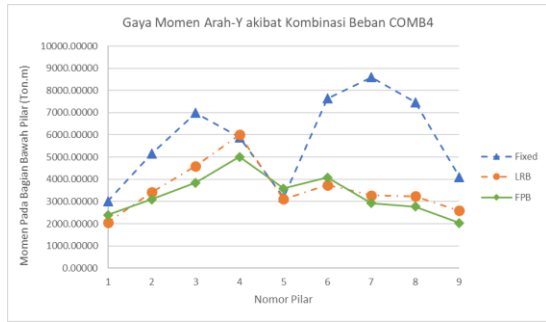


(b) Gaya momen arah-y

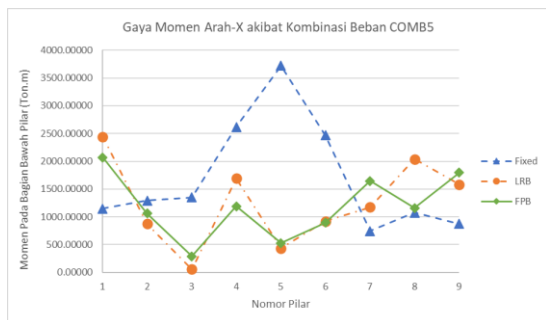
Gambar 22. Nilai Momen untuk Kombinasi Pembebanan COMB3



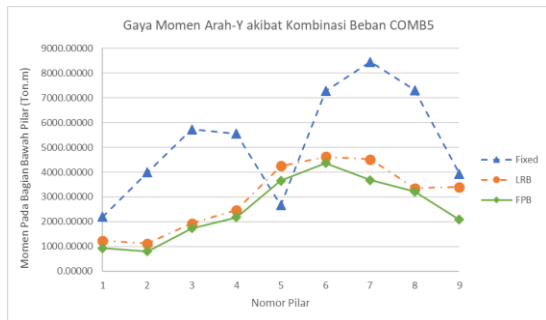
(a) Gaya momen arah-x



(b) Gaya momen arah-y
 Gambar 23. Nilai Momen untuk Kombinasi Pembebanan COMB4



(a) Gaya momen arah-x



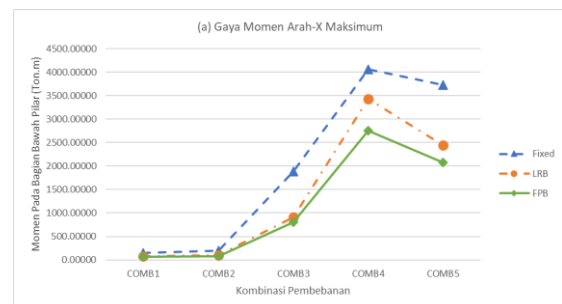
(b) Gaya momen arah-y
 Gambar 24. Nilai Momen untuk Kombinasi Pembebanan COMB5

Berdasarkan hasil respon struktur gaya momen yang terjadi akibat beberapa kombinasi pembebanan, dapat diketahui bahwa nilai momen maksimum terjadi pada kondisi alinyemen berbelok dan alinyemen yang lateral terhadap arah gaya.

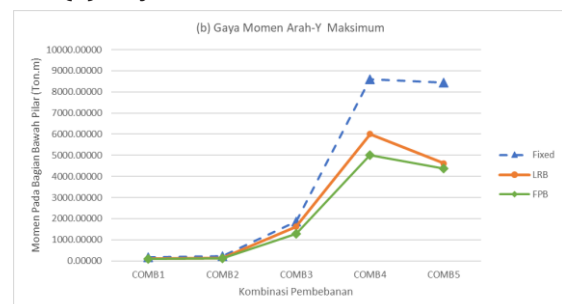
Pada *fixed bearing*, kondisi pembebanan berat struktur dan beban kendaraan serta sentrifugal menghasilkan nilai maksimum gaya momen pada posisi alinyemen berbelok untuk arah-x maupun arah-y. Adanya pembebanan gempa membuat

nilai maksimum gaya momen arah-y berpindah ke alinyemen yang lateral terhadap arah gaya.

Pada LRB dan FPB nilai kombinasi beban dari berat struktur dan beban menghasilkan nilai maksimum gaya momen pada kondisi alinyemen berbelok untuk arah-x maupun arah-y. Adanya beban kendaraan dan sentrifugal merubah nilai gaya momen maksimum yang terjadi sehingga nilai momen maksimum yang terjadi berada pada alinyemen yang lateral terhadap arah gaya. Perubahan nilai maksimum gaya momen juga terjadi ketika pada kondisi pembebanan gempa arah-x maupun arah-y. Beban gempa arah-x menghasilkan nilai momen maksimum pada kondisi alinyemen berbelok, sedangkan beban gempa arah-y menghasilkan momen maksimum pada kondisi alinyemen yang lateral terhadap arah gaya untuk momen arah-x dan alinyemen berbelok untuk momen arah-y.



(a) Gaya momen maksimum arah-x



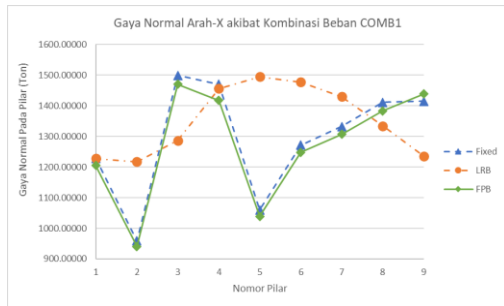
(b) Gaya momen maksimum arah-y

Gambar 25. Nilai Gaya Momen Maksimum di Setiap Kombinasi Beban

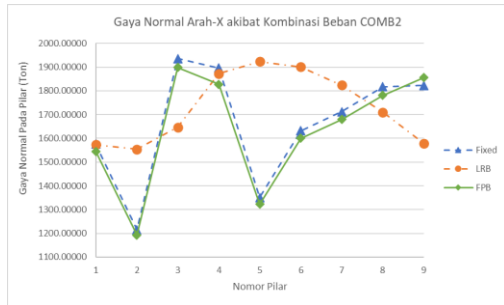
Tabel 7. Perbandingan Pengaruh LRB dan FPB pada Nilai Gaya Momen Maksimum

COMB	Persentase perubahan nilai respon struktur terhadap penggunaan fixed bearing	
	LRB	FPB
COMB1	41% - 47%	49% - 57%
COMB2	40% - 47%	49% - 57%
COMB3	13% - 52%	31% - 57%
COMB4	15% - 30%	32% - 42%
COMB5	34% - 45%	44% - 48%

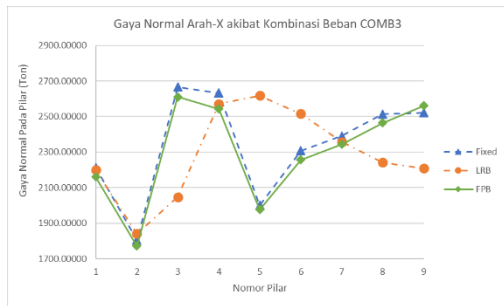
Gaya normal



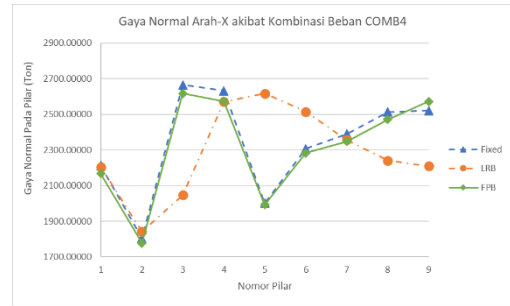
Gambar 26. Nilai Gaya Normal COMB1



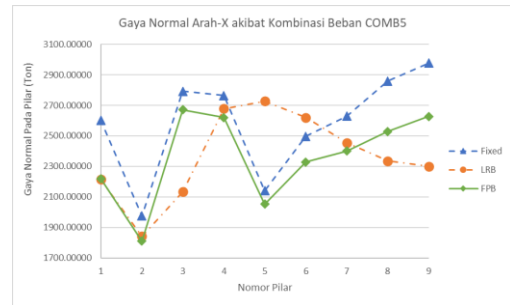
Gambar 27. Nilai Gaya Normal COMB2



Gambar 28. Nilai Gaya Normal COMB3

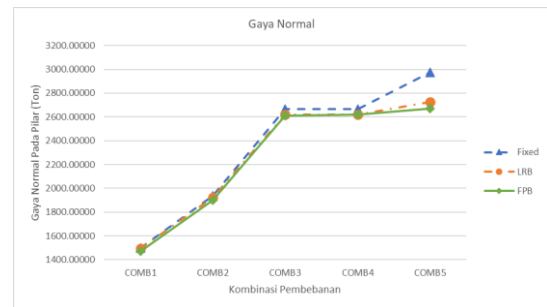


Gambar 29. Nilai Gaya Normal COMB4



Gambar 30. Nilai Gaya Normal COMB5

Perubahan nilai gaya normal maksimum juga dipengaruhi oleh kondisi alinyemen berbelok. Pada *fixed bearing* dan FPB alinyemen berbelok memberikan nilai gaya normal yang paling kecil, sedangkan pada LRB nilai gaya normal maksimum terjadi pada alinyemen berbelok.



Gambar 31. Nilai Gaya Normal Maksimum di Setiap Kombinasi Beban

Tabel 8. Perbandingan Pengaruh LRB dan FPB Pada Nilai Gaya Momen Maksimum

COMB	Persentase perubahan nilai respon struktur terhadap penggunaan fixed bearing	
	LRB	FPB
COMB1	0%	2%

COMB2	1%	2%
COMB3	2%	2%
COMB4	2%	2%
COMB5	8%	10%

Ringkasan analisis

Hasil ringkasan analisis berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Ringkasan Analisis

No	Respon Struktur	Tinjauan	LRB	FPB
1	Perpindahan pada bagian atas pilar	Bentuk alinyemen terhadap respon struktur	Alinyemen berbelok dan Alinyemen yang lateral terhadap arah respon struktur memberikan nilai respon struktur maksimum	Alinyemen berbelok dan Alinyemen yang memanjang terhadap arah respon struktur memberikan nilai respon struktur maksimum
		Perubahan nilai respon struktur maksimum	81%	84%
2	Gaya geser pada bagian bawah pilar	Bentuk alinyemen terhadap respon struktur	Alinyemen berbelok dan Alinyemen yang memanjang terhadap arah respon struktur memberikan nilai respon struktur maksimum	Alinyemen berbelok dan Alinyemen yang memanjang terhadap arah respon struktur memberikan nilai respon struktur maksimum
		Perubahan nilai respon struktur maksimum	52%	58%
3	Momen pada bagian bawah pilar	Bentuk alinyemen terhadap respon struktur	Alinyemen berbelok dan Alinyemen yang lateral terhadap arah respon struktur memberikan nilai respon struktur maksimum	Alinyemen berbelok dan Alinyemen yang lateral terhadap arah respon struktur memberikan nilai respon struktur maksimum
		Perubahan nilai respon struktur maksimum	45%	48%
4	Gaya Normal pada pilar	Bentuk alinyemen terhadap respon struktur	Alinyemen berbelok dan memberikan nilai respon struktur maksimum	Alinyemen berbelok dan memberikan nilai respon struktur minimum
		Perubahan nilai respon struktur maksimum	8%	10%

4. KESIMPULAN

Desain dimensi LRB dan FPB dipengaruhi oleh beban efektif struktur dan perpindahan awal sebagai asumsi awal perhitungan. Sehingga bentuk struktur jembatan dengan alinyemen dan panjang bentang yang berbeda dapat memengaruhi berat struktur dan perpindahan yang terjadi akibat kombinasi beban dalam arah-x dan arah-y. Oleh karena itu, ukuran LRB dan FPB dapat bervariasi sesuai dengan bentuk alinyemen jembatan. Namun, dalam penelitian ini, digunakan beban efektif dan nilai perpindahan awal maksimum untuk memahami respons struktur secara maksimal pada seluruh pilar dengan penggunaan LRB dan FPB.

Secara keseluruhan, alinyemen berbelok pada struktur jembatan sangat mempengaruhi nilai respons struktur. Dalam beberapa kasus, respons struktur maksimum terjadi pada pilar yang terletak di alinyemen berbelok.

Penggunaan LRB dan FPB pada struktur jembatan dapat mengurangi nilai respons struktur, terutama saat terjadi gempa. Secara keseluruhan, FPB lebih efektif daripada LRB dalam mengurangi nilai respons struktur, dengan pengurangan sekitar 2%-6%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AASHTO. (2014). Guide Specification for Seismic Isolation Design, 4th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- [2] Adi, M. M., Mochammad Afifuddin, M. A. M. A., & T. Budi Aulia, T. B. A. T. B. A. (2016). "Analisis Gaya Geser Pada Bangunan Menggunakan Base Isolator Sebagai Pereduksi Beban Gempa". *Teras Jurnal*, 6(1), 1.
- [3] Aviram, A., Schellenberg, A., & Stajadinovic, B. (2012). "Seismic design and performance of two isolation system used for reinforced concrete bridge construction". 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), Lisbon (Portugal), 2012-09-24, 19447.
- [4] Constantinou, M. C., Whittaker, A. S. S., Kalpakidis, Y., Fenz, D. M., & Warn, G. P. (2007). "Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading". The Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [5] El-Bayoumi, K. (2015). "Modelling of Triple Friction Pendulum Bearing in SAP2000". *International Journal of Materials and Structural Integrity International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 8(1), 1964-1971.
- [6] Kravchuck, N., Colquhoun, R., & Porbaha, A. (2008). "Development of a Friction Pendulum Bearing Base Isolation System for Earthquake Engineering Education". American Society for Engineering Education Pacific Southwest Annual Conference.
- [7] Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). "Design of Seismic Isolated Structures". John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Standar Nasional Indonesia. (2016). *Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016)*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [9] Standar Nasional Indonesia. (2016). *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa (SNI 2833:2016)*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [10] Wang, L. (2020). "Analysis of Seismic Isolation Effects on a Reverted L-shaped Pier Bridge in High Seismic Intensity Region with Finite Element Simulation". *Journal of Physics: Conference Series*, 1624(2), 022070.