

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Pada perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, konfigurasi denah bangunan, sifat fisis, dan mekanis material struktur dan bentuk atau sistem struktur, harus ditentukan karena akan mempengaruhi tahap perencanaan selanjutnya. Bentuk konfigurasi struktur berpengaruh terhadap respon statik maupun respons dinamik struktur, dalam menerima respon beban gempa.

Perencanaan bangunan tahan gempa harus didasarkan pada filosofi desain bangunan tahan gempa. Filosofi desain bangunan tahan gempa (*Earthquake Design Philosophy*) berdasarkan (Badan Standarisasi Nasional, 2002) menyatakan:

- a. Gempa ringan (*minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan masih berfungsi dengan baik.
- b. Gempa sedang (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki
- c. Gempa kuat (*Strong earthquake*) yang kecil kemungkinan terjadinya, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total

#### 2.1.1 Penentuan Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi situs berdasarkan nilai kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil ( $\bar{v}$ ), nilai NSPT, dan kuat geser rata-rata ( $\bar{s}_u$ ) (Standardisasi and Badan Standarisasi Nasional, 2012). Dari ketiga parameter tersebut, nilai NSPT paling sering digunakan untuk menentukan jenis tanah.

#### 2.1.2 Respon Spektrum

Respon spektrum gempa adalah grafik hubungan antara periode getar ( $T$ ) dengan respon percepatan gempa ( $S_a$ ). Respon spektrum desain sesuai dengan SNI 1726 2019 harus mengacu pada Gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain  $S_a$  diambil dari Persamaan 2.1.

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.1)$$

- b. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain diambil berdasarkan Persamaan 2.2 sampai 2.8

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.2)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.3)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.7)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.8)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = variabel respon spektrum percepatan desain pada periode pendek.

$S_{D1}$  = variabel respon spektrum percepatan desain pada periode 1 detik.

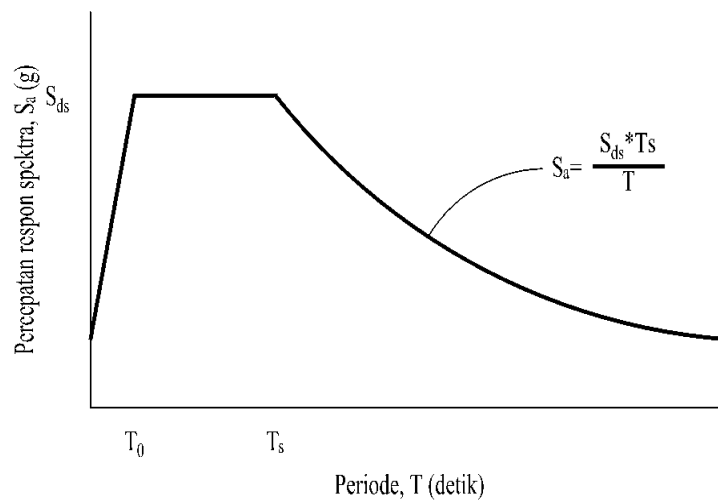
$T$  = periode getar fundamental struktur, yang didapatkan dari perumusan matematis atau dari rumus pendekatan.

$S_s$  = variabel respon spektrum percepatan gempa  $M_{CER}$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = variabel respon spektrum percepatan gempa  $M_{CER}$  terpetakan untuk periode 1,0 detik.

$F_a$  = koefisien situs untuk periode pendek.

$F_v$  = koefisien situs untuk periode panjang.



Gambar 2.1. Respon spektrum desain (Standardisasi and Badan Standarisasi Nasional, 2012).

### 2.1.3 Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen

Perhitungan beban lateral akibat gempa dengan cara statik ekuivalen dilakukan pada struktur bangunan yang beraturan baik pada arah vertikal dan horisontal. Gaya geser dasar akibat gempa dihitung berdasarkan Persamaan 2.9 dan 2.10.

$$V = C_s * W \quad (2.9)$$

$$C_s = \frac{S_a}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar

C<sub>s</sub> = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif

R = faktor modifikasi respon

I<sub>e</sub> = faktor keutamaan gempa

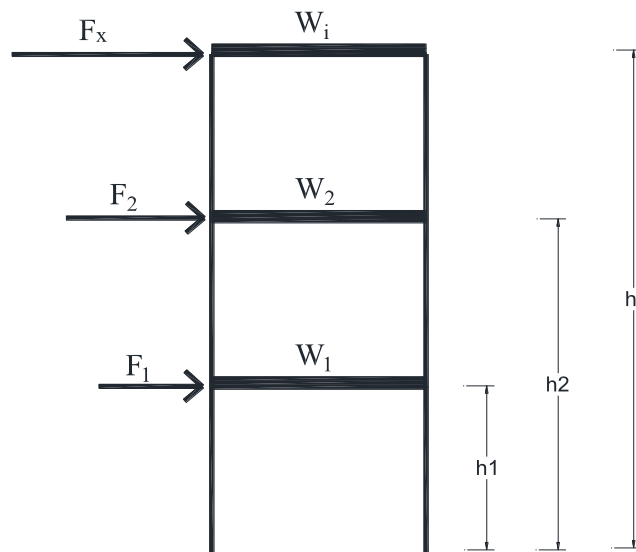
Pembagian distribusi beban lateral gempa pada tiap lantai dilakukan berdasarkan Persamaan 2.11, 2.12 dan Gambar 2.2.

$$F_x = C_{vx}V \quad (2.11)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $C_{vx}$  = faktor distribusi vertical
- $W_i$  dan  $W_x$  = berat seismic efektif pada lantai ke  $i$  atau  $x$
- $h_i$  dan  $h_x$  = elevasi ketinggian lantai ke  $i$  atau  $x$
- $k$  = 1 untuk  $T < 0,5$  detik
- $k$  = 2 untuk  $T \geq 2,5$  detik



Gambar 2.2. Distribusi beban gempa tiap lantai.

#### 2.1.4 Seismic Intensity Level (SIL)

SIL adalah standar pengukuran intensitas guncangan akibat gempa yang dikeluarkan oleh badan meteorologi Jepang JMA. Skala intensitas gempa ini berdasarkan persepsi dan reaksi manusia, situasi di dalam dan di luar ruangan (JMA, 1996). Standar ini membagi intensitas guncangan menjadi 10 level, dimana level 5 dan level 6 dibagi menjadi dua yaitu *Weak* dan *Strong*. Penjelasan SIL selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.1. Pembagian level SIL berdasarkan interval mSIL sesuai dengan standar JMA selengkapnya seperti pada Tabel 2.2 (Sokolov and Furumura, 2008).

Tabel 2.1 Penjelasan level SIL – JMA (JMA, 1996)

Level	Persepsi dan reaksi penghuni	Situasi dalam ruangan
0	Tidak dirasakan oleh manusia, tetapi tercatat pada seismograf.	-
1	Dirasakan lemah oleh beberapa orang pada ruangan yang hening	-
2	Dirasakan oleh banyak orang pada ruangan yang hening. Beberapa orang mungkin terbangun.	Benda-benda tergantung seperti lampu, bergoyang ringan
3	Dirasakan oleh sebagian besar orang. Beberapa orang terbangun.	Peralatan makan di rak berantaka
4	Sebagian besar orang kesulitan berjalan	Benda-benda tergantung seperti lampu, bergoyang hebat. Peralatan makan di rak berantakan. Benda-benda tidak stabil akan jatuh
5 <sup>weak</sup>	Banyak orang harus berpegangan pada benda yang stabil	Benda-benda tergantung akan bergoyang hebat. Peralatan makan di rak akan berjatuh. Banyak benda tidak stabil jatuh. Perabot akan bergeser
5 <sup>strong</sup>	Banyak orang sulit bergerak. Sulit berjalan tanpa berpegangan pada sesuatu yang stabil	Peralatan makan di rak jatuh. TV jatuh dari tempatnya. Perabot yang tidak stabil akan terbalik
6 <sup>weak</sup>	Sulit untuk tetap berdiri tegak	Banyak perabot bergerak dan terbalik. Pintu sulit dibuka
6 <sup>strong</sup>	Sangat tidak mungkin untuk tetap berdiri.	Sebagian besar perabotan bergeser dan terbalik
7	Orang-orang akan terlempar ke udara	Perabotan terbalik

Tabel 2.2 Pembagian interval SIL (Sokolov and Furumura, 2008)

No	SIL	Interval mSIL
1	0	$mSIL \leq 0,5$
2	1	$0,5 \leq mSIL < 1,5$
3	2	$1,5 \leq mSIL < 2,5$
4	3	$2,5 \leq mSIL < 3,5$
5	4	$3,5 \leq mSIL < 4,5$
6	5 <sup>weak</sup>	$4,5 \leq mSIL < 5,0$
7	5 <sup>strong</sup>	$5,0 \leq mSIL < 5,5$
8	6 <sup>weak</sup>	$5,5 \leq mSIL < 6,0$
9	6 <sup>strong</sup>	$6,0 \leq mSIL < 6,5$
10	7	$6,5 \leq mSIL$

### 2.1.5 Penentuan Nilai mSIL

Penentuan level intensitas guncangan pada SIL dihitung berdasarkan nilai mSIL yang terjadi akibat guncangan gempa. Persamaan mSIL merupakan fungsi logaritma dari  $a_{0,3}$  dihitung berdasarkan Persamaan 2.13 (Sakai, 2018).

$$mSIL = 2\log(a_{0,3}) + 0,94 \quad (2.13)$$

Keterangan:

mSIL = nilai kuantitatif SIL

$a_{0,3}$  = resultan vektor akselerasi rangking ke  $(1 + 0,3\text{det}/\Delta_t)$  dari yang terbesar

$\Delta_t$  = interval *time step* riwayat waktu gempa

Nilai  $a_{0,3}$  ditentukan berdasarkan akselerasi riwayat waktu gempa 3 arah Utara Selatan (U-S), Barat Timur (B-T), dan Vertikal (A-B). Pada masing-masing riwayat waktu dilakukan *Fast Fourier Transform* (FFT), selanjutnya dilakukan perhitungan filter sesuai Persamaan 2.14, 2.15 dan 2.16. Hasil perkalian riwayat waktu dan FFT masing-masing riwayat waktu dikalikan dengan filter dan selanjutnya diinverskan. Hasil invers riwayat waktu diresultankan untuk dibuat grafik seperti Gambar 2.3 (Sakai, 2018, Sokolov and Furumura, 2008, Shabestari and Yamazaki, 2001, dan Karim and Yamazaki, 2002).

$$\lambda_1 = \sqrt{1/f} \quad (2.14)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{(1 + 0,694y^2 + 0,241y^4 + 0,0557y^6 + 0,009664y^8 + 0,00134y^{10} + 0,000155y^{12})}} \quad (2.15)$$

$$\lambda_3 = \sqrt{1 - (\exp(-f/0,5))^3} \quad (2.16)$$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 \quad (2.17)$$

Keterangan:

$\lambda_1$  = filter untuk efek periode

$\lambda_2$  = *heigh-cut* filter

$\lambda_3$  = *low-cut* filter

$\lambda$  = total filter

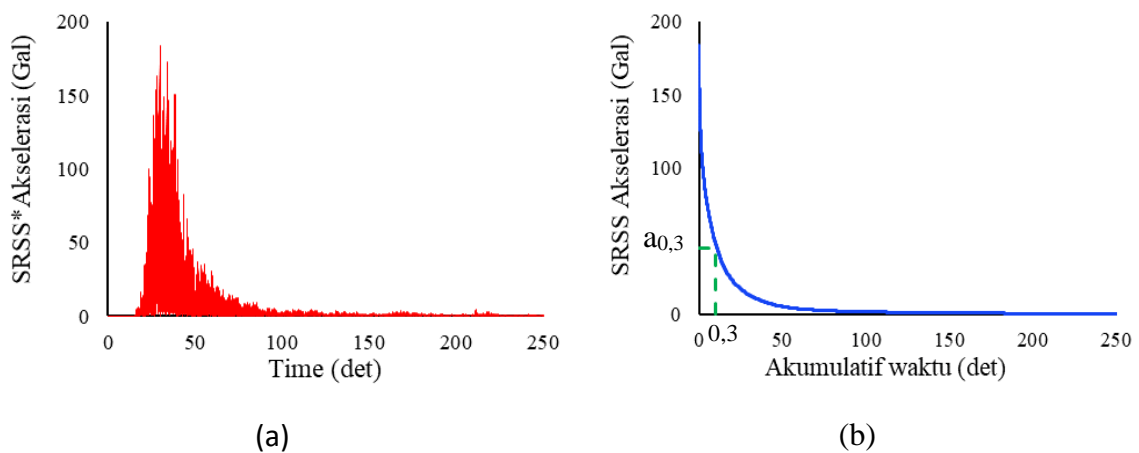
f = frekuensi

y = f/10

### 2.1.6 Penentuan $a_{0,3}$

Penentuan  $a_{0,3}$  diperoleh dari penelitian yang dilakukan di daerah Hongo, Tokyo antara tahun 1894 sampai 1924. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa efek guncangan akan mulai berdampak pada rumah dan pohon setelah terjadi gempa berkesinambungan selama 0,3 detik (Ishimoto, 1932). Bila kesinambungan percepatan kurang dari 0,3 detik maka guncangan tidak berdampak pada benda-benda tersebut. Dengan demikian disimpulkan bahwa marjin  $a_{0,3}$  merupakan waktu akselerasi penting dalam analisis.

Nilai  $a_{0,3}$  ditentukan berdasarkan respon akselerasi dari tiga arah. Nilai respon akselerasi yang digunakan merupakan resultan dari akselerasi tiga arah yang sudah dikalikan dengan filter pada perhitungan mSIL (Karim and Yamazaki, 2002). Skema grafik hubungan antara waktu dan resultan akselerasi disajikan pada Gambar 2.3(a). Perhitungan  $a_{0,3}$  dihitung menggunakan metode akumulasi waktu seperti Gambar 2.3 (b). Grafik tersebut dibuat setelah nilai resultan akselerasi diurutkan dari nilai yang terbesar sampai yang terkecil. Nilai  $a_{0,3}$  adalah rangking ke  $(0,3/\Delta_t + 1)$ .

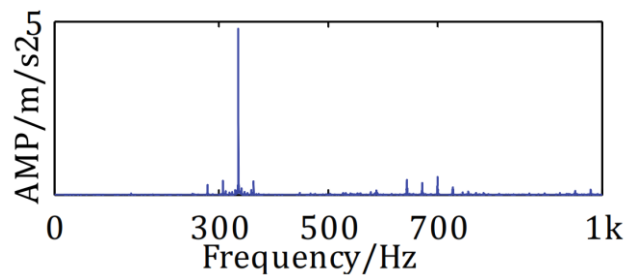


Gambar 2.3 (a) Grafik akselerasi absolut, (b) Penentuan  $a_{0,3}$  berdasarkan komulatif durasi (Karim and Yamazaki, 2002).

### 2.1.7 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah sebuah metode perhitungan matematis yang digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi (Kusuma, 2021). FFT membagi sinyal menjadi frekuensi yang berbeda dengan fungsi eksponensial yang kompleks. FFT merupakan algoritma untuk menghitung transformasi

fourier diskrit dengan cepat dan efisien. Karena sinyal sistem komunikasi kontinu, hasilnya dapat digunakan untuk transformasi Fourier. Contoh grafik ftt seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sample grafik *fast fourier transform* (FFT) (Zhu et al., 2014)

### 2.1.8 Penentuan SIL dengan Cara Grafik

Penentuan SIL dengan metode grafis telah dikembangkan oleh Sakai (2013). Data yang dibutuhkan untuk analisis ini adalah periode dominan dan nilai akselerasi  $A_{0.3}$ . Nilai periode dominan dihitung berdasarkan data respon akselerasi riwayat waktu dengan metode FFT atau periode alami struktur. Sedangkan nilai akselerasi  $A_{0.3}$  ditentukan berdasarkan respon akselerasi SRSS tanpa filterisasi. Ilustrasi perhitungan  $A_{0.3}$  sama seperti  $a_{0.3}$  seperti pada Gambar 2.3. Nilai periode dominan (sumbu X) dan  $A_{0.3}$  (sumbu Y) diplot kedalam grafik SIL seperti pada Gambar 2.7.

### 2.1.9 Analisis Riwayat Waktu

Analisis riwayat waktu (*time history analysis*) adalah analisis yang menggunakan beban gempa berdasarkan riwayat waktu yang bekerja pada permukaan tanah. Analisis ini digunakan untuk mengetahui respon struktur terhadap beban gempa sebagai fungsi riwayat waktu. Analisis riwayat waktu untuk saat ini dipandang sebagai metode analisis struktur yang paling mendekati kondisi aktual karena menggunakan data rekam gempa untuk menyimulasikan beban gempa yang bekerja pada struktur (Budiono, 2014). Berdasarkan SNI 1726:2019 analisis riwayat waktu dibagi menjadi dua, yaitu analisis riwayat waktu linear dan analisis riwayat waktu non linear. Resume perbedaan analisis riwayat waktu linear dan analisis riwayat waktu non linear berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 8899:2020 seperti pada Tabel 2.3.

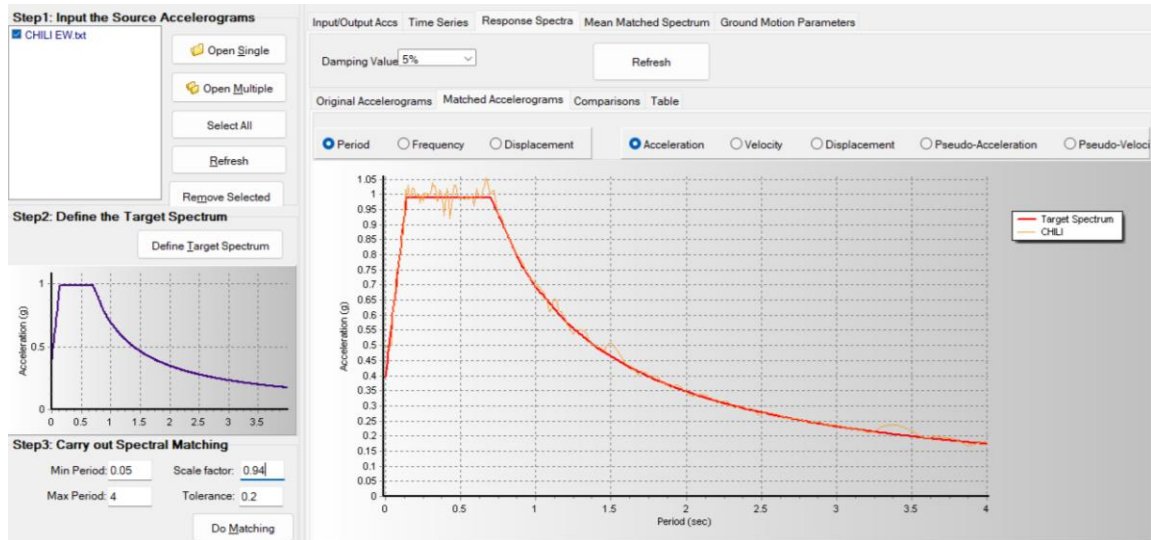


Tabel 2.3 Perbedaan analisis riwayat waktu linear dan analisis riwayat waktu nonlinear berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 8899:2020

Keterangan	Analisis linear riwayat waktu	Analisis nolinear riwayat waktu
Jumlah model riwayat waktu	3 pasang	11 pasang
Metode modifikasi riwayat waktu	Pencocokan spektrum	Pencocokan spektrum, dan penskalaan amplitudo
Target respon spektrum Rentang periode yang ditinjau	2/3 MCER (spektrum desain) 0,8 $T_{lower}$ s.d 1,2 $T_{max}$	MCER 0,2 $T_{IB}$ s.d 2 $T_{IA}$ dan 0,2 $T_{IB}$ s.d 2 $T_{IA}$
Pencocokan spektrum	Masing-masing arah (U-S dan B-T) dicocokkan terhadap spektrum target, dengan target sebesar 100% Target $\pm$ 10%	Pencocokan secara simultan terhadap respon spektrum target, dengan target sebesar 110% Target
Penskalaan amplitudo	Tidak diperbolehkan	Diperbolehkan Spektrum rata-rata minimal 90% spektrum target Analisis spektrum dapat menggunakan RodD100 (SNI 1726/2019) atau SRSS (SNI 1726/2012)
Penerapan hasil pencocokan spektrum	Diterapkan secara masing-masing arah dan kombinasi arah diterapkan untuk pertimbangan dua arah komponen	Diterapkan secara simultan untuk kedua arah riwayat waktu

### 2.1.10 Pencocokan spektrum (Spectral Matching)

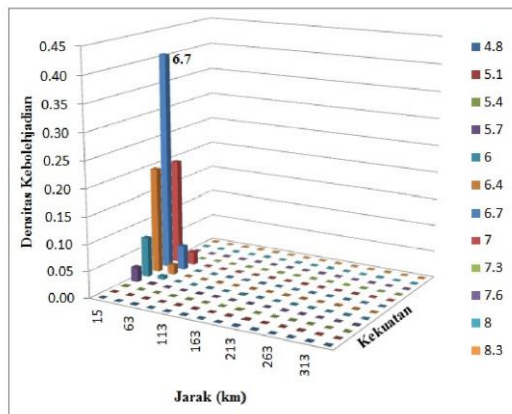
Pencocokan spektrum bertujuan memodifikasi riwayat waktu gerak tanah untuk mendapatkan spektrum gerak tanah yang sesuai dengan spektrum target (Whittaker et al., 2011). Proses pencocokan spektrum dilakukan dengan software Seismomatch yang merupakan produk dari Seismosoft. Input yang digunakan dalam proses pencocokan spektrum adalah riwayat waktu gempa model dan respon spektrum target. Ilustrasi hasil pencocokan spektrum seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Contoh hasil pencocokan spektrum menggunakan SeismoMatch

### 2.1.11 Deagregasi

Deagregasi adalah cara menentukan besarnya magnitude ( $M$ ) dan jarak ( $R$ ) gempa yang dominan dari beberapa sumber gempa terhadap suatu tempat (Hutapea, 2009). Sumber gempa yang diperhitungkan adalah *megathrust*, *benioff*, dan *shallow crustal*. Informasi besarnya magnitude dan jarak dari pusat gempa tersebut dipergunakan dalam mencari model riwayat waktu yang memiliki karakteristik yang mendekati kondisi yang diinginkan. Riwayat waktu tersebut akan dipergunakan sebagai input motion dalam pencocokan spektrum. Contoh hasil perhitungan deagregasi seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Contoh hasil deagregasi untuk kota Yogyakarta  $T = 0,2$  det (500 th) (Sunardi, 2015)

## 2.2 Kerangka Pikir

Gempa bumi akan menimbulkan guncangan pada permukaan tanah, sehingga semua benda termasuk bangunan yang berada dipermukaan tanah akan mengalami guncangan. Intensitas guncangan yang terjadi pada permukaan tanah berbeda dengan di lantai bangunan bertingkat.

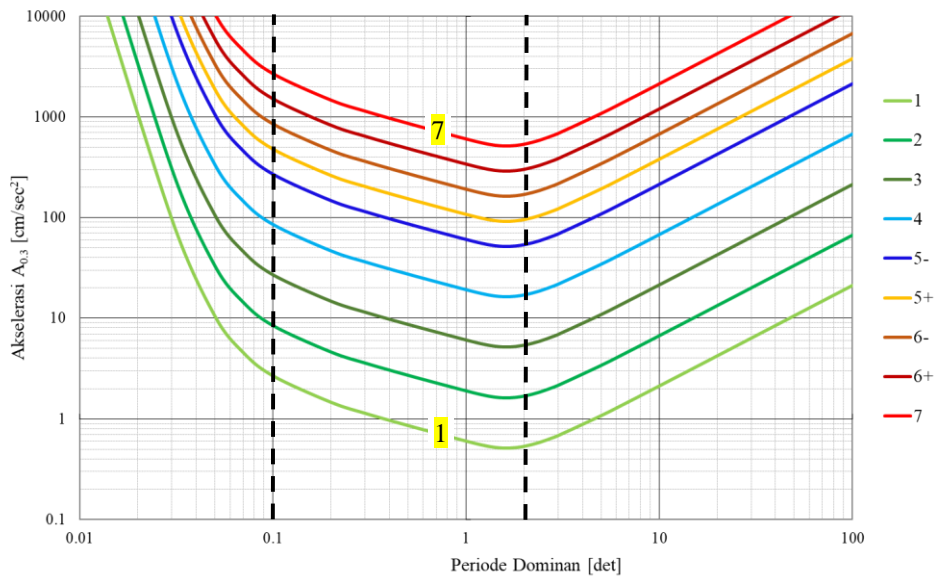
Pengukuran intensitas guncangan yang terjadi diatas permukaan tanah berdasarkan riwayat waktu gempa tiruan dengan metode pencocokan spektrum akan menghasilkan hubungan intensitas guncangan dengan respon spektrum. Jika hubungan antara keduanya sudah didapatkan, maka bisa diprediksi potensi intensitas guncangan gempa untuk masing-masing wilayah berdasarkan respon spektrumnya.

Hasil rumusan ini juga diharapkan akan mempermudah proses penentuan faktor skala untuk pembuatan riwayat waktu gempa tiruan dengan metode penskalaan amplitudo. Berdasarkan intensitas gempa yang dihitung dari respon spektrum target sebagai dasar untuk menentukan faktor skala pada metode penskalaan amplitudo.

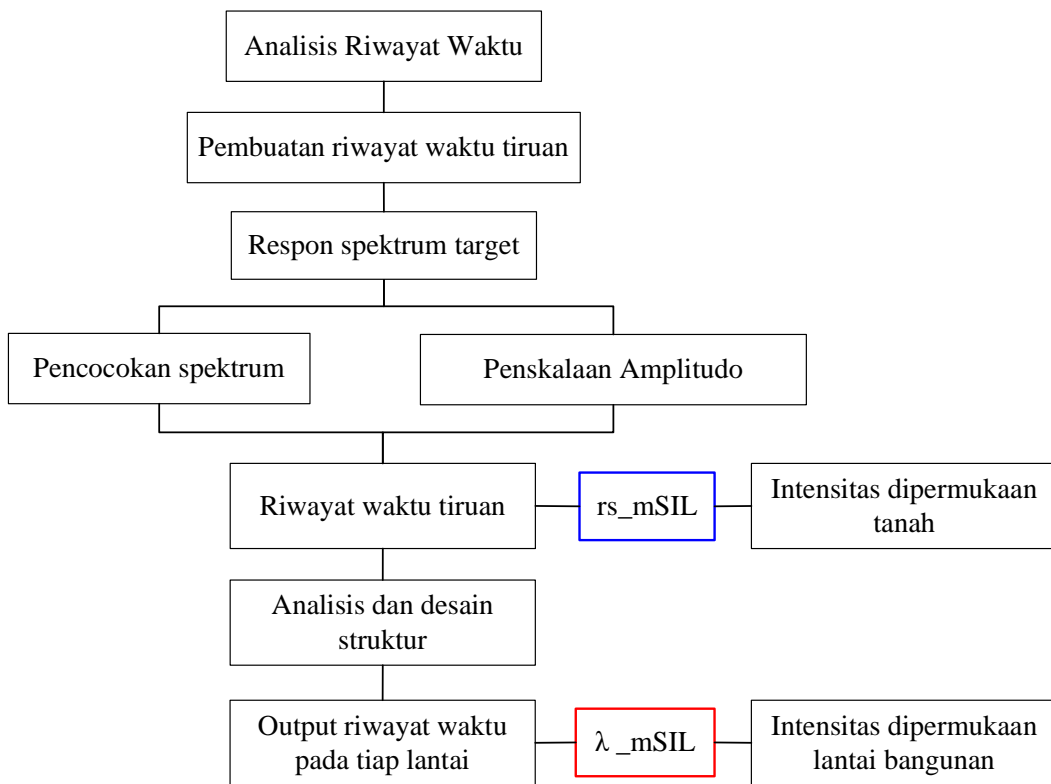
Intensitas guncangan yang terjadi pada lantai bangunan tentunya akan berbeda dengan yang terjadi pada permukaan tanah, karena dipengaruhi oleh kekakuan struktur yang mempunyai periode getar alami tertentu. Metode saat ini yang digunakan adalah metode JMA dengan menggunakan dengan parameter filter  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , dan  $\lambda_3$  atau dengan menggunakan grafik. Analisis menggunakan metode JMA cukup kompleks dalam perhitungan mSIL, sehingga jika dapat disederhanakan akan memudahkan dalam aplikasi. Rentang periode alami struktur bangunan tingkat rendah  $< 2$  detik. Pada rentang tersebut hubungan antara periode gempa dan akselerasi berpotensi dapat disederhanakan seperti pada Gambar 2.7

Gambar 2.7 Grafik SIL (Sakai, 2013)

Hasil rumusan  $rs\_mSIL$  diharapkan dapat digunakan untuk menentukan intensitas guncangan dipermukaan tanah. Sedangkan  $lt\_mSIL$  dapat digunakan untuk menentukan intensitas guncangan di lantai bangunan. Pemanfaatan hasil rumusan  $rs\_mSIL$  dan  $lt\_mSIL$  dalam analisis linear riwayat waktu dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Grafik SIL (Sakai, 2013)



Gambar 2.8 Gambaran penggunaan  $rs_{mSIL}$  dan  $lt_{mSIL}$  dalam analisis linear riwayat waktu