

KEMUNGKINAN PENGGUNAAN *BASE ISOLATION* PADA BANGUNAN SEDERHANA

Andrianto Gunawan¹, Herryanto², Pamuda Pudjisuryadi³, Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : Penelitian sebelumnya oleh Lumantarna dan Pudjisuryadi tentang *friction damper* pada rumah tradisional dengan hubungan kolom kayu yang terletak di atas batu, menunjukkan bahwa sistem *friction base isolation* menghasilkan performa yang baik terhadap beban gempa. Konsep yang dipakai adalah memanfaatkan friksi pada dasar kolom dan pondasi. Konsep *base isolation* ini terbukti dapat mengurangi gaya dalam yang terjadi pada struktur di atasnya. Konsep inilah yang menjadi landasan pada penelitian ini di mana objek bangunan adalah struktur bangunan sederhana yang terbuat dari beton. Penelitian ini membandingkan struktur bangunan sederhana yang hubungan kolom dan sloof ke pondasi diberi angker dan tanpa angker. Permodelan pondasi menggunakan *friction isolator link* pada SAP2000v11. Beban gempa yang digunakan berupa gempa El Centro modifikasi yang disesuaikan dengan SNI 03-1726-2012 untuk kota Palu. Kedua jenis struktur diuji dengan analisa riwayat waktu nonlinear. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *friction isolator link* pada SAP2000v11 dapat digunakan untuk memodelkan sistem *friction base isolation*. Hasil secara keseluruhan menunjukkan bahwa besarnya gaya dalam akibat gempa berkurang pada saat struktur dalam keadaan slip.

KATA KUNCI: *base isolation, friction isolator, gaya dalam, nonlinear riwayat waktu*

1. PENDAHULUAN

Gempa besar yang terjadi di Indonesia pada beberapa tahun terakhir mengakibatkan banyak bangunan tinggi maupun sederhana mengalami kerusakan. Kerusakan biasanya disebabkan oleh pelaksanaan yang kurang baik dan juga gempa yang terjadi terlalu besar sehingga melampaui kapasitas dari bangunan. Penelitian sebelumnya oleh Lumantarna dan Pudjisuryadi (2012) tentang *friction damper* pada rumah tradisional menunjukkan bahwa sistem *friction base isolation* dapat mengurangi gaya dalam yang terjadi pada bangunan di atasnya. Konsep yang dipakai dalam penelitian tersebut pada dasarnya adalah memanfaatkan friksi pada dasar kolom dan pondasi. Dalam penelitian rumah tradisional tersebut, permodelan *friction base isolation* pada kolom dan pondasi menggunakan *plastic wen link* dengan bantuan program SAP2000v11.

Salah satu bukti nyata dari *friction base isolation* yaitu pada waktu terjadi gempa di Nias pada tanggal 28 Maret 2005, rumah tradisional yang tidak diberi angker dimana kolomnya terletak di atas batu, ternyata dapat bertahan dan tidak mengalami kerusakan (Pudjisuryadi, Lumantarna, and Lase, 2007). Sebaliknya, bangunan sederhana yang pada umumnya kolom dan sloofnya diberi angker ke pondasi mengalami kerusakan yang cukup parah. Hal ini yang menjadi landasan bagi peneliti untuk melakukan analisa dengan mengaplikasikan konsep *base isolation* pada struktur bangunan sederhana.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, ag_young@hotmail.co.id

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, herry_7pro@yahoo.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Krsiten Petra, pamuda@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@petra.ac.id

Penelitian ini membandingkan struktur sederhana dari beton yang hubungan sloof dan pondasinya diberi angker dengan struktur tipikal yang hubungan sloof dan pondasinya terletak bebas tanpa angker. Permodelan dasar bangunan dalam penelitian ini menggunakan *friction isolator link* dengan bantuan program SAP2000v11. *Friction isolator link* memiliki keunggulan yaitu mampu membaca gaya normal akibat beban gempa *time history* yang mempengaruhi besarnya tahanan geser, sedangkan pada *plastic wen link* tahanan geser bernilai konstan. Struktur bangunan kemudian dianalisa dengan diberi beban gempa dengan periode ulang 2500 tahun berdasarkan SNI 03-1726-2012.

2. STUDI LITERATUR

Friction base isolation merupakan isolasi dasar suatu struktur dengan memanfaatkan gaya gesek. Konsep pondasi ini secara sederhana telah diterapkan pada rumah-rumah tradisional oleh masyarakat Indonesia pada jaman dulu. Besarnya gaya gesek sebanding dengan gaya normal yang bekerja pada bidang geseknya dan besarnya tidak bergantung pada luas bidang kontak. Besar gaya gesek antara dua buah benda yang bersentuhan dirumuskan seperti pada persamaan 1 dan 2 sebagai berikut :

$$f_s = \mu_s N \quad (1)$$

$$f_k = \mu_k N \quad (2)$$

di mana :

f_s = Gaya gesek maksimum saat benda mulai bergerak (statik)

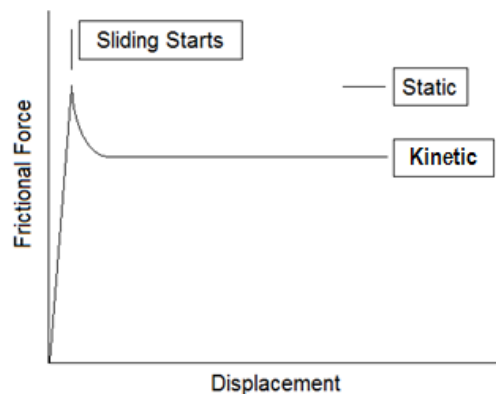
f_k = Gaya gesek saat benda bergerak (kinetik)

μ_s = Koefisien gesek statik

μ_k = Koefisien gesek kinetik

N = Gaya normal pada bidang

Pada umumnya nilai koefisien gesek statik lebih besar dari koefisien gesek kinetik. Besarnya gaya gesek statik bergerak dari nol hingga mencapai nilai maksimum f_s . Bila gaya yang bekerja melebihi gaya gesek maksimum, maka akan terjadi slip pada kedua benda dan gaya gesek yang bekerja menjadi f_k . Ilustrasi gaya gesek dapat dilihat pada **Gambar 1** (Attaway, 1999).



Gambar 1. Ilustrasi Gaya Gesek

Permodelan pondasi yang dipakai pada program SAP2000v11 adalah *Friction Pendulum Isolator* pada **Gambar 2**. Berdasarkan Computer and Structures Inc. (2007), permodelan ini dapat membaca gaya normal akibat beban gempa pada struktur. Hubungan gaya axial dengan deformasi axial dinyatakan dengan rumus :

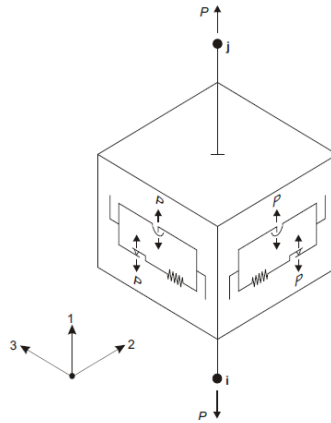
$$P = \begin{cases} k_1 d_{u1} & \text{untuk } d_{u1} < 0 \\ 0 & \text{untuk } d_{u1} \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

di mana:

P = gaya axial yang bekerja pada *support*

k_1 = kekakuan arah vertikal

d_{u1} = deformasi vertikal



Gambar 2. Friction Isolator Property

Untuk gaya geser f_u merupakan kontribusi dari gaya gesek f_{uf} dan gaya pendulum f_{up} yang bekerja secara paralel untuk arah 2 dan 3 pada **Gambar 2**, dirumuskan:

$$\begin{aligned} f_{u2} &= f_{u2f} + f_{u2p} \\ f_{u3} &= f_{u3f} + f_{u3p} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} f_{u2f} &= -P\mu_2 z_2 \\ f_{u3f} &= -P\mu_3 z_3 \end{aligned} \quad (5)$$

di mana z adalah variabel histeretik internal dan μ adalah koefisien gesek yang besarnya dipengaruhi koefisien gesek pada kecepatan nol μ_{slow} (statik) dan koefisien gesek pada saat nilai kecepatan besar μ_{fast} (kinetik), dinyatakan dengan rumus :

$$\begin{aligned} \mu_2 &= \mu_{fast2} - (\mu_{fast2} - \mu_{slow2})e^{-rv} \\ \mu_3 &= \mu_{fast3} - (\mu_{fast3} - \mu_{slow3})e^{-rv} \end{aligned} \quad (6)$$

v merupakan resultan kecepatan pada arah 2 dan 3, dan r merupakan invers kecepatan efektif yang dinyatakan dengan :

$$r = \frac{rate2 v_{u2}^2 + rate3 v_{u3}^2}{v^2} \quad (7)$$

dan $rate$ merupakan invers dari karakteristik kecepatan sliding pada masing-masing arah. Variabel histeretik internal memiliki nilai awal nol dan bertambah menurut persamaan diferensial :

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k_2}{P\mu_2} v_{u2} \\ \frac{k_3}{P\mu_3} v_{u3} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

k_2 dan k_3 adalah kekakuan geser elastik pada arah 2 dan 3 sebelum ada slip yang terjadi bila gaya geser yang membebani melebihi $P\mu$. Seperti pada Persamaan 4 besarnya gaya geser juga dipengaruhi gaya

pendulum dan berdasarkan Computer and Structure Inc. (2007), nilai radius sama dengan nol menggambarkan bidang datar pada *friction isolator*. Gaya pendulum dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned} f_{u2p} &= -P \frac{d_{u2}}{\text{radius } 2} \\ f_{u3p} &= -P \frac{d_{u3}}{\text{radius } 3} \end{aligned} \quad (9)$$

Dinding pengisi dimodelkan sebagai tiga batang tekan untuk menggambarkan bidang kontak dinding dengan balok dan kolom. Lebar batang tekan diambil masing-masing sebesar seperempat lebar total untuk batang tekan tepi dan setengah lebar total untuk batang tekan tengah. Lebar total dihitung menggunakan persamaan dari Paulay dan Priestley (1992):

$$w_s = \frac{d_w}{4} \quad (11)$$

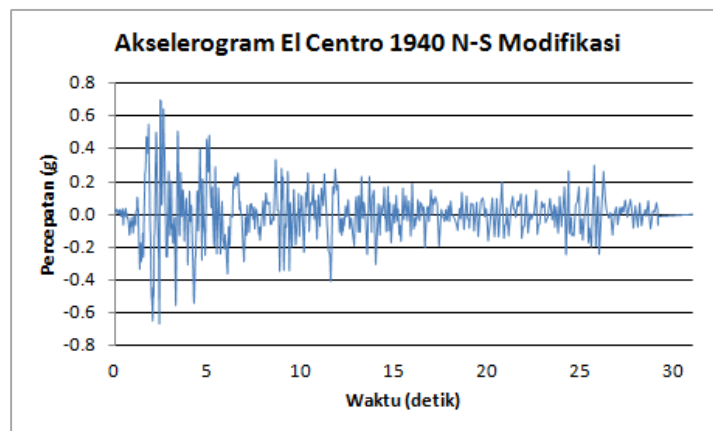
dengan d_w adalah panjang diagonal dinding pengisi. Sedangkan panjang kontak dinding dihitung menggunakan persamaan yang digunakan dalam penelitian Kaushik, Rai, dan Jain (2009) dan merupakan persamaan yang diusulkan Stafford-Smith dan Carter (1969) :

$$\alpha_m = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_c I_c h_m}{E_m t \sin(2\theta)}} \quad (10)$$

dengan E_c dan I_c adalah modulus elastisitas dan momen inersia kolom, E_m adalah modulus elastisitas dinding pengisi, t adalah tebal dinding pengisi, dan h_m adalah tinggi bersih dari dinding pengisi. Besarnya θ adalah sudut yang dibentuk antara diagonal dinding pengisi dengan sumbu horizontal.

3. PROSEDUR PENELITIAN

Struktur dalam penelitian ini adalah bangunan simetris dengan denah berukuran 4 m x 4m dan tinggi 3m. Spesifikasi balok, kolom, dan sloof diambil dari buku panduan Boen dan Rekan (2005). Dinding dimodelkan sebagai tiga batang tekan dengan anggapan bahwa dinding tersebut menutupi struktur bangunan tanpa adanya *opening*. Parameter *friction isolator link* divariasikan seperti pada **Tabel 1**. Beban yang bekerja pada struktur antara lain adalah beban atap, berat sendiri struktur, dan beban gempa untuk kota Palu berupa *time history* yang telah dimodifikasi berdasarkan SNI 03-1726-2012 (**Gambar 3**) dengan bantuan program RESMAT (Lumantarna dan Lukito, 1997).



Gambar 3.Gempa El-Centro yang Telah Dimodifikasi Berdasarkan SNI 03-1726-2012

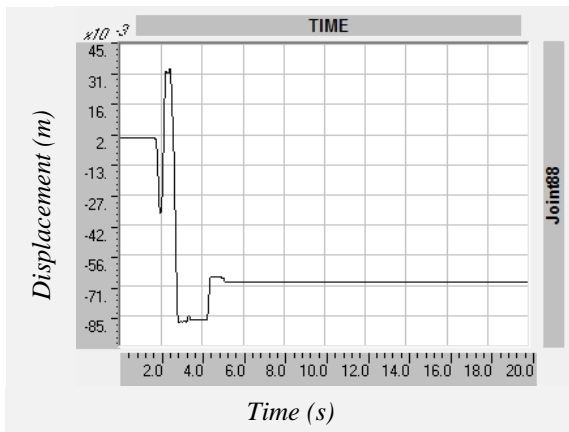
Tabel 1. Variasi Parameter pada *Friction Isolator Link*

| μ slow | μ fast | Rate Parameter (s/m) |
|------------|------------|----------------------|
| 0.4 | 0.2 | 30 |
| | | 20 |
| | | 10 |
| | 0.3 | 30 |
| | | 20 |
| | | 10 |
| 0.4 | - | - |
| | 0.6 | 30 |
| | | 20 |
| 10 | | |
| 0.6 | 0.4 | 30 |
| | | 20 |
| | | 10 |
| | 0.5 | 30 |
| | | 20 |
| | | 10 |
| 0.6 | - | - |
| | 0.8 | 30 |
| | | 20 |
| 10 | | |
| 0.8 | 0.6 | 30 |
| | | 20 |
| | | 10 |
| | 0.7 | 30 |
| | | 20 |
| | | 10 |
| 0.8 | - | - |
| | Fix | |

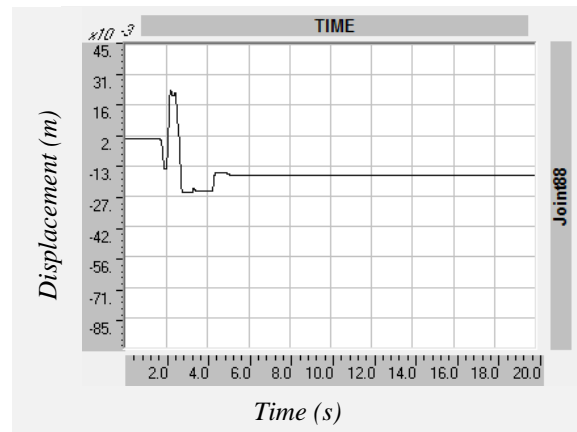
4. HASIL DAN ANALISA

4.1 *Displacement* dengan Koefisien Gesek yang Berbeda

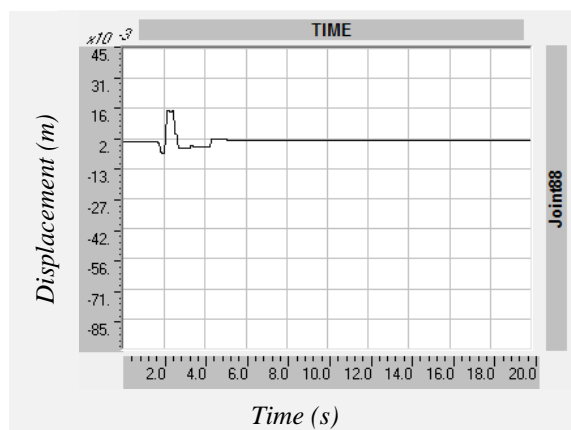
Dari **Gambar 4**, **Gambar 5**, dan **Gambar 6** terlihat bahwa untuk nilai rate parameter dan μ_{slow} yang tetap maka *displacement* yang dihasilkan semakin kecil dengan bertambahnya nilai μ_{fast} . Hal ini disebabkan oleh tahanan gesek pada dasar bangunan yang semakin besar saat struktur mengalami slip.



Gambar 4. *Displacement* untuk $\mu_{slow}=0.4$, $\mu_{fast}=0.2$, dan *Rate Parameter*= 10



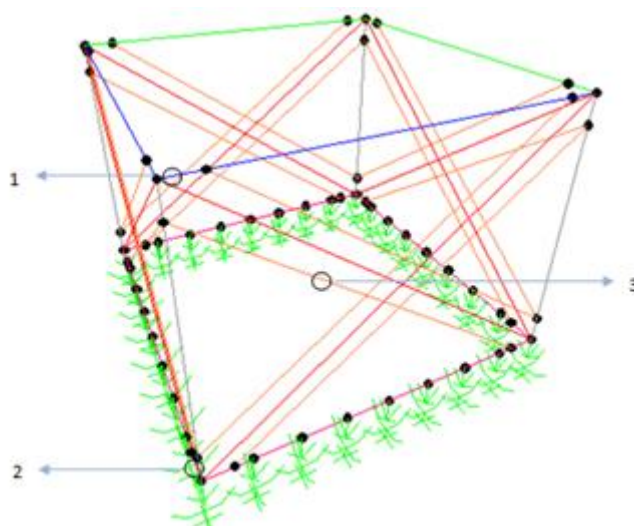
Gambar 5. *Displacement* untuk $\mu_{slow}=0.4$, $\mu_{fast}=0.3$, dan *Rate Parameter*= 10



Gambar 6. Displacement untuk $\mu_{slow} = 0.4$, $\mu_{fast} = 0.4$

4.2 Gaya Dalam yang Terjadi pada Waktu Struktur Mengalami Slip

Permodelan yang dipakai pada penelitian ini adalah struktur yang diberi permodelan dinding dan dipasang *link* pada balok sloof berjarak 0.5 m. Gambar 7 menunjukkan lokasi pada elemen struktur yang diperiksa gaya dalamnya.



Gambar 7. Idelaisasi Struktur pada SAP2000v11

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa apabila nilai μ_{slow} dan μ_{fast} diambil sama maka gaya dalam berupa momen yang dihasilkan saat struktur mengalami slip akan mengecil seiring dengan koefisien gesek yang kecil. Tabel 4 menunjukkan gaya dalam axial pada strut mengecil apabila koefisien gesek yang dipakai juga semakin kecil. Struktur yang menggunakan koefisien gesek yang kecil dapat mengalami slip sehingga saat terjadi slip terjadi pengurangan gaya dalam baik pada kolom, balok, sloof, maupun strut. Konsep ini sesuai dengan konsep *base isolation* dimana pada saat gempa terjadi akan terjadi redaman berupa gesekan pada sloof dengan fondasi batu kali.

Untuk variasi rate parameter, μ_{slow} dan μ_{fast} yang berbeda-beda, nilai yang dihasilkan bervariasi dan tidak mengikuti pola yang diharapkan. Peneliti mencurigai bahwa analisa secara *nonlinier* dapat menyebabkan hasil yang tidak sesuai pola karena banyaknya parameter-parameter yang mempengaruhi.

Tabel 2. Momen Balok pada Lokasi Nomor 1

| Momen pada Bagian Kiri Balok 129 | | | | | |
|----------------------------------|------------|----------------|------------|------------|---------|
| μ slow | μ fast | Rate Parameter | Mmax (kNm) | Mmin (kNm) | |
| 0.4 | 0.2 | 30 | -0.1404 | -0.2101 | |
| | | 20 | -0.0943 | -0.2127 | |
| | | 10 | -0.0954 | -0.2088 | |
| | 0.3 | 30 | -0.1487 | -0.2099 | |
| | | 20 | -0.1030 | -0.2091 | |
| | | 10 | -0.1213 | -0.2090 | |
| | 0.4 | - | -0.1463 | -0.2087 | |
| | 0.6 | 0.4 | 30 | -0.1301 | -0.2089 |
| | | | 20 | -0.1275 | -0.2089 |
| 10 | | | -0.1238 | -0.2089 | |
| 0.5 | | 30 | -0.1253 | -0.2089 | |
| | | 20 | -0.1237 | -0.2089 | |
| | | 10 | -0.1231 | -0.2089 | |
| 0.6 | | - | -0.1227 | -0.2088 | |
| 0.8 | | 0.6 | 30 | -0.1087 | -0.2090 |
| | | | 20 | -0.1087 | -0.2090 |
| | 10 | | -0.1087 | -0.2090 | |
| | 0.7 | 30 | -0.1087 | -0.2090 | |
| | | 20 | -0.1087 | -0.2090 | |
| | | 10 | -0.1087 | -0.2090 | |
| | 0.8 | - | -0.1087 | -0.2090 | |
| | Fix | | | -0.1136 | -0.2073 |

Tabel 3. Momen Kolom pada Lokasi Nomor 2

| Momen pada Bagian Bawah Kolom 68 | | | | | |
|----------------------------------|------------|----------------|------------|------------|---------|
| μ slow | μ fast | Rate Parameter | Mmax (kNm) | Mmin (kNm) | |
| 0.4 | 0.2 | 30 | -0.0496 | -0.6716 | |
| | | 20 | -0.0482 | -0.6883 | |
| | | 10 | -0.0433 | -0.6860 | |
| | 0.3 | 30 | -0.0428 | -0.6910 | |
| | | 20 | -0.0396 | -0.7452 | |
| | | 10 | -0.0440 | -0.7029 | |
| | 0.4 | - | -0.0688 | -0.7053 | |
| | 0.6 | 0.4 | 30 | -0.0090 | -0.7034 |
| | | | 20 | -0.0084 | -0.6986 |
| 10 | | | -0.0077 | -0.7017 | |
| 0.5 | | 30 | -0.0079 | -0.7024 | |
| | | 20 | -0.0077 | -0.7009 | |
| | | 10 | -0.0074 | -0.7076 | |
| 0.6 | | - | -0.0072 | -0.7090 | |
| 0.8 | | 0.6 | 30 | -0.0024 | -0.7619 |
| | | | 20 | -0.0024 | -0.7618 |
| | 10 | | -0.0024 | -0.7618 | |
| | 0.7 | 30 | -0.0024 | -0.7618 | |
| | | 20 | -0.0024 | -0.7618 | |
| | | 10 | -0.0024 | -0.7618 | |
| | 0.8 | - | -0.0024 | -0.7618 | |
| | Fix | | | -0.0023 | -0.7736 |

Tabel 4. Gaya Axial Strut pada Lokasi Nomor 3

| Axial Strut 1 | | | | | |
|---------------|------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| μ slow | μ fast | Rate Parameter | Nmax (kN) | Nmin (kN) | |
| 0.4 | 0.2 | 30 | 0.0000 | -0.4353 | |
| | | 20 | 0.0000 | -0.6855 | |
| | | 10 | 0.0000 | -0.6559 | |
| | 0.3 | 30 | 0.0000 | -0.4025 | |
| | | 20 | 0.0000 | -0.6727 | |
| | | 10 | 0.0000 | -0.5634 | |
| | 0.4 | - | 0.0000 | -0.2170 | |
| | 0.6 | 0.4 | 30 | 0.0000 | -0.5942 |
| | | | 20 | 0.0000 | -0.6082 |
| 10 | | | 0.0000 | -0.6314 | |
| 0.5 | | 30 | 0.0000 | -0.6227 | |
| | | 20 | 0.0000 | -0.6318 | |
| | | 10 | 0.0000 | -0.6343 | |
| 0.6 | | - | 0.0000 | -0.6342 | |
| 0.8 | | 0.6 | 30 | 0.0000 | -0.7248 |
| | | | 20 | 0.0000 | -0.7248 |
| | 10 | | 0.0000 | -0.7248 | |
| | 0.7 | 30 | 0.0000 | -0.7248 | |
| | | 20 | 0.0000 | -0.7248 | |
| | | 10 | 0.0000 | -0.7248 | |
| | 0.8 | - | 0.0000 | -0.7248 | |
| | Fix | | | 0.0000 | -0.6906 |

5. KESIMPULAN

Friction isolator link (friction pendulum isolator) pada SAP2000 dapat digunakan untuk memodelkan *friction base isolation* dengan baik. *Friction base isolation* secara keseluruhan dapat mengurangi gaya dalam pada struktur atas pada saat struktur bangunan mengalami slip selama gempa terjadi.

6. DAFTAR REFERENSI

- Attaway, S.W. (1999). *“The Mechanics of Friction in Rope Rescue.”* International Technical Rescue Symposium 1999.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 03-1726-2012, Jakarta, Indonesia.
- Boen, T. dan Rekan. (2005). *Membangun Rumah Tembokan Tahan Gempa*.
- Computer and Structures Inc. (2007). *CSI Analysis Reference Manual*, California, USA.
- Kaushik, H.B., Rai, D.C., and Jain, S.K. (2009). “Effectiveness of Some Strengthening Options for Masonry–Infilled RC Frames with Open First Story.” *Journal of Structural Engineering, ASCE*. Vol. 135, No. 8, 925-937.
- Lumantarna, B. dan Lukito, M. (1997). “RESMAT Sebuah Program Interaktif untuk Menghasilkan Riwayat Waktu Gempa dengan Spektrum Tertentu.” Proceedings of HAKI Conference 1997, Jakarta, Indonesia, August 13-14.
- Lumantarna, B. and Pudjisuryadi, P. (2012). ”Learning from Local Wisdom: Friction Damper in Traditional Building.” *Civil Engineering Dimension*. Vol. 14, No. 3, 190-196.
- Pudjisuryadi, P., Lumantarna, B., and Lase, Y. (2007). “*Base Isolation in Traditional Building, Lesson Learned from Nias March 28, 2005 Earthquake.*” International Conference EACEF 2007, Jakarta, Indonesia.
- Paulay, T. and Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons Inc, New York, United States.
- Stafford Smith, B. and Carter, C. (1969). “*A Method of Analysis for Infill Frames.*” Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Vol. 44, 31-48.