

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian yang baik merupakan kelanjutan atau penyempurnaan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Agar hubungan tersebut dapat dilakukan dengan baik maka diperlukan kajian pustaka yang mendahuluinya.

1. **Paldi dan Hakim (2000) : “Performasi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa”** (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).

a). Permasalahan

Gempa bumi yang terjadi akan menimbulkan berbagai energi yang berdampak bagi bangunan di atasnya. Energi gempa ini akan diredam menggunakan performasi sistem isolasi dasar (*base isolation*).

b). Pemecahan Permasalahan.

Mendesain bangunan dengan cara konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil desain tersebut dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Parameter yang dikomparasi yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*inter story drift*), gaya geser tingkat dan momen guling (*overturning moment*).

c). Hasil Penelitian.

Meneliti performansi bantalan karet (*rubber bearing*) sebagai redaman pasif untuk seismik kontrol pada bangunan tahan gempa dan telah membuat kesimpulan bahwa parameter-parameter seismik ternyata tereduksi secara signifikan, berupa simpangan relatif struktur terhadap pondasi (20,64 %), terhadap pelat dasar (76,43 %), *inter story drift* (59,67 %). Gaya geser tingkat (82,52 %), dan momen guling (76,17 %).

2. Dian Fizaily dan Widyastuti (2002) : “Perletakan Sendi Plastis pada Struktur Beton dengan Analisis Beban Statik Ekuivalen pada Bangunan Bertingkat Sembilan dengan Dua Batang yang Menggunakan *Base Isolation (Rubber Bearing)*” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).

a). Permasalahan.

Perilaku dan perletakan sendi plastis pada suatu struktur beton bertulang diperlukan suatu analisis sebagai sistem kontrol untuk mereduksi efek gempa.

b). Pemecahan Permasalahan

Dengan analisis struktur menggunakan program *SAP 2000* bertujuan mengidentifikasi letak sendi plastis pada struktur bangunan bertingkat banyak tahan gempa yang menggunakan *base isolation* berupa *rubber bearing*. Struktur yang digunakan sebagai model adalah beton bertulang bertingkat sembilan, dua dimensi (portal bidang) terdiri dari dua bentang

dengan panjang bentang sembilan meter dan berada pada daerah gempa III, dengan kondisi tanah lunak. Perencanaan beban gempa rencana yang digunakan adalah analisis beban gempa statik ekuivalen, bangunan berdaktilitas penuh, direncanakan tanpa menggunakan dinding geser, dianggap tidak terjadi efek torsi dan efek *p-delta* pada bangunan, *seismic control* dengan *base isolation* menggunakan kontrol redaman pasif berupa *rubber bearing* yang ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story column*).

c). Hasil Penelitian

Kesimpulan dari analisis mereka adalah lokasi sendi plastis pada setiap balok dari lantai satu sampai lantai sembilan berada diluar jarak $2h$ dari muka tumpuan balok.

3. Nugroho dan Budiyanto (2002) : “Pengaruh High Dumping Rubber Bearing sebagai isolasi dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur”
(Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).

a). Permasalahan

Struktur bangunan apabila dikenai beban dinamik maka akan menimbulkan simpangan dari beban dinamik, dalam hal ini beban gempa. Struktur bangunan semakin keatas memiliki simpangan makin besar, sehingga menimbulkan gaya pada bangunan, hal ini dibuktikan dengan adanya kerusakan pada struktur seperti retak, ataupun buckling pada baja.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan simpangan bangunan apabila dikenai beban gempa.

b). Pemecaan Permasalahan

Penelitian ini menggunakan program *SAP 2000*, dan *Exel 2000*, yaitu dengan mendesain bangunan dengan cara konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil desain tersebut dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Parameter yang dikomparasikan yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*interstory drift*), gaya geser tingkat dan momen guling.

c). Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh adalah nilai reduksi yang paling optimal terjadi pada variasi kekakuan 100%.

4. Ardy dan Didik (2004) : “Pengaruh Penggunaan Isolasi Dasar (*Base Isolation*) terhadap Respon Seismik Struktur Rangka Baja Bertingkat Banyak” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).

a). Permasalahan

Berapa besar pengaruh isolasi dasar (*base isolation*) pada suatu bangunan struktur baja bertingkat banyak sebagai pereduksi beban gempa dibandingkan dengan tanpa isolasi dasar terhadap respon keefektifan bangunan (simpangan, *inter story drift*, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling), dan membandingkan *mode shape* antara struktur dengan dan tanpa isolasi dasar serta pengaruh

penggunaan parameter gerakan tanah, yaitu frekuensi dan percepatan akibat gempa terhadap waktu periode getar T .

b). Pemecahan Permasalahan

Analisa dan perhitungan struktur, diambil dari struktur rangka baja bertingkat banyak yaitu 4, 7, 10 tingkat (*open frame*), analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*), perhitungan kekakuan kolom berdasarkan prinsip *Shear Building*, nilai kekakuan *base isolation* (K_b) = 1183388,534 kg/m, kekakuan horisontal tanah (K_h) dan kekakuan putar tanah (K_r) diabaikan, nilai redaman *base isolation* (C_b) tergantung dari K_b , sedangkan nilai redaman horisontal tanah (C_h) dan redaman putar (C_r) tanah diabaikan, massa *base isolation* sama dengan massa tingkat satu, kekakuan struktur dianggap pada kondisi linier elastis, besarnya redaman pada struktur dengan *base isolation* menggunakan redaman konstan sedangkan pada struktur tanpa *base isolation* menggunakan redaman proporsional dengan dengan massa (*mass proportional damping*), percepatan tanah diambil dari data gempa Koyna, Elcentro dan Bucharest, perhitungan struktur menggunakan integrasi secara langsung menurut β -Newmark dengan formulasi untuk analisis linier elastis, dan program menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*.

c). Hasil Penelitian

Struktur dengan menggunakan *base isolation* mempunyai dominasi pada mode pertama lebih kecil dikarenakan jika menggunakan *base isolation*

relatif lebih fleksibel. Simpangan antar tingkat (*interstory drift*). Struktur dengan menggunakan *base isolation* pada lantai satu lebih besar daripada struktur yang di atasnya. *Base isolation* sangat cocok dipakai pada gempa frekuensi tinggi dan pada kondisi tanah keras.

Pada penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dari masing-masing peneliti terdapat beberapa hal yang masih perlu disempurnakan :

1. Pada penelitian Paldi dan Hakim (2000)
 - Data percepatan gempa (*time history*) hanya digunakan data percepatan dari gempa El Centro.
2. Pada penelitian Dian Fizaily dan Widyastuti (2002)
 - Bangunan pada wilayah gempa III, pada kondisi tanah lunak sehingga hasil yang diperoleh tidak berlaku untuk semua jenis tanah.
 - Tidak memperhitungkan beban angin, padahal dalam prakteknya dilapangan tidak dapat menghindari adanya angin dan mempengaruhi $Q_{ultimit}$.
3. Pada Nugroho dan Budiyanto (2002)
 - Data percepatan tanah (*time history*) hanya digunakan satu data yaitu data percepatan tanah akibat gempa El Centro sehingga hasil yang diperoleh kurang akurat.
4. Pada Ardy dan Didik (2004)
 - Pada bangunan dengan tingkat diatas 20 program tidak dapat terdefinisi.

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas maka pada penelitian selanjutnya akan menggabungkan metode-metode yang terdapat pada penelitian sebelumnya dengan memperbaiki kekurangannya, diantaranya :

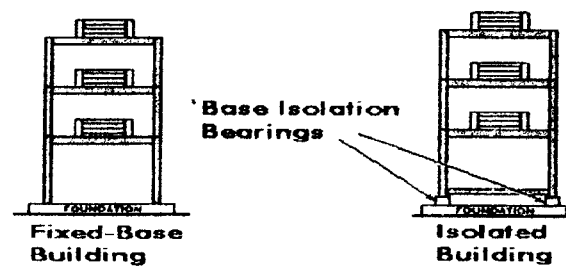
1. Dalam analisis dipakai beberapa riwayat gempa (*time history*) seperti gempa Elcentro, gempa Santacruz, dan gempa Koyna. Pemilihan struktur bangunan menggunakan struktur beton bertingkat banyak dengan variasi 4, 8, dan 10 tingkat.
2. Bangunan menggunakan sistem kontrol pasif yaitu digunakan *rubber bearing* sebagai *base isolation*, dan data-data yang diperlukan dipakai dari data *base isolation* yang digunakan.
3. Membandingkan bangunan dengan *base isolation* dan bangunan tanpa *base isolation*.
4. Penjelasan analisis struktur dengan anggapan sistem berperilaku elastoplastis/bilinear untuk *base isolation* dan sistem berperilaku linier elastis untuk tingkat ke- n.
5. Untuk mendukung perhitungan dalam penelitian ini menggunakan program *Microsoft Visual Basic 6.0*.

2.3 Pengertian *Base Isolation*.

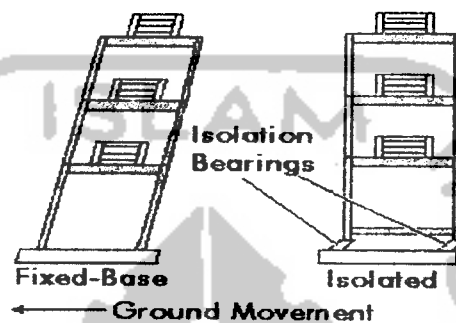
Isolasi dasar (*base isolation*) adalah suatu cara perlindungan bangunan gempa bumi terhadap getaran gempa bumi. Pada dasarnya, cara perlindungan tersebut dicapai melalui pengurangan getaran gempa bumi kearah horisontal oleh

suatu sistem sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan langsung oleh pondasi. (Siswantoro & Buana, 1994, p.6).

Pada saat terjadi gempa bumi, bangunan tanpa *base isolation* cenderung terkena energi gempa secara langsung, sehingga mengakibatkan simpangan akibat gempa terhadap bangunan makin keatas makin besar membuat kerusakan yang terjadi sangat besar dan langsung berakibat pada struktur. Hal ini berbeda dengan bangunan yang menggunakan *base isolation*, pada saat terjadinya gempa bumi energi akibat gempa bumi akan diterima oleh *base isolation*, dan simpangan yang terjadi akibat gempa terhadap bangunan diredam oleh *base isolation* sehingga simpangan terbesar terjadi pada *base isolation* tersebut. Akibat yang terjadi struktur diatasnya hanya mengalami penggoyangan relatif kecil (karena simpangan yang kecil) dan kerusakan bangunan yang ditimbulkan oleh gempa cenderung kecil pula. Oleh karena itu perlindungan bangunan dengan isolasi dasar (*base isolation*) dinilai lebih unggul dari peningkatan struktur bangunan secara konvensional (*fixed base*), karena sistem-sistem tersebut sekaligus dapat melindungi isi bangunan. Perbandingan perilaku bangunan dengan dan tanpa *base isolation* apabila dikenai beban gempa dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



a.) bangunan sebelum terjadi gempa bumi



b.) Bangunan setelah terjadinya gempa bumi

Gambar 2.1 Perbandingan bangunan tanpa dan dengan *base isolation*

2.4 Jenis-jenis Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Secara garis besar isolasi dasar dibagi kedalam dua kelompok, yaitu isolasi dasar yang menggunakan material karet sebagai isolator (*rubber type seismic isolation*) dan tanpa menggunakan material karet sebagai isolatornya (*non-rubber type seismic isolation*) seperti yang akan dijelaskan berikut ini,

2.4.1 *Rubber Type Seismic Isolation*

Isolasi dasar yang menggunakan bantalan karet peredam gempa (*seismic rubber bearing*) sebagai isolator adalah yang paling populer penggunaannya. Popularitas bantalan karet ini semakin meningkat karena mampu membuktikan keandalannya pada saat gempa bumi Los Angeles awal tahun 1994 dan Kobe akhir tahun 1994.

Bantalan karet ini terbuat dari lembaran-lembaran vulkanis karet yang direkatkan pada pelat-pelat baja secara berselang-seling. Pelat-pelat baja tersebut bertujuan meningkatkan kekakuan karet kearah vertikal sehingga karet tidak menggelembung kesamping karena beban bangunan.

Karet yang dipakai adalah karet alam Hevea (Indonesia adalah produsen karet terbesar untuk jenis karet ini) yang dikenal memiliki sifat elastis pada sifat unggul dari semua jenis karet yang ada pada saat ini. Sifat ini sangat diperlukan untuk memberikan respon elastis kearah horisontal yang berarti dapat mengikuti atau tidak menentang pergerakan horisontal permukaan bumi ketika gempa tektonik terjadi dan pada akhirnya berangsur-angsur kembali ke kedudukan semula.

Menurut hasil penelitian selama ini, sifat yang dimiliki bantalan karet ini mampu meredam sekurang-kurangnya 70 % akselerasi di puncak bangunan (BPPP, 1997). Pertanyaan yang sering diajukan adalah berapa umur pemakaian bantalan karet tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bantalan karet yang dipakai oleh sebuah bangunan di Inggris yang telah terpasang selama lebih dari 50 tahun ternyata lebih relatif masih utuh. Padahal teknologi pembuatan komponen karet pada saat bantalan itu dibuat belum secanggih teknologi sekarang.

Para ahli memperkirakan umur pemakaian bantalan karet yang dibuat dengan sistem pengomponan karet yang benar, bisa lebih dari satu abad. Selain itu karena bantalan ini terpasang lepas diantara pondasi bangunan dan bangunan atas, sudah tersedia pula cara mengganti (bila benar-benar diperlukan) bantalan yang rusak dengan yang baru.

Di Jepang, daya tahan bantalan karet untuk bangunan tahan gempa minimum 60 tahun (Kojima dan Fukahori, 1998). Selain daya tahan, penggunaan karet sebagai isolator juga karena kapasitas kemampuan simpan energi yang dimiliki karet sangat tinggi bahkan lebih tinggi dari baja.

Tabel 2.1. Kapasitas simpan energi beberapa material Syrotiuk,1986:244)

Material	Joule/kg
Karet alam tervulkanis	44.800
Kayu Hickory	365
Pegas baja	284
Rol aluminium	22,6
Phosphorbronze	12,2
Baja sangat lunak	9,18
Besi tuang	1,11

Macam-macam isolasi dasar dengan isolator bantalan karet yang banyak digunakan adalah *Laminated Rubber Lead Containing Bearing* dan *High Dumping Laminated Rubber Bearing* seperti yang dilihat di bawah ini :

a. *Laminated Rubber Lead Containing Bearing (Lead Rubber Bearing-LRB)*

Timah hitam (*Lead*) dipasang pada sumbu bantalan karet, dibagian atas dan bawah diberi lempengan pelat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban angin.

b. *High Dumping Laminated Rubber Bearing (Multi Rubber Bearing-MRB)*

Pada dasarnya jenis alat isolasi dasar ini sama dengan LRB hanya saja disini propertis dari karet telah dimodifikasi agar dapat memberi

kemampuan redaman yang lebih tinggi dan mampu menyerap energi gempa bumi.

2.4.2 *Non-Rubber Type Seismic Isolation*

Non-Rubber Type Seismic Isolation yang paling banyak dikenal antara lain *Lead Extrusion Dumper*, *Ball Roller Bearings* dan *Sliding Bearings*, yang paling banyak digunakan adalah *Lead Extrusion Dumper*, sedangkan dua tipe lainnya masih dalam tahapan eksperimen.

2.5 Perletakan Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Lokasi perletakan isolasi dasar yang dianjurkan adalah serendah mungkin agar dapat melindungi struktur sebanyak mungkin. Pertimbangan biaya dan praktis juga mempengaruhi pemilihan lokasi penempatan isolasi dasar ini. Pada bangunan pemilihan lokasi biasanya terletak pada lantai dasar (*ground level*) atau dibawah basement (Meyes, 1984).

Tiap lokasi mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing yang berhubungan dengan pertimbangan-pertimbangan desain seperti simpangan geser (*shear displacement*) pada bangunan, partisi dan lain-lain.

Menurut Meyses (1984) dan rekan-rekan, ada empat macam perletakan isolasi dasar pada bangunan berdasarkan keuntungan dan kerugian seperti diuraikan berikut ini :

1. Isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama. (*first story coloumns*). Keuntungan isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloumns*) adalah :

- a. Penambahan biaya struktur kecil,
- b. dasar kolom bisa dihubungkan dengan diafragma, dan
- c. mudah memasukkan sistem cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator dasar yang ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloumns*) adalah membutuhkan kantilever khusus.

2. Isolator dasar ditempatkan pada puncak dari kolom *basement*. Keuntungan isolator dasar ditempatkan pada puncak dari *basement* adalah :

- a. Tidak diperlukan *sub-basement*,
- b. penambahan biaya struktur yang kecil,
- c. pada level isolasinya dasar kolom dihubungkan oleh diafragma,
- d. kolom juga berfungsi sebagai sistem cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator dasar ditempatkan pada puncak dari kolom *basement* adalah :

- a. Membutuhkan ruang khusus dibawah lantai pertama, dan
- b. membutuhkan perhatian yang khusus untuk tangga dibawah lantai pertama.

3. Isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement coloumns*). Keuntungan isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement coloumns*) adalah :

- a. Tidak diperlukan *sub-basement*, dan
- b. kolom *basement* tidak perlu sekaku seperti pada *base isolator* yang diletakkan pada bagian atas atau bawah kolom.

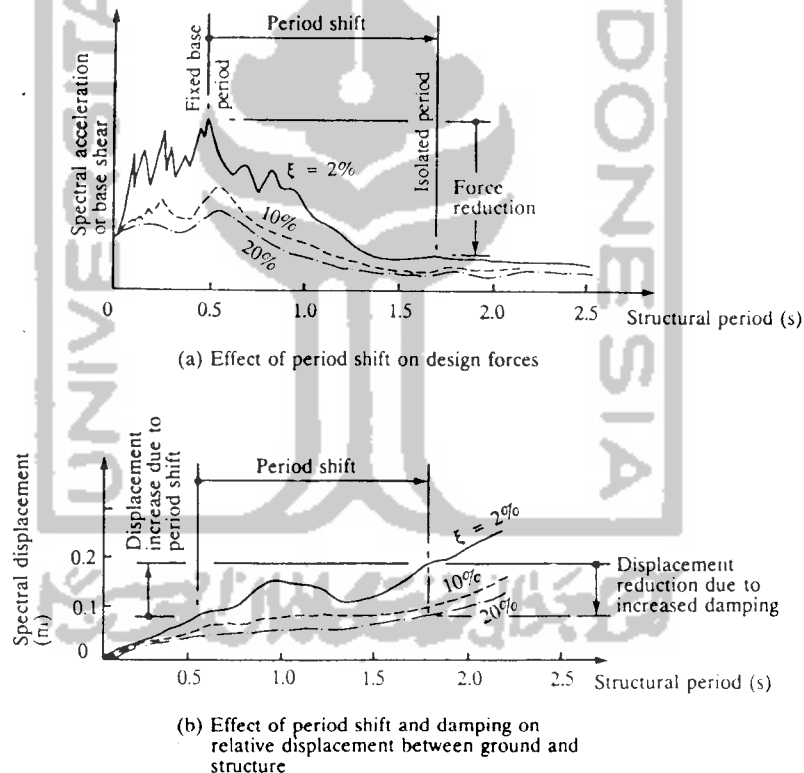
Kerugian isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement coloumns*) adalah :

- a. Diperlukan perhatian khusus untuk *elevator* dan tangga akibat dari simpangan *mid-story*,
 - b. tidak terdapat diafragma pada *level*, dan
 - c. sulit untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.
4. Isolator dasar diletakkan pada *sub-basement*. Keuntungan isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :
- a. Dasar kolom dihubungkan dengan diafragma pada *level* isolasinya,
 - b. mudah untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.
5. Kerugian isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :
- a. Diperlukan penambahan biaya untuk *sub-basement*, kecuali *sub-basement* memang diperlukan, dan
 - b. membutuhkan dinding penahan tanah (*retaining wall*).

2.6 Prinsip Sistem *Base Isolation*

Sistem *base isolation* sangat baik dipakai di daerah yang frekuensi getaran gempa yang tinggi dan pada kondisi tanah yang keras. Pada kondisi ini bentuk spektrum respon percepatan cenderung meningkat secara tajam pada nilai-nilai periode getar T awal, setelah mencapai puncaknya kemudian cenderung menurun secara terus menerus sampai pada periode getar yang ditinjau. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena *base isolation* memperpanjang waktu periode getar T , sehingga pada kondisi ini spektrum respon cenderung

menurun. Hal ini berlaku sebaliknya apabila sistem *base isolation* dipasang pada kondisi gempa dengan frekuensi gempa rendah dan pada kondisi tanah lunak. Pada kondisi ini spektrum percepatan cenderung rendah pada nilai-nilai periode getar T awal. Kemudian akan meningkat secara tajam bersamaan dengan bertambahnya waktu periode getar T . Pemasangan *base isolation* tidak baik pada kondisi ini karena pada saat *base isolation* memperpanjang waktu periode getar T , akan jatuh pada puncak dari kondisi gempa ini. Untuk lebih jelasnya lihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Efek dari *base isolation* terhadap waktu getar T pada saat terjadi gempa

Pada gambar tersebut menunjukkan sistem-sistem tipe percepatan respon struktur dengan tipe puncak respon periode terjadi pada 0.5 detik. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena periode getar T lebih panjang pada saat kondisi percepatan tanah mencapai periode diatas 0.5 detik yang bersamaan dengan menurunnya puncak respon periode. Hal ini berlaku sebaliknya apabila waktu puncak respon lebih panjang dimana gempa berlangsung pada frekuensi rendah dan tanah lunak. Adanya *base isolation* tidak baik digunakan pada kondisi tanah tersebut, karena *base isolation* memperpanjang waktu getar T sehingga terjadi pada puncak respon maksimum tersebut.

Jenis struktur sangat mempengaruhi penggunaan *base isolation*. Jenis struktur ini terdiri dari struktur beton bertulang dan struktur baja. Kedua struktur tersebut dibedakan menurut angka kekakuan dari masing-masing struktur. Struktur beton bertulang cenderung mempunyai sifat kaku sehingga kekakuan yang terjadi sangat tinggi. Kekakuan tersebut sangat berpengaruh terhadap frekuensi getar struktur (ω), sehingga dengan kekakuan tinggi maka ω besar, dan itu membuat periode getar struktur beton kecil. Sebaliknya terjadi pada struktur baja dengan periode getar struktur yang lebih besar dari beton.

2.7 Manfaat sistem *base isolation*

Manfaat yang diperoleh dengan pemakain *base isolation* adalah sebagai berikut :

1. Kemampuan menahan beban bangunan yang diisolasi dan meneruskan defleksi horisontal relatif terhadap bumi/tanah (BPPP, 1997).

2. Mempunyai tenaga pemulihan untuk mengembalikan bangunan pada posisi semula relatif terhadap bumi/tanah (BPPP, 1997).
3. Kemampuan meredam untuk mengurangi akselerasi defleksi horisontal relatif terhadap tanah, sehingga dapat mencegah struktur rusak ataupun runtuh jika terkena gempa (BPPP, 1997).
4. Penggunaan sangat fleksibel karena dapat digunakan pada bangunan baru maupun bangunan lama (*retrofitting*) (Lin, 1997 : 44-45).
5. Umur kerja dan isolatornya relatif panjang yakni berkisar 70-100 tahun sehingga bisa lebih lama dari umur bangunan itu sendiri (Lin, 1997).
6. Biayanya relatif lebih ekonomis, menurut Siswanto dan Bhuana untuk bangunan baru penambahan sekitar 2,5%-7% dari total biaya (bandingkan dengan penambahan biaya yang menggunakan konstruksi baja sebesar 20%-30%), sedangkan menurut Kelly pada bangunan yang menggunakan isolasi dasar dengan cara *retrofitting*, biaya isolatornya hanya 2%-4% dari total biaya rehabilitasi (*seismic rehabilitation*) dan biaya perbaikan setelah terkena gempa (*post earthquake repair cost*) lebih kecil dibandingkan dengan bangunan sistem konvensional.