

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

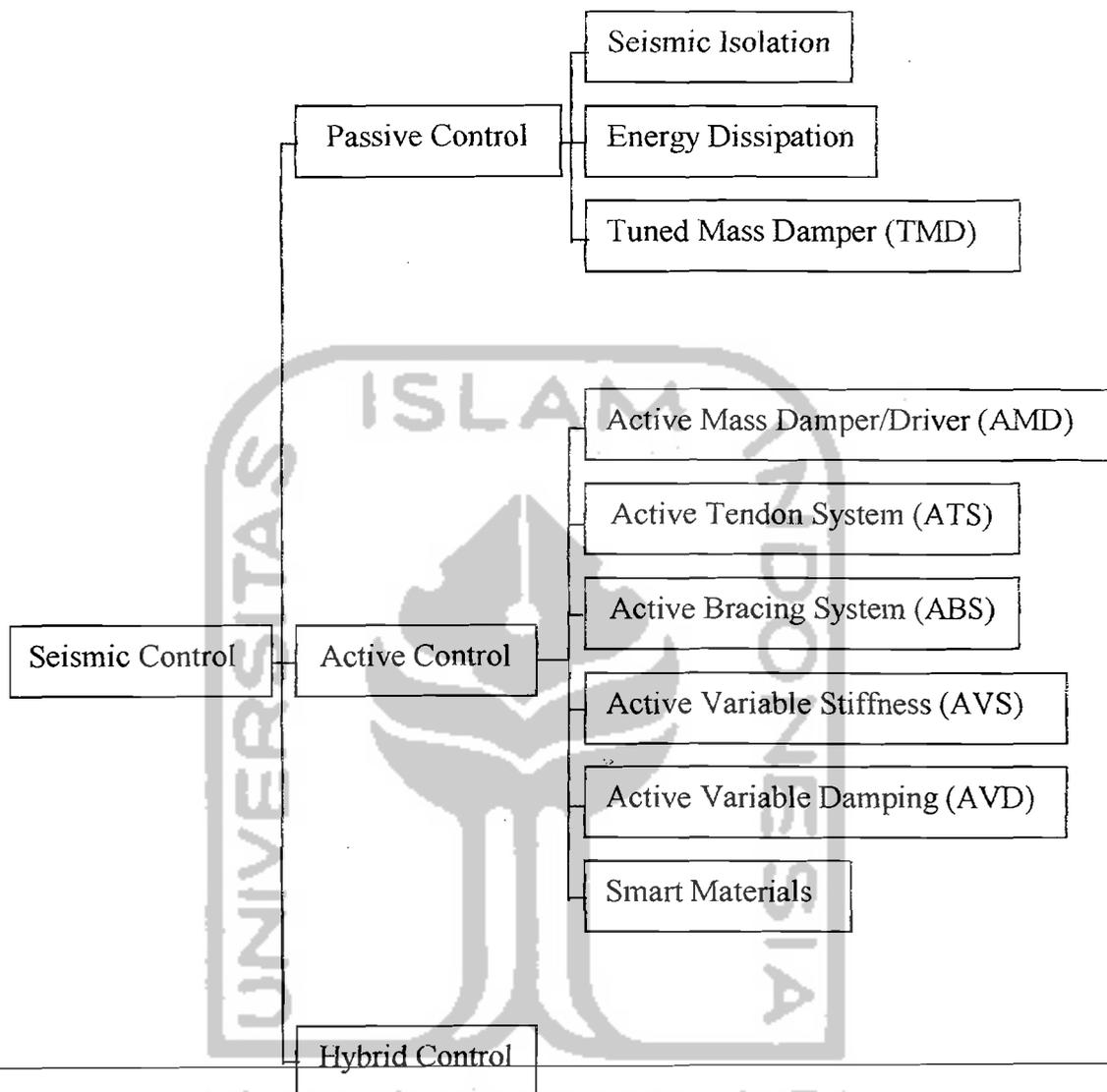
Bab kajian pustaka ini berisi tentang masalah umum *base isolation*, prinsip sistem *base isolation*, manfaat sistem *base isolation*, jenis-jenis *base isolation*, dan perletakan *base isolation* sebagaimana yang akan dijelaskan berikut ini.

2.1. Umum.

Perkembangan teknologi anti gempa dewasa ini telah memunculkan metode-metode baru. Metode yang sedang dan terus berkembang belakangan ini adalah sistem kontrol gempa (*seismic control*) pada struktur. Klasifikasi sistem kontrol gempa (*seismic control*) ini pada struktur dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Salah satu sistem kontrol gempa yang penggunaannya semakin luas dewasa ini adalah isolasi gempa bumi (*seismic isolation*). Bila sistem isolasi gempa dipasang pada dasar bangunan, sistem ini disebut isolasi dasar (*base isolation*).

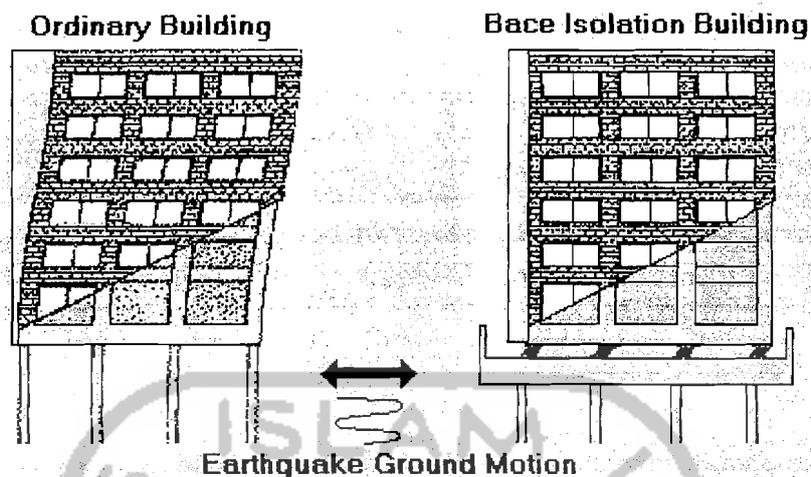
Isolasi dasar (*base isolation*) adalah suatu cara perlindungan bangunan terhadap getaran gempa bumi. Pada dasarnya, cara perlindungan tersebut dicapai melalui pengurangan getaran gempa bumi ke arah horisontal oleh suatu sistem sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan langsung oleh pondasi (Siswantoro dan Bhuana, 1994, p.6).



Gambar 2.1 Klasifikasi sistem kontrol struktur (Lin, 1997)

Perlindungan bangunan dengan menggunakan sistem isolasi dasar dinilai lebih unggul daripada melalui peningkatan struktur bangunan (cara konvensional) karena sistem tersebut sekaligus dapat melindungi seluruh isi bangunan.

Perbandingan perilaku bangunan pada waktu menerima pergerakan tanah akibat gempa (*earthquake ground motion*) antara bangunan konvensional dengan bangunan yang telah menggunakan isolasi dasar dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Perbedaan respons bangunan tanpa (kiri) dan menggunakan *Rubber Bearing* (kanan) terhadap gempa bumi
(www.persians.net/baseisolation/, opened at 10 Feb 2000)

Studi tentang isolasi dasar ini berawal sekitar tahun 70-an. Kemudian penggunaannya berkembang dengan sangat pesat setelah peristiwa gempa bumi Loma Prieta (San Fransisco, 1989) dan Northridge (Los Angeles, Januari 1994) di Amerika Serikat, dan gempa bumi Great-Hanshin Awaji (Kobe, Januari 1995).

Pada gempa Northridge, dari 10 rumah sakit yang terkena pengaruh gempa, hanya satu rumah sakit yang dapat bertahan dan tetap beroperasi yaitu bangunan 7 lantai *University of Southern California Teaching Hospital* yang menggunakan bantalan karet (*Lead Rubber Bearing*) sebagai alat isolasi dasar (*base isolator*).

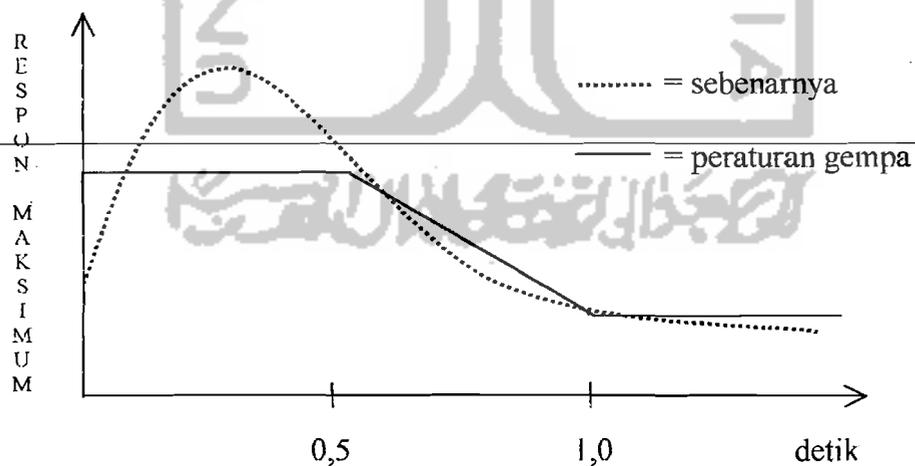
Rumah sakit lain dalam radius sekitar 1 km dari *University Teaching Hospital, Los Angeles County Hospital* menderita kerusakan yang cukup berat sehingga harus ditutup untuk sementara waktu. Estimasi biaya yang diperlukan untuk perbaikan kerusakan akibat gempa ini pada rumah sakit tersebut adalah sekitar US\$ 400 juta (Siswantoro dan Bhuana, 1994:7).

2.2. Prinsip Sistem Base Isolation

Prinsip dasar dari struktur dengan sistem isolasi dasar (*base isolation*) adalah penggunaan material khusus peredam getaran (*seismic isolator*) yang terletak diantara bangunan dengan pondasi dasar untuk mencegah getaran gempa langsung mengenai struktur.

Material peredam gempa (*seismic isolator*) yang digunakan bertujuan untuk memperbesar waktu getar alami struktur (T) akibat gempa, sehingga beban gempa yang mengenai struktur menjadi lebih kecil dan tidak membahayakan struktur beserta isinya (Tjokrodimuljo, 1993).

Respon maksimum suatu struktur terjadi bila waktu getar alami struktur rendah (dibawah 1 detik). Dengan demikian jika struktur mempunyai waktu getar alami lebih dari 1 detik maka respons struktur akan mengecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hubungan waktu getar alami struktur dan respons maksimum.
(Tjokrodimuljo, 1993: 5-4)

2.3. Manfaat Sistem Base Isolation

Banyak manfaat atau keuntungan yang cukup signifikan yang didapat dari bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar. Beberapa keuntungan yang didapat dari penggunaan sistem isolasi dasar pada bangunan antara lain seperti yang dijelaskan berikut ini.

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. Penggunaannya sangat fleksibel karena dapat digunakan pada bangunan baru maupun bangunan lama (*retrofitting*) (Lin, 1997: 44-55).
5. Umur kerja dari 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 Siswantoro 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.

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 yang menggunakan material selain 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 isolatornya adalah yang paling populer penggunaannya. Popularitas bantalan karet ini meningkat karena mampu membuktikan keandalannya pada saat gempa bumi di Los Angeles awal tahun 1994 dan Kobe akhir tahun 1994.

Bantalan karet ini terbuat dari lembaran-lembaran vulkanisat karet yang direkatkan pada plat-plat baja secara berselang-seling. Plat-plat 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 terbesar kedua di dunia untuk jenis karet ini) yang dikenal memiliki sifat elastis paling 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 kedudukan semula.

Menurut hasil penelitian selama ini, sifat yang dimiliki bantalan karet ini mampu meredam sekurang-kurangnya 70 persen akselerasi di puncak bangunan (BPPP, 1997). Pertanyaan yang sering diajukan adalah berapa umur pemakaian bantalan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bantalan karet yang dipakai oleh sebuah bangunan di Inggris yang telah terpasang selama lebih dari 50 tahun ternyata relatif masih utuh. Padahal teknologi pembuatan kompon 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 di antara pondasi bangunan dan bangunan atas, sudah tersedia pula cara mengganti (bila benar-benar diperlukan) bantalan yang rusak dengan bantalan 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 (lihat pada Tabel 2.1).

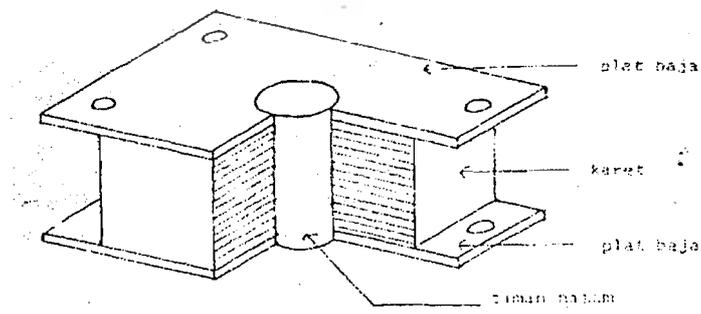
Tabel 2.1. Kapasitas simpan energi beberapa material (Syrotiuk, 1986: 244).

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

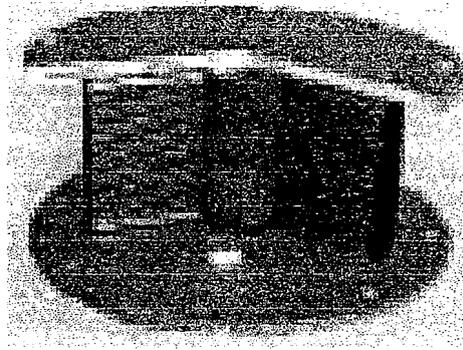
Macam-macam isolasi dasar dengan isolator bantalan karet yang banyak digunakan adalah *Laminated Rubber Lead Containing Bearing* dan *High Damping Laminated Rubber Bearing* seperti yang dapat dilihat di bawah ini.

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

Timah hitam (*lead*) dipasang pada sumbu bantalan karet, dibagian atas dan bawah diberi lempengan plat baja seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban angin sebagaimana terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4. Komposisi *Rubber Bearing*
(Tjokrodinuljo, 1993: 5-5)



Gambar 2.5. *Lead Rubber Bearing (LRB)*
(www.takenaka.co.jp, opened at 25 Mei 2000)

b. High Damping 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 untuk menyerap energi gempa bumi sebagaimana terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *High Damping Rubber Bearing*
(www.takenaka.co.jp, opened at 25 Mei 2000)

2.4.2. *Non-Rubber Type Seismic Isolation*

Non-Rubber Type Seismic Isolation yang paling banyak dikenal antara lain *lead extrusion damper*, *ball/roller bearings* dan *sliding bearings*. Yang paling banyak digunakan adalah *lead extrusion damper*, sedangkan dua tipe lainnya masih dalam tahap eksperimen.

2.5. Perletakkan Isolator Dasar.

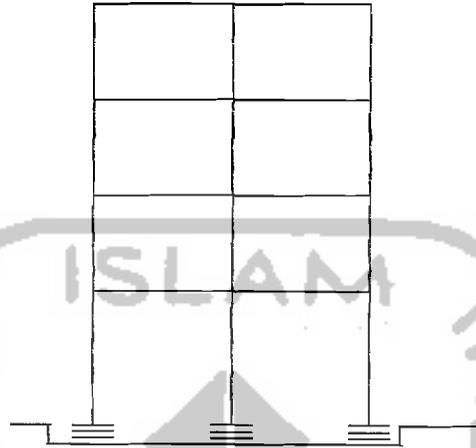
Lokasi perletakkan isolator dasar yang dianjurkan adalah serendah mungkin agar dapat melindungi struktur sebanyak mungkin. Pertimbangan biaya dan praktis juga mempengaruhi pemilihan lokasi penempatan isolator dasar ini. Pada bangunan, pemilihan lokasi biasanya terletak pada lantai dasar (*ground level*) atau dibawah *basement* (Mayes, 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 Mayes dan rekan-rekan, ada empat macam perletakan isolator dasar pada bangunan berdasarkan keuntungan dan kerugiannya seperti yang diuraikan berikut ini.

1. Isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloumns*) dapat dilihat pada Gambar 2.7. Keuntungan isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloumns*) adalah :
 - a. penambahan biaya struktur kecil,
 - b. dasar kolom bisa hubungkan dengan diafragma, dan
 - c. mudah memasukkan sistem cadangan untuk beban vertikal.

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

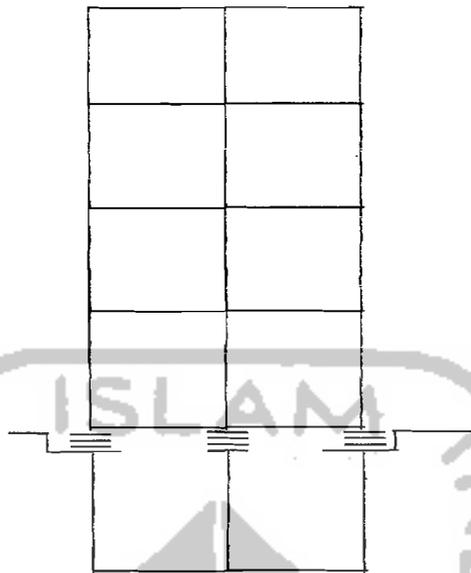


Gambar 2.7 Isolasi dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story columns*)

2. Isolator dasar diletakkan pada puncak dari kolom basement dapat dilihat pada Gambar 2.8. Keuntungan isolator dasar diletakkan pada puncak dari kolom basement adalah :
- tidak diperlukan *sub-basement*,
 - penambahan biaya struktur yang kecil,
 - pada level isolasinya dasar kolom dihubungkan oleh diafragma, dan
 - kolom juga berfungsi sebagai sistem cadangan untuk beban vertikal.

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

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

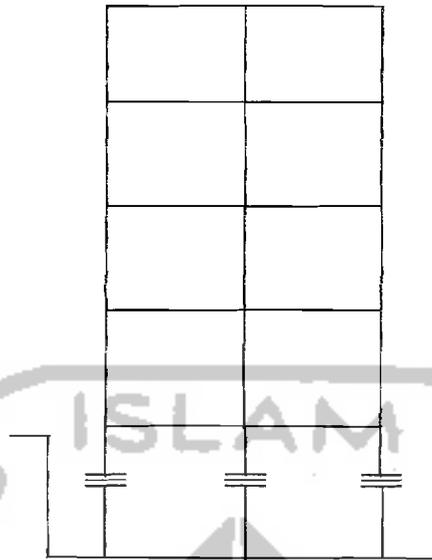


Gambar 2.8 Isolator dasar diletakkan pada puncak dari kolom *basement*

3. Isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom *basement* (*mid-height of basement coloumns*) dapat dilihat pada Gambar 2.9. 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 pada *mid-story*,
- b. tidak terdapat diafragma pada level, dan
- c. sulit untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.



Gambar 2.9 Isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom *basement* (*mid-height of basement coloumns*)

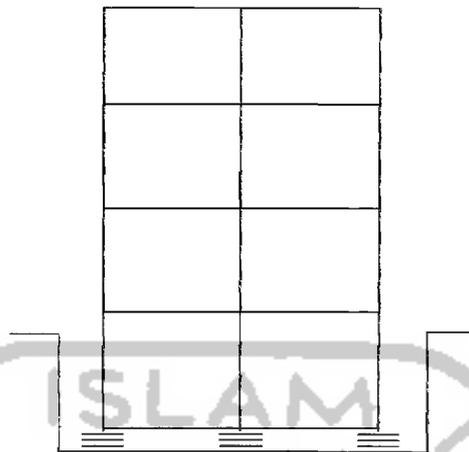
4. Isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Keuntungan isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :

- a. dasar kolom dihubungkan dengan diafragma pada level isolasinya, dan
- b. mudah untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.

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*).



Gambar 2.10 Isolator dasar diletakkan pada *sub-basement*

2.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan sistem kontrol (*seismic control*) ini, digunakan juga sebagai tinjauan pustaka dari penelitian sebelumnya, yaitu seperti dapat yang dijelaskan berikut ini.

1. Penelitian Priyanto dan Marzal (1999).

Penelitian ini mengambil topik “Analisis Penggunaan Tuned Mass Damper (TMD) Untuk Mengurangi Simpangan Akibat Beban Dinamis Pada Balok Kantilever”. Penelitian tersebut membuktikan bahwa alat TMD dapat mengurangi simpangan dengan cara membandingkan perilaku struktur yang menggunakan TMD dengan yang tidak.

Oleh karena itu, atas dasar kesimpulan tersebut, kami mencoba alat redaman lain yakni isolasi dasar (*base isolation*) pada bangunan bertingkat banyak, sehingga akan mendekati suatu kenyataan, dan hal ini belum menjadi objek penelitian.

2. Penelitian Mansyur (2000)

Penelitian ini mengambil topik “Penempatan Efektif Redaman Ganda Untuk Mengurangi Simpangan Pada bangunan Tingkat Tinggi”. Pada Penelitian ini, di coba 15 variasi perletakan ganda, redaman berupa *Magnetorhelogical Damper*.

Hasil penelitian diperoleh dengan menggunakan *MR damper* simpangan yang terjadi dapat dikurangi, sehingga dapat mencegah terjadinya structural damping, dan dari hasil penelitian diperoleh perletakan *MR damper* yang paling efektif pada tingkat ke tiga dan kelima.

