BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Kota Surabaya berada di kondisi wilayah yang memiliki Susunan Explorasi tanah terdiri dari lapisan lapisan tanah Andosol dan Latosol, Mediteran Grumosol dan Regosol, Alluvial dan Mediteran. Lapisan tanah Alluvial terbentang di sepanjang aliran sungai di bagian wilayah timur dan merupakan lapisan tanah yang subur, luasnya berkisar antara 10 persen hingga 15 persen dari seluruh wilayah. Pada bagian lain, yaitu bagian selatan, barat laut dan utara, tanahnya terdiri dari lapisan Mediteran yang bercampur dengan lapisan Grumosol dan Latosol. Lapisan tanah ini sifatnya kurang daya serapnya terhadap air sehingga menyebabkan lapiasan tanah ini sedikit lebih stabil. Sehingga dapat di perkirakan beberapa jenis beban yang berfungsi pada bangunan. Beban bangunan memiliki dua sumber diantaranya :

A. geofisik

Beban geofisik tersebut terdiri dalam tiga diantaranya metereologi, gravitasi, dan seismologi.

1. Beban gravitasi adalah suatu beban mati, beban ini dapat tetap hidup semasa bangunan itu ada.
2. Beban meteorologi merupakan beban yang berganti sesuai waktu seperti angin dan hujan.
3. Beban seismologi merupakan beban gempa.

B. beban yang ditimbulkan manusia merupakan beban hidup yaitu pergerakan manusia itu sendiri.

Ketentuan perencanaan bangunan yang tahan terhadap gempa yaitu :

a) Bangunan tidak dapat mengalami kerusakan untuk gempa kecil.
b) Komponen non - struktural dapat mengalami keruntuhan untuk gempa menengah, komponen struktural tidak dapat rusak.
c) Bangunan tidak dapat mengalami keruntuhan untuk gempa kuat dan komponen

struktural dapat mengalami kerusakan.

2.2 Konsep Struktur Tahan Gempa

Ketika mendesain sebuah bangunan tahan gempa, kita tidak bisa merencanakan sebuah struktur gedung dengan ketahan gempa yang sama dikarenakan disetiap daerah memiliki beban gempa dan karakter yang berbeda-beda

Konsep bangunan tahan gempa secara umum sebagai berikut:

1. Pada saat gempa kecil atau minor earthquake yang sering terjadi maka struktur utama bangunan harus tidak mengalami kerusakan dan dapat berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi yang terjadi pada elemen nonstruktural masih diperbolehkan.
2. Pada saat gempa menengah atau moderate earthquake yang relatif jarang terjadi maka struktur utama bangunan boleh mengalami kerusakan atau retak ringan tetapi kerusakan tersebut masih bisa diperbaiki. Elemen non-struktural dapat rusak tetapi masih bisa diganti dengan yang baru
3. Pada saat gempa kuat atau strong earthquake yang sering terjadi maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (totally collapse). Pada kondisi ini juga diharapkan apabila terjadi gempa besar tidak sekaligus memakan korban jiwa dan masih dapat melindungi penghuni atau pengguna bangunan secara maksimal.

Sifat dari struktur yang menjadi syarat utama perencanaan struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

2.2.1 Daktilitas Struktur

Daktilitas adalah Kemampuan struktur sebuah gedung untuk mengalami simpangan secara pasca-elastic yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya kelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan.

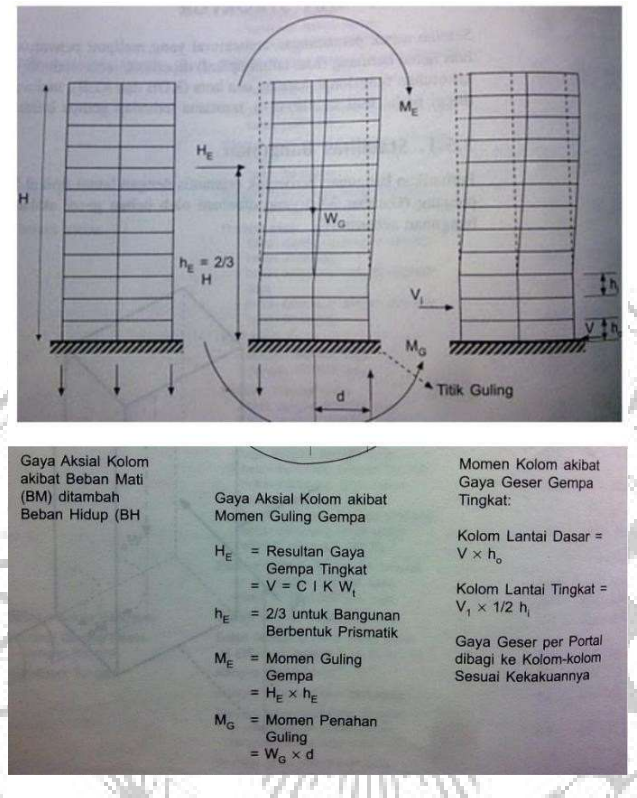
2.2.2 Stabilitas Bangunan Tinggi

Setelah aspek perancangan arsitektural yang meliputi penentuan luas lantai dasar dan luas lantai berulang (tipikal) diperiksa dan diuji kesesuaiannya dengan kebutuhan fungsioal, maka bangunan tinggi perlu diuji stabilitasnya, terutama

terhadap gempa bumi. Nah, stabilitas bangunan terhadap beban gempa dapat diperoleh dari :

a) Berat Sendiri Bangunan

Gambar 2. 1 gaya-gaya bangunan



Penahan momen guling (tumbang) gempa diperoleh dari berat sendiri bangunan, yaitu :

WG= 1,2 DL + 1,6 LL

Dalam analisis stabilitas bangunan akan dihasilkan momen guling gempa

ME = HE. hE = V. 2/3H

Dimana :

V = adalah beban geser dasar akibat gempa (SNI Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002). **H** = adalah tinggi bangunan

Momen penahan guling diperoleh dari massa bangunan :

MG = WG. d

Dimana :

WG = adalah berat total bangunan

d = adalah jarak dari titik berat massa bangunan ke titik guling

Stabilitas bangunan akan tercapai, jika persyaratan berikut terpenuhi :

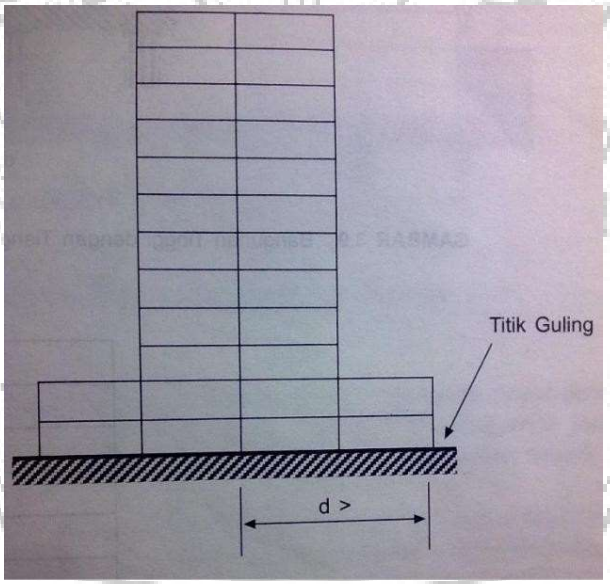
$MG/ ME \geq 1,5$

Jika persamaan tersebut tidak terpenuhi, maka dapat dilakukan beberapa modifikasi, seperti : **membuat podium, basement, dll**

b) Membuat Podium dan Tiang Pancang

Penambahan podium seperti gambar di bawah ini dapat memperbesar jarak 'd', sehingga nilai MG akan bertambah besar dan diharapkan dapat memenuhi persamaan MG/ ME ≥ 1,5

Gambar 2. 2 titik tiang pancang

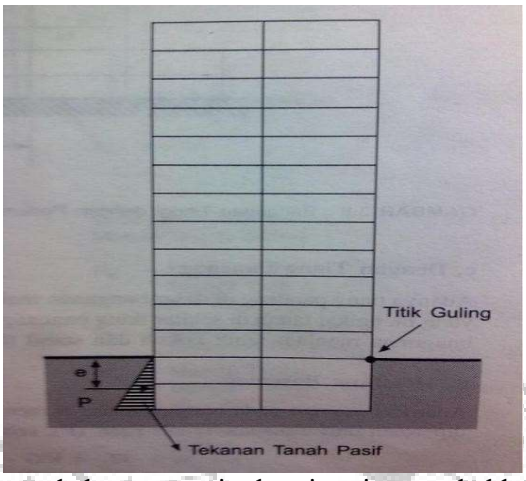


Dengan Tiang Pancang

Adanya pondasi tiang pancang pada dasar bangunan dapat lebih memperkuat bangunan, karena bangunan seakan- akan mempunyai akar yang mengikat tanah di sekitar tiang pancang. Membuat bangunan semakin kokoh dan stabil.

c) Membuat Basement

Gambar 2. 3 gaya pada basemen



Adanya basement pada bangunan tingkat tinggi menyebabkan penambahan nilai MG yang diperoleh dari tekanan tanah pasif (P), sehingga momen penahan guling menjadi : MG = WG . d + P. e Dimana:

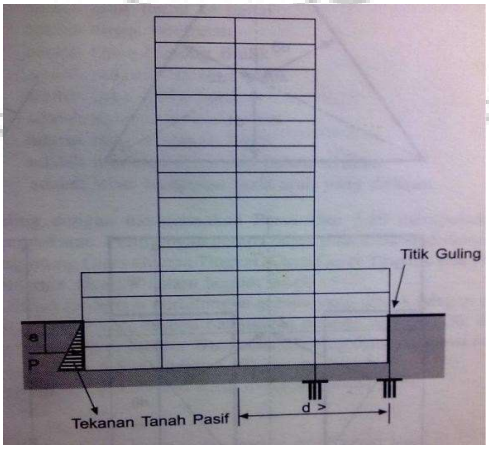
P adalah resultan tekanan pasif tanah pada basement

e adalah titik tangkap gaya resultan terhadap muka tanah.

d) Gabungan Podium dan Basement

Penggabungan podium dan basement (dengan atau tiang pancang) pada bangunan tinggi bukan saja akan memperbesar nilai 'd', tapi juga nilai MG

Gambar 2. 4 gaya pada basemen dan podium



2.2.3 Mekanisme Keruntuhan

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, struktur direncanakan agar memiliki pola keruntuhan yang aman, yaitu beam side sway mechanism. Pada mekanisme ini balok-balok diharapkan mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum kolom. Oleh sebab itu kolom direncanakan lebih kuat daripada balok yang dikenal dengan konsep strong column weak beam (Widodo, 2012).

Side sway mechanism ini diharapkan terjadi untuk menghindari soft story mechanism yang sangat berbahaya bagi struktur, Soft story mechanism terjadi jika kapasitas kolom pada suatu lantai yang sama, lebih kecil dari kapasitas balokbalok yang merangkainya. Pola keruntuhan side sway mechanism mensyaratkan sendi-sendi plastis hanya boleh terjadi pada ujung- ujung balok, ujung bawah kolom lantai terbawah dan ujung atas kolom lantai teratas.

2.2.4 Sendi Plastis Pada Struktur Beton

Menurut SNI 2847-2019 Daerah sendi plastis (Plastic hinge region) — adalah Panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa, yang memanjang tidak kurang dari jarak h dari penampang kritis dimana pelelehan lentur berawal.

Perencanaan struktur tahan gempa dengan memproporsikan lokasi sendi-sendi plastis. Ketika terjadi mekanisme goyang (sway mechanism), sendi-sendi plastis tersebut yang mampu memencarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang diterima struktur, harus dikendalikan sedemikian rupa agar struktur tetap berperilaku memuaskan dan tidak sampai runtuh saat terjadi gempa kuat. Pada struktur rangka terbuka, perencanaan dasar struktur tahan gempa adalah bahwa batang-batang horisontal (balok) harus runtuh lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan-kerusakan pada batang vertikal (kolom), bukan sebaliknya.

Apabila sistem struktur telah ditentukan, tempat-tempat yang direncanakan bagi sendi-sendi plastis untuk pemencaran energi harus ditentukan dan dibuatkan detailnya sedemikian rupa sehingga komponen struktur yang bersangkutan benar-benar daktil. Mekanisme terbentuknya sendi plastis dikendalikan dan diarahkan agar timbul di tempat-tempat yang direncanakan

dengan cara meningkatkan kuat komponen-komponen struktur yang bersebelahan, sehingga komponen-komponen struktur lain tersebut memiliki cadangan kekuatan yang cukup untuk menjamin berlangsungnya mekanisme pemencaran energi selama gempa berlangsung. Hal ini sebagaimana terjadi pada konsep kolom yang direncanakan lebih kuat dari balok.

2.2.5 Strong Column Weak Beam

Konsep strong column weak beam merupakan konsep dari sebuah sistem struktur yakni sistem rangka pemikul momen khusus. Pada sistem ini, kolom-kolom direncanakan lebih kuat dari pada baloknya dan sendi plastis direncanakan berada pada balok. Hal ini dilakukan agar simpangan antarlantai dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan dengan kekuatan dari kolom. Dengan diterapkannya sistem ini, maka skenario keruntuhan pada bangunan dapat didesain dalam skema gradual (berangsur) melalui balok-pelat selanjutnya bagian kolom yang dapat mengalami kegagalan.

Terdapat beberapa alternatif penerapan sistem SCWB (*Strong Column And Weak Beam*) pada struktur bangunan. Adapun metodenya adalah sebagai berikut :

a) Dimensi desain kolom harus lebih besar dibanding balok

dalam perencanaan struktur bangunan, dimensi kolom harus dibuat lebih besar perbandingannya terhadap dimensi balok. Metode ini merupakan dasar perencanaan mengenai estimasi dimensi dalam *preliminary analysis*.

Desain kolom sebaiknya memiliki bentuk yang memiliki inersia kekakuan arah X dan Y yang seimbang, dapat menggunakan penampang persegi atau lingkaran untuk bangunan beton bertulang atau H *section* untuk bangunan baja struktural.

b) Desain jumlah kolom sesuai dengan luasan balok dan platmemastikan bahwa *grid* atau jumlah kolom terhadap luasan bentang/ area merupakan kondisi yang proporsional. Hal ini cukup berpengaruh terhadap distribusi beban lantai/ balok terhadap masing-masing kolom. Distribusi yang merata akan memberikan perilaku yang seragam sehingga kolom dapat bekerja sesuai sistem.

c) Pastikan sambungan balok dan kolom harus kuat Jika kolom sudah direncanakan dan memenuhi kaidah SCWB (*Strong Column And Weak Beam*), selanjutnya adalah memperhatikan bagian sambungan (*joint connection*). Desain sambungan harus dipastikan lebih kuat dari kolom-balok dikarenakan sistem SCWB ini tidak dapat membaca skenario kegagalan pada sambungan. Selain itu, beton bertulang harus didesain sesuai standar panjang penyaluran pada SNI (Standar Nasional Indonesia). Sementara struktur baja dapat didesain dengan pembautan, las, maupun gabungan keduanya sesuai dengan SNI.

2.2.6 Perencanaa Berbasis Kapasitas

Metode desain kapasitas adalah metode desain yang mengontrol pola keruntuhan struktur daktail dengan merencanakan lokasi dan tipe sendi plastis yang boleh terjadi pada struktur, sehinga tidak membahayakan komponen struktur lain yang dianggap lebih penting.

Dimana elemen struktur dianggap akan aman apabila kapasitas kekuatan harus sama atau lebih besar dari pada kebutuhan kekuatan. Pendekatan ini mengandalkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas struktur.

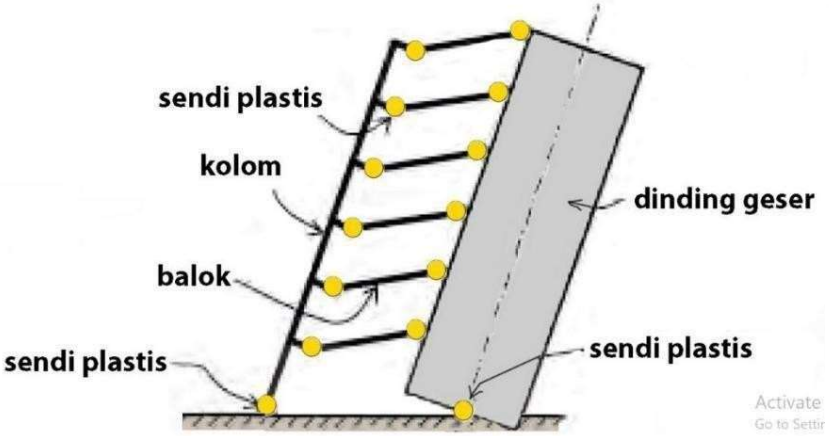
2.2.7 Perencanaan Berbasis Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup,sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Perilaku ini cukup penting karena saat pelelehan elemen struktur terjadi maka terjadi pula peresapan energi gempa oleh struktur.Saat terjadi gempa, daktilitas akan mempertahankan kekuatan dan kekakuan pada struktur sehingga struktur gedung tetap berdiri walaupun telah berada pada ambang keruntuhan.

Gambar 2. 5 Struktur daktail dan struktur getas [1] Gedung Kantor Pusat Bank Sulteng dan Hotel Roa Roa di Palu

Struktur dengan daktilitas tertentu akan memungkinkan terjadinya sendi plastis secara bertahap pada elemen-elemen struktur yang telah ditentukan.Dengan terbentuknya sendi plastis pada struktur, maka struktur akan mampu menahan beban gempa yang besar tanpa memberikan kekuatan berlebihan pada elemen struktur karena energi kinetik akibat gerakan tanah yang diterima akan diserap oleh sendi plastis tersebut.Semakin banyak sendi plastis yang terjadi pada struktur maka semakin banyak pula energi yang diserap oleh struktur. Agar struktur gedung memiliki daktilitas yang tinggi, maka harus direncanakan sendi plastis yang terjadi berada pada balok- balok dan bukan terjadi pada kolom, kecuali pada kaki kolom paling bawah dan bagian atas kolom penyangga atap (Gambar 2).



Gambar 2. 6 Mekanisme keruntuhan ideal suatu struktur gedung dengan sendi plastis terbentuk pada ujung-ujung balok, kaki kolom [2]

Hal ini dapat terjadi jika bangunan didesain dengan kapasitas kolom-kolom melebihi kapasitas balok yang bertemu pada kolom tersebut (*Strong Column Weak Beam).* Selain itu *displacement* yang yang terjadi harus dijaga batasannya agar menjaga integrasi bangunan dan bertambahnya momen akibat P-Δ efek.Rasio antara simpangan maksimum struktur (Xmax) terhadap simpangan struktur pada saat terjadi sendi plastis yang pertama (Xy) dinyatakan sebagai faktor daktilitas (μ).

2.3 Sistem Penahan Gempa

Pada bangunan tinggi tahan gempa umumnya gaya-gaya pada kolom cukup besar untuk menahan beban gempa yang terjadi sehingga umumnya perlu menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dinding geser yang kaku pada bangunan, akan menyerap sebagian besar beban gempa. Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifatnya tersebut digabungkan. Dari gabungan keduanya diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis.

Berikut adalah jenis-jenis sistem penahan gempa :

2.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul Momen atau Moment Resisting Frame merupakan suatu beban lateral khususnya beban gempa ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Peran balok, kolom dan sambungan sangat penting, yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap,sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur, sistem ini terbagi menjadi 3 yaitu : 1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) 2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) 3. Sistem Rangka Pemikul Khusus (SRPMK) Pembagian sistem tersebut berdasarkan pada jenis tanah wilayah. Kota Malang merupakan daerah yang sering mengalami gempa dan masuk pada kategori resiko gempa D maka dalam

perencanaan bangunan dibutuhkan perencanaan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Dalam sistem ini menggunakan konsep yaitu Strong Coloumn and Weak Beam (kolom kuat dan balok lemah). Agar sebuah desain struktur di daerah gempa menjadi ekonomis, sifat daktail yang dimiliki struktur dapat dimanfaatkan untuk menerima energi gempa pasca kondisi elastisnya. Dengan daya daktilitas ini, respon spectrum gempa rencana elastis dapat direduksi menjadi gempa nominal dengan konsekuensi persyaratan desain yang cukup kuat. Menurut SNI 1726- 2012, persyaratan rangka pemikul momen adalah kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan.

A. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SRPMB adalah sistem rangka pemikul biasa dimana struktur rangka beton bertulang direncanakan berperilaku daktail terbatas artinya kapasitas dakailitas strukturnya dikerahkan secara terbatas dan hanya cocok digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal KDS B (Kategori Desain Seismik B). Didesain untuk geser seperti persamaan dibawah ini : (a) Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal. kolom dalam setiap ujung terkekang daari panjang yang tak mtertumpu yang ditentukan oleh lentur kurrvatur balik. (b) Geser maksimm yang diperoleh dari gabungan beban desain yang melibatkn E, dengan E ditingkatkan Ω0.

B. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

SRPMM adalah sistem rangka pemikul menengah dimana struktur rangka beton bertulang direncanakan berperilaku daktail sedang artinya kapasitas dakailitas strukturnya dikerahkan secara biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan detailing dan dapat digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal KDS C (Kategori Desain Seismik C).

C. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SRPMK adalah sistem rangka pemikul khusus dimana struktur rangka beton bertulang direncanakan berperilaku daktail penuh artinya

semua kapasitas daktilitas strukturnya dikerahkan secara maksimal dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan KDS D, E, F (Kategori Desain Struktur D, E, F). Dari kategori yang di tetapkan oleh SNI 2847:2013 maka dapat ditabelkan seperti tabel berikut :

Dalam prosedur perencanaan berdasarkan SNI Gempa, struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya boleh direncanakan terhadap beban gempa yang direduksi dengan suatu faktor modifikasi Respon Struktur (faktor R), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang memiliki struktur.

2.3.2 Dinding Geser

a) Pengertian Dinding Geser (Shear Wall)

Dinding geser adalah struktur dinding vertikal yang digunakan untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dengan adanya Shear Wall yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. dinding geser biasanya ditempatkan di luar, di dalam ataupun berupa inti yang memuat ruang lift atau tangga, perencanaan dinding geser yang baik tidak terlepas dari pemilihan bentuk dinding, lokasi penempatannya pada denah serta bentuk ragam keruntuhannya.

b) Klasifikasi Dinding Geser

Berdasarkan letak dan fungsinya, Shear Wall / dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

1. Bearing Wall adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antara partemen yang berdekatan.
2. Frame Wall adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun di antara baris kolom bagian dalam.
3. Core Wall adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam

gedung, yang biasanya di tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan ekonomis.

Berdasarkan geometrisnya dinding geser dikategorikan sebagai berikut:

1) Flecural Wall (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio / ≥ , dimana desain dikontrol terhadap prilaku lentur.
2) Squat Wall (dinding pendek), yaitu dindiing geser yang memilki rasio /≤ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
1) Coupled Shear Wall (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

c) Tulangan Minimum

1) Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton, ℓ, harus:
   (a) 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan fy tidak kurang dari 420 Mpa, atau
   (b) 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
   (c) 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besari dari Ø-16 atau D-16
2) Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton , harus:
   (a) 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan fy tidak kurang dari 420 Mpa, atau
   (b) 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
   (c) 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besari dari Ø-16 atau D-16
3) Batasan Ketinggian Bangunan yang Ditingkatkan untuk Dinding Geser Beton Bertulang

Batasan ketinggian diijinkan untuk ditingkatkan dari 48 m sampai 72 m untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D atau E. Apabila struktur mempunyai sistem penahan gaya gempa berupa dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus, struktur harus memenuhi persyaratan berikut:

(a) Struktur tidak boleh mempunyai ketidak beraturan torsi yang berlebihan seperti didefinisikan dalam tabel 2.16 (ketidak beraturan struktur tipe 1b)

(b) Dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus, pada semua bidang harus menahan tidak lebih dari 60 persen gaya gempa total dalam setiap arah, dengan mengabaikan pengaruh torsi tak terduga.

Tabel 2. 1 Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitiung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3	E dan F D B, C, dan D

	terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasalpasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang di tentukan.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisika diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergesera elemen vertikal.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E,

		Tabel 13 12.2.2	dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber : SNI 1727 2019

d) Pengangkuran Dinding Struktural

Dinding struktural yang berfungsi sebagai penumpu beban vertikal atau penahan geser lateral untuk bagian struktur harus diangkurkan ke pelat atap dan seluruh pelat lantai serta elemen-elemen struktur yang memberikan tahanan lateral untuk dinding atau yang ditumpu oleh dinding. Angkur harus memberikan sambungan langsung antara dindin-dinding dan konstruksi pelat atap atau konstruksi pelat lantai. Angkur harus mampu menahan gaya horizontal terfaktor yang tegak lurus bidang dinding sebesar minimum 0,2 kali berat daerah tributari dinding pada sambungan, tapi tidak kurang dari 0,24

e) Gaya Pengangkuran Dinding

Pengangkuran dinding struktural pada konstruksi pendukung harus dapat menyediakan suatu sambungan langsung yang mampu menahan gaya rencana berikut:

$$F_p = 0{,}4 S_{DS} k_a I_e W_p$$

F_p tidak boleh diambil kurang dari $0{,}2 k_a I_e W_p$

$$k_a = 1{,}0 \frac{L_f}{30}$$

k_a tidak perlu diambil sebesar 2,0

Keterangan:

F_p = gaya desain pada angkur-angkur individu

S_{DS} = parameter percepatan respons spectral desain pada perioda pendek ($S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$)

I_e = faktor keutamaan gempa (Tabel 2.4)

k_a = faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma

L_f = bentang diafragma fleksibel (dalam m) yang memberikan tumpuan lateral pada dinding; bentang tersebut diukur antara elemen-elemen vertikal yang menyediakan tumpuan lateral terhadap diafragma tersebut pada araha yang ditinjau. Nilai L_f adala 0 untuk diafragma kaku

W_p = berat dinding sesuai luasan tributari angkur

Bila angkur tidak terletak di atap dan seluruh diafragma tidak fleksibel, maka nilai yang diperoleh dari $_p = 0{,}4\ _{DS}\ _a\ _e$ $_p$ diijinkan untuk dikalikan dengan faktor (1+2z/h), dimana z adalah tinggi angkur di atas dasar struktur dan h adalah 3 tinggi atap di atas dasar.

Dinding struktural harus didesain untuk menahan lentur antara angkur- angkur bila spasi angkur melebihi 1200 mm.

f) Gaya Pengangkuran Dinding

Pengekangan pada dinding geser terjadi pada daerah elemen pembatas (*boundary element*). Elemen pembatas ini ditentukan dengan persamaan:

$$c > \frac{l_w}{600 \times (\frac{\delta u}{hw})}; \frac{\delta u}{hw} > 0{,}007$$

Keterangan:

c = panjang dari serat terluar beton ke garis normal. Untuk nilai didapat dari drift hasil analisa menggunakan software

Hw = tinggi dinding geser

Jika nilai , maka $\frac{\partial u}{hw} < 0{,}007$, nilai yang digunakan adalah 0,007.

Jika $c < \frac{l_w}{600 \times (\frac{\partial u}{hw})}$ maka dinding geser tidak memerlukan tulangan pengekang.

Tulangan pengekang harus dipasang sepanjang elemen pembatas (boundary element). Untuk panjang elemen pembatas harus dipasang secara horizontal tidak kurang dari:

- − 0,1 w
- /2

Menentukan luas tulangan pengekangan pada dinding geser juga menggunakan rumus di bawah ini:

- $A_{sh} = 0{,}3 \frac{s.bc.f_{cr}}{f_y} [(\frac{Ag}{Ach}) - 1]$
- $A_{sh} = 0.09 \frac{s.bc.f_{cr}}{f_y}$

2.3.3 Sistem Ganda atau Dual System

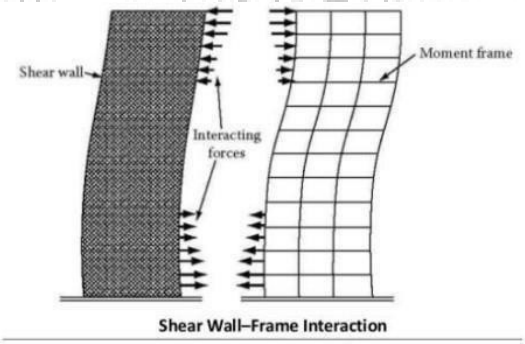
Pada struktur bangunan tinggi sering digunakan sistem gabungan antara portal penahan momen dengan dinding geser yang disebut sebagai sistem ganda (*dual system*). Sistem ganda (*dual system*) digunakan terutama pada bangunan tinggi yang dibangun di daerah yang terkena pengaruh gempa bumi. Struktur sistem ganda (*dual system*) memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser. Proses desain terdiri dari dua langkah. Pertama, bangunan itu dirancang untuk kekuatan tingkat servis yang diperoleh dengan menggunakan spektrum respons spesifik lokasi elastis dengan periode ulang 25 tahun. Pada tahap ini, anggota struktural pada dasarnya dirancang untuk tetap elastis,dimana simpangan antar lantai secara keseluruhan dibatasi hingga 0,5%. Kedua, komponen diperiksa untuk memenuhi kriteria penerimaan pencegahan keruntuhan. Untuk tujuan ini, bangunan dimodelkan secara analitis, dan analisis riwayat respons nonlinier dilakukan pada tingkat MCE, yang membutuhkan tujuh pasang target gerakan tanah yang cocok dengan spektrum dengan periode ulang rata-rata 2475 tahun, Menurut kriteria penerimaan pencegahan keruntuhan, balok dan kolom dari rangka momen khusus dan dinding inti diharapkan memiliki perilaku daktail nonlinier.dan perilaku getas

linier masing-masing di bawah pembebanan lentur dan geser. Balok kopling diharapkan memiliki perilaku daktail nonlinier di bawah beban geser. Tindakan ulet seperti balok kopling deformasi membutuhkan rasio permintaan-kapasitas 1,5, sedangkan tindakan getas seperti deformasi geser pada dinding inti membutuhkan 1,0. Rasio simpangan antar lantai puncak diperkirakan akan tetap di bawah 4,5%, dengan penyimpangan sisa maksimum 1,5%.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 sistem ganda terdiri dari :

a) Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi,
b) Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang- kurangnya 25% dari seluruh beban lateral,
c) Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama- sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda.

Gambar 2. 7 Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda



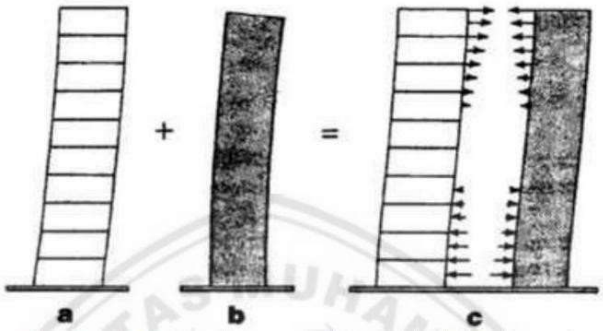
Sumber : SNI 1727 2013

Penggabungan antara portal penahan momen dan dinding geser dapat memberikan hasil yang baik untuk memperoleh kekenyalan./daktilitas (*ductility*) dan kekakuan sistem struktur. Dalam gedung tinggi seringkali terjadi eksentrisitas yang berlebihan terutama untuk gedung tinggi yang bentuknya tidak beraturan. Hal ini terjadi karena tidak berimpitnya pusat massa dan pusat kekakuan gedung, sehingga bisa menyebabkan rotasi pada gedung. Dengan

adanya interaksi antara portal dan dinding geser, dinding geser akan berprilaku flexural/bending mode, sedangkan frame akan berdeformasi dalam shear mode, gaya geser dipikul oleh frame pada bagian atas dinding geser (*shearwall*) memikul gaya geser pada bagian bawah, sehingga eksentrisitas yang terjadi tidak terlalu besar.

2.3.4 Interaksi elemen antara SRPM dan dinding geser

Untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara rangka kaku dengan dinding geser (dual system). Pada struktur kombinasi ini, dinding geser dan kolom-kolom struktur akan dihubungkan secara kaku (rigid) oleh balok-balok pada setiap lantai bangunan. Dengan adanya hubungan yang rigid antara kolom, balok, dan dinding geser akan memungkinkan terjadinya interaksi antara struktur rangka dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, dimana struktur rangka dan dinding geser akan bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, maka simpangan lateral akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Semakin tinggi suatu struktur gedung, semakin kecil simpangan yang terjadi. Besarnya simpangan 11 keseluruhan yang terjadi pada sistem rangka kaku-dinding geser diperoleh dengan cara menggabungkan perilaku kedua elemen tersebut seperti yang terdapat pada gambar di bawah.



Gambar 2. 8 superimpos mode individu dari deformasi

a) Deformasi mode lentur untuk dinding geser (Gambar 2.5 b) Pada struktur dinding geser, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada bagian atas bangunan sehingga sistem dinding geser memberikan kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan.

b) Interaksi antara rangka kaku dan dinding geser (Gambar 2.5 c)

Interaksi antara struktur rangka kaku dan dinding geser diperoleh dengan membuat superposisi mode s defleksi terpisah yang menghasilkan kurva S datar. Perbedaan sifat defleksi antara dinding geser dan rangka kaku menyebabkan dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sedangkan rangka kaku akan menahan simpangan dinding geser pada bagian atas. Dengan demikian, geser akibat gaya lateral akan dipikul oleh rangka pada bagian atas bangunan dan dipikul oleh dinding geser dibagian bawah bangunan.

2.4 Metode Analisis dan Pemodelan Bangunan

Metode analisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data, Metode analisis data kuantitatif adalah metode yang bergantung kepada kemampuan untuk menghitung data secara akurat. Selain itu, metode ini juga memerlukan kemampuan untuk menginterpretasikan data yang kompleks. Beberapa contoh metode analisis kuantitatif, seperti analisis deskriptif, regresi, dan faktor. Metode analisis data kuantitatif mempunyai berbagai macam jenis analisis seperti teknik korelasional, regresi, komparasi, deskriptif dan sejenisnya.

Metode ini merupakan pendekatan pengolahan data melalui metode statistik atau matematik yang terkumpul dari data sekunder. Kelebihan dari metode ini adalah kesimpulan yang lebih terukur dan komprehensif. Metode metode lainnya yang dapat digunakan dalam proses analisis data adalah analisis teks, statistical, diagnosa, prediktif, preskriptif.

2.4.1 Metode Statis Ekivalen

Analisis statik ekivalen merupakan suatu cara analisis statik struktur, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horizontal untuk menirukan pengaruh gempa yang sesungguhnya akibat gerakan tanah. Pada bangunan-bangunan yang sangat tinggi, tidak beraturan, serta bangunan-bangunan yang memerlukan ketelitian yang sangat besar digunakan perencanaan analisis dinamik, yang terdiri dari analisis ragam respons spektrum dan analisis respons dinamik riwayat waktu (time history).

2.4.2 Metode Dinamis

Metode Dinamis adalah metode penyelesaian dengan menguraikan solusi menjadi beberapa tahap atau iterasi sedemikian hingga solusi dari persoalan tersebut dapat dipandang sebagai serangkaian keputusan yang saling berkaitan.selain itu metode dinamis adalah metode yang pengerjaanya menggunakan bantuan aplikasi atau program dalam komputer.

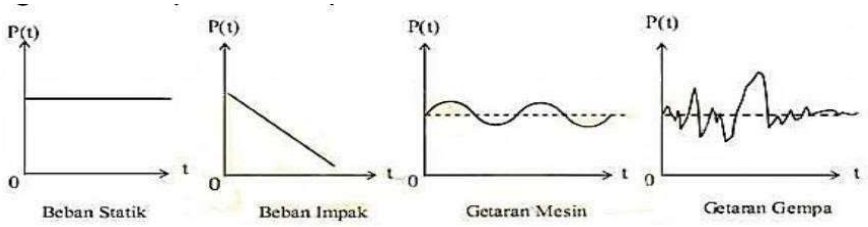
Berikut adalah metode dinamis yang dipakai pada penelitian ini:

2.4.2.1 Metode RSA (Respon Spektrum Analisis)

Metode analisis dinamik respon spektrum yang dilihat berdasarkan nilai displacement, dan drift. Maksud dari penelitian ini adalah menganalisis struktur gedung dengan analisis dinamik respon spektrum yang ditinjau berdasarkan displacement,dan drift. Tujuan yang dapat diambil dari penelitian ini dapat menganalisis Batas Layan, Batas Ultimate, Kontrol Partisi Massa, Level Kinerja Struktur Menurut ATC – 40 pada gedung bertingkat menggunakan analisis dinamik respon Spektrum.

Analisis dinamik bertujuan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban static ekuivalen. Pada analisis ragam spektum respon, sebagai spectrum percepatan respon gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar (C) untuk wilayah masing- masing gempa. Nilai C tersebut tidak berdimensi sehingga respon masing-masing ragam merupakan responrelatif.

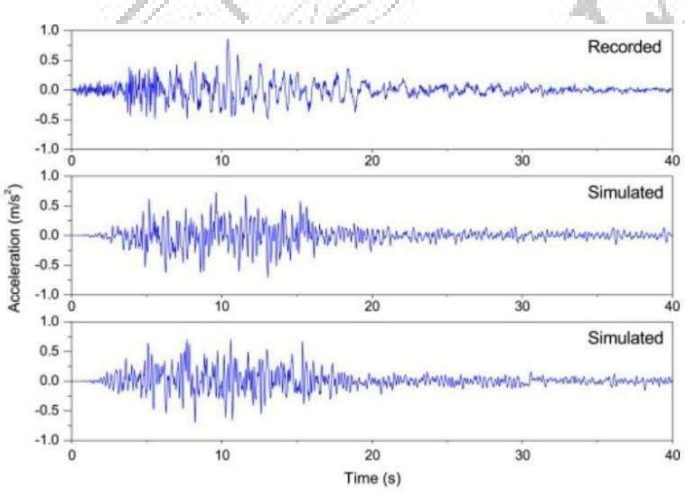
Gambar 2. 9 getaran gempa



2.4.2.2 Metode THA (Time Histori Analisis)

Analisis Dinamik Riwayat Waktu adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur bangunan gedung yang berperilaku linear atau nonlinier terhadap gerakan tanah akibat Gempa.Rencana sebagai data masukan, di mana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi bertahap.Beban gempa merupakan fungsi dari waktu, sehingga respon yang terjadi pada struktur gedung juga tergantung dari waktu pembebanan.Akibat beban Gempa Rencana maka struktur akan tetap berperilaku elastik untuk analisis linear dan berperilaku inelastik untuk *analisis nonlinear*. Biasanya analisis riwayat waktu lebih sering digunakan untuk kondisi nonlinear, namun tidak jarang juga digunakan untuk kondisi linear saja.

Gambar 2. 10 Hasil ACCELEROGRAM



Hasil gambar untuk ACCELEROGRAM

Untuk mendapatkan respon struktur akibat pembebanan dari rekam *Accelerograms*, (accelogram; perekaman akselerasi gerakan dasar bumi pada saat gempa terjadi) penggunaan modal analisis tidak dapat dilakukan, integrasi numerik langsung dengan memperhatikan struktur sebagai persamaan *couple* adalah dasar dari analisis *Time History* dimana metode integrasi yang umumnya digunakan adalah *metode Newmark*.Dalam RSNI Gempa 1726: 2012 disyaratkan paling sedikit tiga gerak tanah yang sesuai harus digunakan dalam analisis.Kondisi lokasi, geologi, topografi dan seismotektoniknya dipilih yang sesuai dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada.Hal ini untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi

lokasi. Maka paling sedikit harus ditinjau 3 buah akselerogram dari 3 gempa yang berbeda.Jika rekaman gempa yang didapatkan tidak cukup, diperbolehkan menggunakan rekaman gempa buatan yang disesuaikan dengan respon spectrum di lokasi struktur berada.Rekam gempa yang digunakan juga harus dimodifikasi puncak percepatannya hingga sekurang-kurangnya setara terhadap spektrum SNI. Beban gempa adalah fungsi waktu, sehingga respon pada struktur juga tergantung dari waktu pembebanan. Contoh rekam gempa asli dan rekam gempa yang telah dimodifikasi:

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG