

PARAMETER DESTRUKTIF GERAKAN TANAH GEMPA KUAT

Niakku Imanuel Maggang^{1*}, Yermias Elvis Lay², dan Abdul Syukur Hadi Suwito³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang

Jl. Adisucipto Penfui Kupang

* E-mail: adi.maggang@pnk.ac.id

Abstrak

Gerakan tanah gempa sangat penting dalam analisa dinamik pada struktur bangunan. Mengetahui parameter destruktif gerakan tanah gempa akan berguna dalam pemilihan gerakan tanah selain syarat yang telah ditetapkan SNI. Pada makalah ini dilakukan penelitian untuk menemukan parameter destruktif dari gerakan tanah gempa kuat. Gerakan tanah gempa kuat yang dipilih dibatasi pada akselerogram yang memiliki nilai $PGA \geq 700 \text{ cm/dtk}^2$. Parameter yang diteliti meliputi tujuh parameter yang telah disimpulkan peneliti sebelumnya sebagai parameter destruktif pada gempa kecil sampai besar. Parameter-parameter tersebut adalah PGA , PGV , ASI , VSI , HI , D_{05-95} , $Sa(T)$ yang diperoleh dari enam gempa kuat. Hasil penelitian menunjukkan terdapat dua kelompok parameter destruktif yang saling berkorelasi kuat yaitu kelompok PGA , PGV , ASI , D_{05-95} dan kelompok $Sa(T)$, VSI , HI , D_{05-95} .

Kata kunci: Parameter Destruktif Gempa, Gerakan Tanah Gempa, Gempa Kuat

PENDAHULUAN

Gerakan tanah gempa sangat diperlukan dalam analisis struktur bangunan ketika kemajuan teknologi komputer saat ini memberikan kemudahan dalam melakukan analisis dinamik. Analisis dinamik dalam hal ini analisis riwayat waktu dan analisis respon spektrum telah diatur dalam *code* mengenai syarat pemilihan serta penggunaan gerakan tanah gempa.

Kriteria pemilihan dan penggunaan gerakan tanah gempa dilakukan agar dapat memperoleh gerakan tanah ideal untuk diaplikasikan pada struktur bangunan. Gerakan tanah ideal ini akan menghasilkan gaya dalam yang mendekati keadaan sebenarnya pada saat kejadian gempa sehingga struktur yang disiapkan dapat mencapai perilaku tahan gempa yang diinginkan.

Secara umum Standar Nasional Indonesia memberikan kriteria dalam pemilihan gerakan tanah gempa sebagai berikut yaitu kesamaan rezim tektonik umum, konsisten dalam nilai magnitudo dan jarak sesar atau patahan [1].

Salah satu alternatif penting tambahan dalam mempertimbangkan pemilihan suatu gerakan tanah gempa pada analisis struktur bangunan tahan gempa adalah informasi tentang parameter destruktif gerakan tanah gempa. Parameter destruktif gerakan tanah gempa adalah parameter yang berkorelasi kuat dengan kerusakan yang disebabkan gempa

pada suatu struktur bangunan.

Secara konvensional parameter percepatan dalam hal ini *Peak Ground Acceleration* dianggap parameter destruktif karena berkaitan dengan hukum gaya dimana besar gaya merupakan hasil perkalian massa dan percepatan. Semakin besar percepatan maka gaya gempa gempa yang terjadi pada struktur bangunan akan semakin besar. Namun dalam perkembangannya para peneliti menemukan parameter lain juga dapat menjadi perusak bangunan dibandingkan PGA sehingga telah dipahami bersama bahwa tidak ada parameter destruktif tunggal gempa.

Massumi & Selkisari [2] melakukan penelitian terhadap parameter spektra dari 124 akselerogram gempa (yang diambil dari 14 gempa) untuk menemukan parameter paling destruktif dari gempa terhadap bangunan yang dimodelkan dengan portal 2D. Gempa yang digunakan dengan $PGA < 860 \text{ cm/dtk}^2$ diaplikasi dalam akselerogram 1D kepada struktur portal yang diteliti. Penelitian di atas menyimpulkan bahwa parameter *Housner Intensity (HI)*, *Acceleration Spectra Intensity (ASI)*, dan *Velocity Spectra Intensity (VSI)* sebagai parameter destruktif gempa.

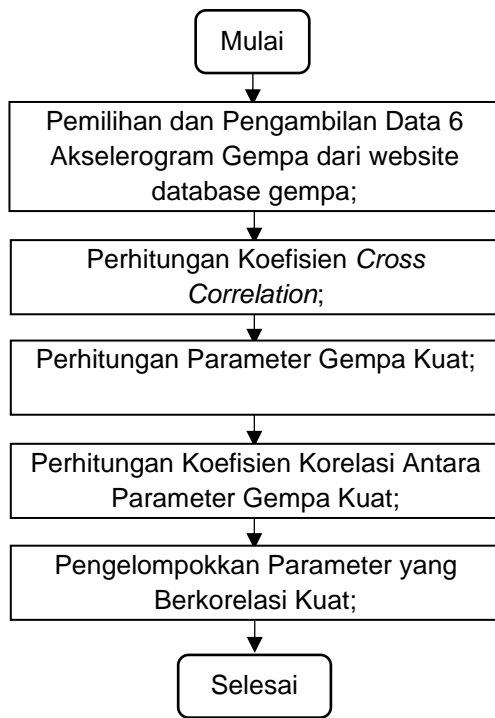
Mangkoesoebroto & Maggang [3] melakukan penelitian pada 31 gempa kuat 3D (93 akselerogram) dengan kriteria pemilihan gempa yang diteliti berdasarkan $150 \text{ cm/dtk}^2 < PGA < 1353 \text{ cm/dtk}^2$ (MMI VII - MMI X). Penelitian ini mencari korelasi antar parameter-parameter yang dianggap oleh para peneliti

sebagai parameter destruktif. Dari penelitian di atas ditemukan bahwa parameter destruktif yang saling berkorelasi kuat adalah parameter Spektra Percepatan ($S_{a(T)}$), *Peak Ground Velocity* (PGV), dan *Significant Duration* ($D_{0.5-95}$).

Pada penelitian ini penulis khusus meneliti untuk parameter gempa kuat dengan kriteria pemilihan gempa yang akan diteliti $PGA > 700 \text{ cm/dtk}^2$. Tujuan penelitian ini untuk menemukan kelompok parameter destruktif dari gempa kuat yang saling berkorelasi kuat.

Adapun parameter gempa yang akan diteliti adalah tujuh parameter yang telah diteliti sebelumnya sebagai parameter destruktif yaitu: *PGA*, *PGV*, *ASI*, *VSI*, *HI*, $D_{0.5-95}$, dan $S_{a(T)}$.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan pemilihan akselerogram gempa di *website database gempa Pacific Earthquake Engineering Research (PEER)* [4] dan database *United States Geological Survey (USGS)* [5]. Pemilihan akselerogram gempa kuat menggunakan kriteria $PGA > 700 \text{ cm/dtk}^2$. Akselerogram yang diambil adalah akselerogram arah horisontal satu arah (1D).

Selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien *cross correlation* antar akselerogram gempa kuat yang dipilih untuk mengetahui korelasi antar data akselerogram tersebut. Nilai

cross correlation berada pada rentang angka 0-1. Semakin kecil nilai *cross correlation* maka semakin valid/baik data tersebut digunakan dalam penelitian. Apabila nilai koefisien *cross correlation* nya > 0.5 maka dilakukan pergantian akselerogram sehingga tahap penelitian kembali ke tahap sebelumnya yakni tahap pemilihan akselerogram. Persamaan koefisien *cross correlation* antara dua variabel acak yang berbeda sebagai fungsi waktu $\bar{X}(t)$ dan $\bar{Y}(t)$ adalah sebagai berikut [6]:

$$\rho_{\bar{X}\bar{Y}}(\tau) = \frac{R_{\bar{X}\bar{Y}}(\tau)}{\sigma_{\bar{X}}\sigma_{\bar{Y}}} \tag{1}$$

dengan,

$$R_{\bar{X}\bar{Y}}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\bar{X}\bar{Y}}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega$$

$$= \Delta\omega * FFT[S_{\bar{X}\bar{Y}}(\omega)]$$

$$S_{\bar{X}\bar{Y}} = \frac{1}{2\pi T} \bar{X}(\omega) \bar{Y}^*(\omega)$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{R_{\bar{X}}(\tau)}$$

$$\sigma_{\bar{Y}} = \sqrt{R_{\bar{Y}}(\tau)}$$

$$R_{\bar{X}}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\bar{X}}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega$$

$$R_{\bar{Y}}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\bar{Y}}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega$$

$$S_{\bar{X}} = \frac{1}{2\pi T} \bar{X}(\omega) \bar{X}^*(\omega)$$

$$S_{\bar{Y}} = \frac{1}{2\pi T} \bar{Y}(\omega) \bar{Y}^*(\omega)$$

$$\bar{X}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}(t) e^{-i\omega t} d\omega$$

$$\bar{Y}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{y}(t) e^{-i\omega t} d\omega$$

$\ddot{x}(t)$: percepatan gempa 1 yang akan di *cross correlation* dengan percepatan gempa 2

$\ddot{y}(t)$: percepatan gempa 2 yang akan di *cross correlation* dengan percepatan gempa 1

Tahap berikut adalah melakukan perhitungan parameter gempa kuat yaitu *Peak Ground Acceleration PGA*, *Peak Ground Velocity PGV*, *Acceleration Spectrum Intensity ASI*, *Velocity Spectra Intensity VSI*, *Housner Intensity (HI)*, *Significant Duration (D_{0.5-95})*, *Spectra Acceleration Sa_(T=0.1-4s)*

Peak Ground Acceleration (PGA)

PGA merupakan nilai percepatan permukaan tanah terbesar yang terjadi pada suatu waktu t tertentu di suatu kejadian gempa. Satuan dari parameter PGA adalah cm/dtk^2 .

Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$PGA = \max |\ddot{u}_g(t)| \quad (1)$$

dengan:

$\ddot{u}_g(t)$: percepatan gerakan permukaan tanah komponen major dalam fungsi waktu, cm/dtk²

Peak Ground Velocity (PGV)

Parameter *PGV* merupakan nilai kecepatan gerakan permukaan tanah maksimum yang terjadi pada suatu waktu t tertentu di suatu kejadian gempa. Satuan dari parameter *PGV* adalah cm/s. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$PGV = \max |\dot{u}_g(t)| \quad (2)$$

dengan:

$\dot{u}_g(t)$: percepatan gerakan permukaan tanah komponen major dalam fungsi waktu, cm/dtk²

Acceleration Spectrum Intensity (ASI)

Parameter *ASI* sebagai luasan daerah antar periode 0.1 detik dan 0.5 detik di bawah spektra respon percepatan. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a(\xi = 0.05, T) dT \quad (3)$$

dengan:

S_a : spektra respon percepatan, g
T : periode, dtk

Housner Intensity (HI)

Parameter *HI* merupakan luasan daerah antar periode 0.1 detik dan 2.5 detik di bawah spektra respon kecepatan *pseudo*. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$HI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi = 0.05, T) dT \quad (4)$$

dengan:

PSV : spektra respon kecepatan pseudo, cm/dtk
T : periode, dtk

Velocity Spectra Intensity (VSI)

Parameter *VSI* merupakan luasan daerah antar periode 0.1 detik dan 2.5 detik di bawah spektra respon kecepatan. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$VSI = \int_{0.1}^{2.5} Sv(\xi = 0.05, T) dT \quad (5)$$

dengan:

Sv : spektra respon kecepatan, cm/dtk
T : periode, dtk

Significant Duration (D_{05-95})

Parameter D_{05-95} ini didefinisikan oleh Trifunac dan Brady (1975) sebagai durasi signifikan dari *strong ground motion* gempa yang waktunya t dimulai ketika kedatangan 5% besar energi gempa sampai pada saat waktu t di kedatangan 95% energi gempa. Satuan parameter ini detik. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$D_{05-95} = t_{95} - t_{05} \quad (6)$$

dengan:

t_{05} : waktu ketika arias intensity mencapai 5%
 t_{95} : waktu ketika arias intensity mencapai 95%

Spectra Acceleration $S_a(T)$

Parameter S_a merupakan nilai respon percepatan maksimum dari struktur *single degree of freedom* pada periode struktur tertentu akibat *ground motions*. Secara matematis ditulis berikut,

$$S_a(T, \zeta) = \max_t |\ddot{u}_t(t, T, \zeta)| \quad (7)$$

dengan:

$\ddot{u}_t(t)$: respon percepatan struktur *single degree of freedom* pada periode struktur tertentu pada komponen major dalam fungsi waktu, cm/dtk²

Setelah parameter gempa kuat diperoleh maka dilakukan perhitungan koefisien korelasi antara parameter-parameter tersebut. Rentang nilai koefisien korelasi dari 0.00 – 1.00. Semakin besar nilai koefisien korelasi antar dua parameter maka semakin kuat korelasi antar kedua parameter.

Untuk memperoleh korelasi antar parameter maka dilakukan perhitungan korelasi Pearson linear dengan persamaan berikut:

$$\rho_{x,y} = \frac{E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (xxx)$$

dengan:

x dan y : pasangan data parameter yang akan dikorelasi

μ_x dan μ_y : nilai rerata dari data parameter x dan y

σ_x dan σ_y : standar deviasi dari data parameter x dan y

$\rho_{x,y}$: korelasi antara data x dan y

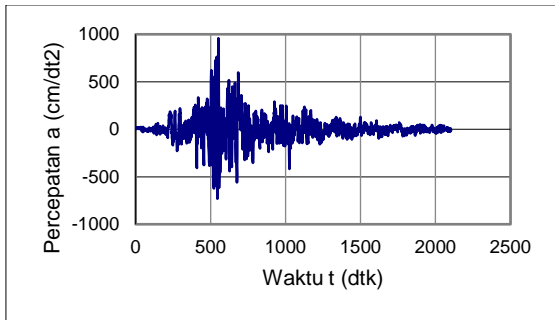
Akhirnya parameter-parameter yang memiliki nilai koefisien korelasi kuat akan dikelompokkan sebagai parameter destruktif.

Kelompok parameter tersebut yang akan menunjukkan parameter mana dari gempa kuat yang paling merusak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemilihan *ground motion* gempa (kriteria $PGA > 0.77\text{ g}$)
 - a. Gempa Tabas

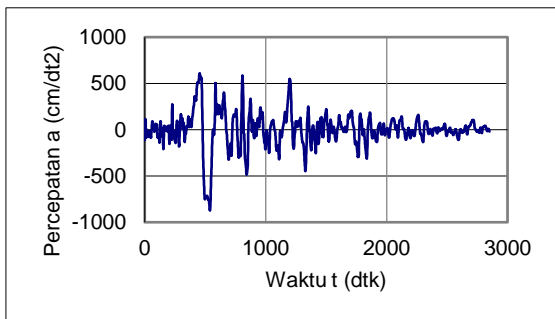
Data akselerogram gempa Tabas diperoleh dari database *project SAC (PEER)* [4].



Gambar 1. Akselerogram Gempa Tabas

- b. Gempa Northridge

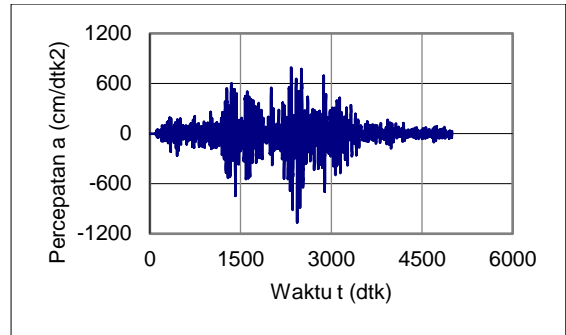
Data akselerogram gempa Northridge diperoleh dari database pada *website USGS* [5].



Gambar 2. Akselerogram Gempa Northridge

- c. Gempa Hawaii

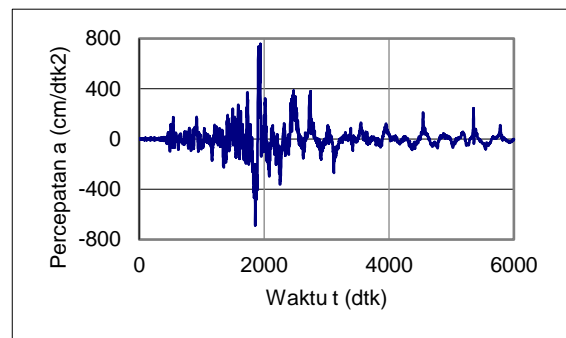
Data akselerogram gempa Hawaii diperoleh dari database pada *website USGS* [5].



Gambar 3. Akselerogram Gempa Hawaii

- d. Gempa New Zealand

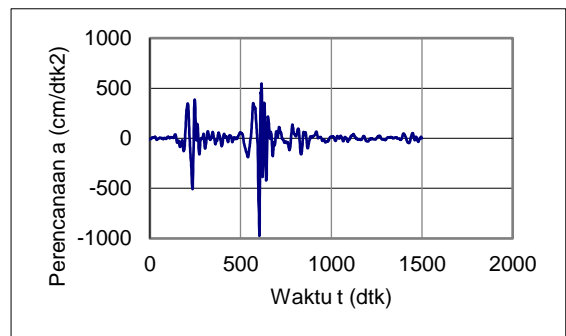
Data akselerogram gempa New Zealand diperoleh dari database pada *website USGS* [5].



Gambar 4. Akselerogram Gempa New Zealand

- e. Gempa South Napa

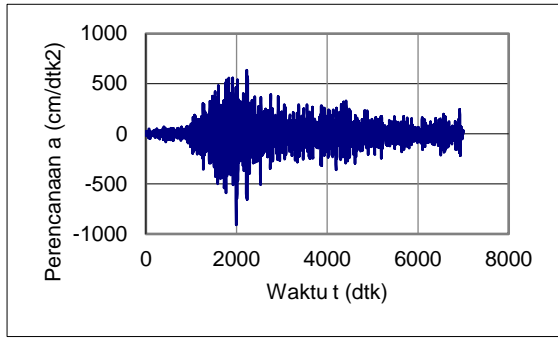
Data akselerogram gempa South Napa diperoleh dari database pada *website USGS* [5].



Gambar 5. Akselerogram Gempa South Napa

- f. Gempa Chile

Data akselerogram gempa Chile diperoleh dari database pada *website USGS* [5].



Gambar 6. Akselerogram Gempa Chile

2. Perhitungan koefisien *cross correlation*

Hasil perhitungan koefisien *cross correlation* dari ke enam gempa tertulis pada Tabel 1. Terlihat bahwa nilai *cross correlation* antar gempa ≤ 0.39 sehingga dapat disimpulkan bahwa akselerogram gempa yang digunakan berbeda maka memenuhi syarat untuk diuji parameter-parameternya.

Tabel 1 Koefisien *Cross Correlation*

No	Nama Gempa	1	2	3	4	5	6
1	Tabas	1.00	-0.23	-0.22	0.24	0.24	-0.15
2	Northridge		1.00	0.10	-0.39	0.14	0.12
3	Hawai			1.00	-0.10	0.24	0.25
4	New Zealand				1.00	-0.14	0.14
5	South Napa					1.00	0.22
6	Chile						1.00

3. Perhitungan parameter gempa kuat

Hasil perhitungan nilai parameter gempa kuat ditampilkan pada tabel 2 – tabel 20.

Tabel 2. Nilai Parameter pada T=0.1 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.1s} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.62
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.01
Hawai	1066	37	776	128	79	10	1.45
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.22
South Napa	976	22	466	78	39	3	2.57
Chile	910	30	705	116	86	44	1.72

Tabel 3. Nilai Parameter pada T=0.2 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.2} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	3.53
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.40
Hawai	1066	37	776	128	79	10	4.09
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.12
South Napa	976	22	466	78	39	3	1.41
Chile	910	30	705	116	86	44	3.35

Tabel 4. Nilai Parameter pada T=0.3 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.3} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.57
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.84
Hawai	1066	37	776	128	79	10	1.67
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.14
South Napa	976	22	466	78	39	3	1.43
Chile	910	30	705	116	86	44	1.72

Tabel 5. Nilai Parameter pada T=0.4 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.4} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.32
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.87
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.98
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.07
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.78
Chile	910	30	705	116	86	44	0.76

Tabel 6. Nilai Parameter pada T=0.5 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.5} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.58
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.83
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.88
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.50
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.51
Chile	910	30	705	116	86	44	0.63

Tabel 7. Nilai Parameter pada T=0.6 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.6} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.54
Northridge	873	175	647	541	486	7	2.08
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.63
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.07
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.40
Chile	910	30	705	116	86	44	0.57

Tabel 8. Nilai Parameter pada T=0.7 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.7} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.52
Northridge	873	175	647	541	486	7	2.14
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.43
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.38
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.18
Chile	910	30	705	116	86	44	0.53

Tabel 9. Nilai Parameter pada T=0.8 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.8s} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	1.19
Northridge	873	175	647	541	486	7	2.16
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.34
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.41
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.13
Chile	910	30	705	116	86	44	0.33

Tabel 10. Nilai Parameter pada T=0.9 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=0.9} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.88
Northridge	873	175	647	541	486	7	2.10
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.28
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.20
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.10
Chile	910	30	705	116	86	44	0.32

Tabel 11. Nilai Parameter pada T=1.0 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=1.0} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.68
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.97
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.19
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.05
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.09
Chile	910	30	705	116	86	44	0.21

Tabel 12. Nilai Parameter pada T=1.2 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=1.2} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.51
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.58
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.12
New Zealand	758	124	463	366	370	15	1.02
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.05
Chile	910	30	705	116	86	44	0.15

Tabel 13. Nilai Parameter pada T=1.4 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=1.4} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.39
Northridge	873	175	647	541	486	7	1.20
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.08
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.72
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.03
Chile	910	30	705	116	86	44	0.12

Tabel 14. Nilai Parameter pada T=1.6 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=1.6} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.44
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.96
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.08
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.48
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.03
Chile	910	30	705	116	86	44	0.09

Tabel 15. Nilai Parameter pada T=1.8 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=1.8} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.32
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.77
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.04
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.56
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.02
Chile	910	30	705	116	86	44	0.09

Tabel 16. Nilai Parameter pada T=2.0 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=2.0} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.37
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.62
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.04
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.64
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.02
Chile	910	30	705	116	86	44	0.09

Tabel 17. Nilai Parameter pada T=2.5 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=2.5} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.29
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.34
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.03
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.61
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.01
Chile	910	30	705	116	86	44	0.05

Tabel 18. Nilai Parameter pada T=3.0 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=3.0} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.26
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.26
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.03
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.29
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.01
Chile	910	30	705	116	86	44	0.03

Tabel 19. Nilai Parameter pada T=3.5 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=3.5} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.32
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.20
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.02
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.18
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.01
Chile	910	30	705	116	86	44	0.04

Tabel 20. Nilai Parameter pada T=4.0 dtk

Nama Gempa	PGA cm/dtk ²	PGV cm/dtk	ASI cm/dtk	VSI cm	HI cm	D ₀₅₋₉₅ dtk	Sa _{T=4.0} g
Tabas	959	106	825	275	261	15	0.37
Northridge	873	175	647	541	486	7	0.15
Hawai	1066	37	776	128	79	10	0.02
New Zealand	758	124	463	366	370	15	0.21
South Napa	976	22	466	78	39	3	0.01
Chile	910	30	705	116	86	44	0.05

4. Perhitungan koefisien korelasi antara parameter gempa kuat

Hasil perhitungan koefisien korelasi ditampilkan pada tabel 21 – tabel 39. Adapun rentang nilai korelasi kuat yaitu 0.80-1.00. parameter kuat. Pada penelitian ini hanya fokus pada parameter berkorelasi kuat sehingga tidak ada pembahasan untuk parameter berkorelasi tidak kuat (sedang atau lemah).

5. Pengelompokkan parameter yang berkorelasi kuat.

Untuk parameter yang tidak bergantung pada nilai periode tertentu terlihat bahwa parameter-parameter yang saling berkorelasi kuat adalah parameter PGA, PGV, ASI, D05-95 dengan nilai korelasi lebih besar 0.8.

Untuk parameter keseluruhan (termasuk parameter yang bergantung pada nilai periode yaitu Sa) terlihat sebagai berikut:

- Pada T=0.1 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa(T) dan D₀₅₋₉₅ dengan nilai 0.94
- Pada T=0.3 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan D₀₅₋₉₅ dengan nilai 0.83
- Pada T=0.4 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan VSI dengan nilai 0.84
- Pada T=0.5 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.94
- Pada T=0.6 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.89
- Pada T=0.7 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.96
- Pada T=0.8 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.99
- Pada T=0.9 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.98

- Pada T=1.0 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.97
- Pada T=1.2 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.99
- Pada T=1.4 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.98
- Pada T=1.6 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.97
- Pada T=1.8 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 1.00
- Pada T=2.0 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.97
- Pada T=2.5 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.83
- Pada T=3.0 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.90
- Pada T=3.5 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.96
- Pada T=4.0 dtk terdapat korelasi kuat antara Sa dan HI dengan nilai 0.96

Tabel 21. Koefisien Korelasi pada T=0.1 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.1}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.65
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.62
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.61
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.70
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.36
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.94
Sa _{T=0.1}	0.65	0.62	0.61	0.70	0.36	0.94	1.00

Tabel 22. Koefisien Korelasi pada T=0.2 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.2}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.36
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.24
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.45
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.73
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.59
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.24
7.Sa _{T=0.2}	0.36	0.24	0.45	0.73	0.59	0.24	1.00

Tabel 23. Koefisien Korelasi pada T=0.3 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.3}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.50
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.51
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.44
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.68
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.28
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.83
7.Sa _{T=0.3}	0.50	0.51	0.44	0.68	0.28	0.83	1.00

Tabel 24. Koefisien Korelasi pada T=0.4 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.9}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.49
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.53
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.45
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.15
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.98
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.52
7.Sa _{T=0.9}	0.49	0.53	0.45	0.15	0.98	0.52	1.00

Tabel 25. Koefisien Korelasi pada T=0.5 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.5}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.64
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.68
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.63
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.10
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.94
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.66
7.Sa _{T=0.5}	0.64	0.68	0.63	0.10	0.94	0.66	1.00

Tabel 26. Koefisien Korelasi pada T=0.6 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.6}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.56
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.56
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.59
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.05
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.89
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.54
7.Sa _{T=0.6}	0.56	0.56	0.59	0.05	0.89	0.54	1.00

Tabel 27. Koefisien Korelasi pada T=0.7 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.7}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.52
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.56
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.52
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.08
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.96
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.53
7.Sa _{T=0.7}	0.52	0.56	0.52	0.08	0.96	0.53	1.00

Tabel 28. Koefisien Korelasi pada T=0.8 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.8}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.50
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.55
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.47
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.14
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.99
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.49
7.Sa _{T=0.8}	0.50	0.55	0.47	0.14	0.99	0.49	1.00

Tabel 29. Koefisien Korelasi pada T=0.9 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=0.4}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.42
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.45
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.36
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.84
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.32
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.40
7.Sa _{T=0.4}	0.42	0.45	0.36	0.84	0.32	0.40	1.00

Tabel 30. Koefisien Korelasi pada T=1.0 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=1.0}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.43
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.48
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.39
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.21
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.97
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.47
7.Sa _{T=1.0}	0.43	0.48	0.39	0.21	0.97	0.47	1.00

Tabel 31. Koefisien Korelasi pada T=1.2 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=1.2}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.43
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.49
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.37
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.19
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.99
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.49
7. Sa(0.1)	0.43	0.49	0.37	0.19	0.99	0.49	1.00

Tabel 32. Koefisien Korelasi pada T=1.4 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=1.4}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.43
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.49
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.38
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.19
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.98
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.49
7.Sa _{T=1.2}	0.43	0.49	0.38	0.19	0.98	0.49	1.00

Tabel 33. Koefisien Korelasi pada T=1.6 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=1.6}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.49
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.53
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.48
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.14
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.97
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.52
7.Sa _{T=1.6}	0.49	0.53	0.48	0.14	0.97	0.52	1.00

Tabel 34 Koefisien Korelasi pada T=1.8 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=1.8}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.47
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.54
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.41
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.13
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	1.00
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.52
7.Sa _{T=1.8}	0.47	0.54	0.41	0.13	1.00	0.52	1.00

Tabel 35. Koefisien Korelasi pada T=2.0 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=2.0}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.49
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.58
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.43
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.04
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.97
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.52
7.Sa _{T=2.0}	0.49	0.58	0.43	0.04	0.97	0.52	1.00

Tabel 36. Koefisien Korelasi pada T=2.5 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=2.5}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.41
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.54
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.32
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.02
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.83
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.42
7.Sa _{T=2.5}	0.41	0.54	0.32	0.02	0.83	0.42	1.00

Tabel 37. Koefisien Korelasi pada T=3.0 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=3.0}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.55
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.63
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.53
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.07
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.90
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.53
7.Sa _{T=3.0}	0.55	0.63	0.53	0.07	0.90	0.53	1.00

Tabel 38. Koefisien Korelasi pada T=3.50 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=3.5}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.57
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.60
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.63
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.18
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.71
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.49
7.Sa _{T=3.5}	0.57	0.60	0.63	0.18	0.71	0.49	1.00

Tabel 39. Koefisien Korelasi pada T=4.0 dtk

Nama Parameter	PGA	PGV	ASI	VSI	HI	D ₀₅₋₉₅	Sa _{T=4.0}
PGA	1.00	0.99	0.98	0.74	0.46	0.86	0.53
PGV	0.99	1.00	0.95	0.70	0.53	0.83	0.57
ASI	0.98	0.95	1.00	0.73	0.42	0.81	0.59
VSI	0.74	0.70	0.73	1.00	0.14	0.72	0.25
HI	0.46	0.53	0.42	0.14	1.00	0.51	0.59
D ₀₅₋₉₅	0.86	0.83	0.81	0.72	0.51	1.00	0.44
Sa _{T=4.0}	0.53	0.57	0.59	0.25	0.59	0.44	1.00

PENUTUP

Berdasarkan pembahasan di atas maka disimpulkan bahwa:

1. Parameter destruktif pada gempa kuat yakni gempa dengan nilai $PGA > 0.77$ g terbagi dalam dua kelompok yaitu kelompok parameter PGA , PGV , ASI , D_{05-95} , dan kelompok parameter $Sa(T)$, D_{05-95} , VSI , HI .
2. Parameter $Sa(T)$ dan D_{05-95} berkorelasi kuat pada nilai $T=0.1$ dtk dan $T=0.3$ dtk saja.
3. Parameter $Sa(T)$ dan VSI berkorelasi kuat pada nilai $T=0.4$ dtk saja.
4. Parameter $Sa(T)$ dan HI berkorelasi kuat pada nilai $T=0.5$ dtk sampai dengan $T=4.0$ dtk.

Dengan demikian pemilihan gerakan tanah gempa untuk analisis struktur bangunan, perlu memperhatikan parameter destruktif di atas.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan jumlah gempa kuat yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [2] Massumi, A., Selkisari, M. R. (2017). *Correlations between Spectral Parameters of Earthquakes and Damage Intensity in Different RC Frames*, *Quartely Journal of Engineering Geology*, 11, 133-158. [doi 10.18869/acadpub.jeg.11.3.135](https://doi.org/10.18869/acadpub.jeg.11.3.135)
- [3] Mangkoesoebroto, S. P, Maggang, N. I. (2022). *Engineering Characterization of Earthquake Ground Motions Based on Composite-intensity Index Spectrum*, *Jurnal Tekni Sipil ITB*, 29, 01. <https://doi.org/10.5614/jts.2022.29.1.1>

- [4] *Pacific Earthquake Engineering Research Center, Online, Pacific Earthquake Engineering Research Center.*
<https://nisee.berkeley.edu/elibrary/strong-motion.html>
- [5] *United States Geological Survey (USGS) Center for engineering strong motion data (CESMD)*
<https://www.strongmotioncenter.org/>
- [6] Newland, D. E. (1993). *An Introduction To Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis.* Longman, London and New York.