

# HUBUNGAN EMPIRIS INTENSITAS SEISMIK DENGAN PARAMETER GETARAN TANAH DI WILAYAH JAWA BARAT

Kadnan<sup>1)\*</sup>

\*Korespondensi: kadnan.bmkg@gmail.com

## ABSTRACT

West Java is a seismically active region with the largest population in the Indonesia region. The seismicity of West Java region due to the subduction of the Indo-Australian plate to the Eurasian plate-fault and local fault activity on the mainland. The more dense residential population even in seismic areas, damage and loss estimation of seismic hazard increasingly necessary in order mitigation and emergency response. Macroseismic study in West Java is also very important in revising the history of seismicity in the past and needed in the investigation of the potential seismic hazard.

The regression approach has been carried out to determine the seismic intensity attenuation models and empirical relationships of seismic intensity with Peak Ground Velocity (PGV) and Peak Ground Acceleration (PGA) in West Java by using the Broadband signal recorded on the Libra-station network BMKG for earthquakes with  $M > 4$  that occurred in the period 2009 to 2011. The differentiation techniques applied to the velocity seismogram to get the acceleration seismogram. From the calculations, obtained the empirical relationships seismic intensity with PGV and PGA as follows:

$$IMM = 3,56 \log(PGV) + 2,88 \pm 0,57 (V \leq IMM \leq VIII)$$

$$IMM = 3,69 \log(PGA) - 1,12 \pm 0,51 (V \leq IMM \leq VIII)$$

The combination of seismic intensity attenuation models and empirical relationships of IMM – PGV and IMM – PGA are useful for prediction and fast estimation of the potential for earthquake damage and the intensity mapping (ShakeMap) in order to Earthquake Early Warning.

**Key words:** Seismic Intensity Attenuation, Peak Ground Velocity, Peak Ground Acceleration, Shakemap, Early Warning Earthquake.

## ABSTRAK

Jawa Barat merupakan daerah seismik aktif dengan populasi penduduk terbesar di wilayah Indonesia. Seismisitas Jawa Barat diakibatkan oleh subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia dan aktivitas sesar-sesar lokal di daratan. Semakin padatnya pemukiman penduduk bahkan pada daerah-daerah rawan bencana seismik, estimasi kerusakan dan kerugian bahaya seismik kian diperlukan dalam upaya mitigasi dan tanggap darurat. Studi makroseismik di wilayah Jawa Barat juga sangat penting dalam merevisi sejarah kegempaan di masa lalu dan dibutuhkan dalam investigasi potensi bahaya seismik.

Telah dilakukan pendekatan regresi untuk menentukan model atenuasi intensitas seismik dan hubungan empiris intensitas seismik terhadap peak ground velocity (PGV) dan peak ground acceleration (PGA) di wilayah Jawa Barat dengan menggunakan sinyal broadband yang tercatat pada jaringan stasiun Libra-BMKG untuk gempa-gempa dengan  $M > 4$  yang terjadi pada periode 2009 – 2011. Teknik diferensiasi diaplikasikan pada seismogram kecepatan untuk mendapatkan seismogram percepatan. Dari perhitungan, diperoleh empiris intensitas seismik dengan PGV dan PGA sebagai berikut:

$$IMM = 3,56 \log(PGV) + 2,88 \pm 0,57 (V \leq IMM \leq VIII)$$

$$IMM = 3,69 \log(PGA) - 1,12 \pm 0,51 (V \leq IMM \leq VIII)$$

Kombinasi model atenuasi intensitas seismik dan hubungan empiris IMM – PGV dan IMM – PGA berguna untuk prediksi dan estimasi cepat potensi kerusakan gempabumi dan pembuatan peta intensitas (ShakeMap) dalam rangka Peringatan Dini Gempabumi.

**Kata Kunci:** Atenuasi Intensitas Seismik, Peak Ground Velocity, Peak Ground Acceleration, ShakeMap, Peringatan Dini Gempabumi

## I. PENDAHULUAN

Jawa Barat merupakan zona seismik aktif yang diakibatkan oleh subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia dan aktivitas dari sesar-sesar lokal yang ada di daratan. Tidak kurang terjadi 28 kali gempa bumi merusak sepanjang periode 1979 – 2009 yang menimbulkan korban jiwa dan kehilangan harta benda, bahkan diantaranya disertai tsunami yang menghancurkan daerah pesisir bagian selatan, Gunawan dkk. (2011). Sejak pertengahan tahun 1970an studi makroseismik mulai banyak dilakukan seiring dengan perkembangan teknologi monitoring dan investigasi gempa bumi. Studi makroseismik modern sangat diperlukan terutama dalam mengkaji dan melakukan identifikasi potensi bahaya, kerentanan, dan tingkat risiko gempa bumi. Lebih dari 60% peta hazard nasional di seluruh dunia dinyatakan dalam intensitas seismik (McGuire, 1993). Intensitas seismik dianggap representatif dalam mengkuantifikasi dampak kerusakan gempa bumi. Selain itu, studi makroseismik juga bermanfaat dalam mempelajari model atenuasi yang biasanya digunakan untuk melakukan kajian terhadap sejarah kegempaan di masa lalu.

Di Indonesia, terutama di wilayah Jawa Barat, studi makroseismik belum banyak dilakukan baik oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) maupun oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Peta intensitas seismik (ShakeMap) yang dikeluarkan oleh BMKG beberapa menit setelah gempa bumi terjadi masih menggunakan model intensitas United State Geological Survey (USGS) yang diturunkan dari data kegempaan di wilayah California. Penelitian ini mencoba untuk menemukan model atenuasi intensitas seismik dan hubungan empiris intensitas seismik versus parameter getaran tanah (Peak Ground

Velocity, PGV dan Peak Ground Acceleration, PGA) yang sesuai dengan kondisi tektonik wilayah Jawa Barat.

Hubungan empiris intensitas seismik dengan parameter getaran tanah tidak saja bermanfaat di bidang seismologi teknik dan teknik sipil tetapi juga dapat menjadi model kalibrasi resiko bencana pada industri asuransi. Dalam konteks Sistem Peringatan Dini Gempabumi (PDG) yang sekarang sedang dikaji oleh BMKG, model atenuasi intensitas seismik di wilayah Jawa Barat dapat digunakan untuk melakukan perhitungan intensitas seismik secara cepat pada gempa-gempa yang berpotensi menimbulkan kerusakan sehingga ShakeMap dapat diterbitkan beberapa saat setelah gempa bumi terjadi untuk keperluan mitigasi dan tanggap darurat bencana seismik

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan intensitas seismik terhadap PGV dan PGA, atau sering disebut dengan *Ground Motion to Intensity Conversion Equations* (GMICE) telah banyak dikembangkan oleh para seismologist di seluruh dunia. Intensitas seismik yang diperoleh melalui hubungan PGV dan PGA sangat bermanfaat dalam prediksi maupun estimasi *real-time* dampak kerusakan gempa bumi sehingga pembuatan peta intensitas seismik dapat dilakukan dalam waktu 3-5 menit, Wald dkk. (1999b). Hubungan intensitas seismik versus PGV dan PGA telah banyak diperdebatkan oleh para ahli, sebagian besar meyakini bahwa terdapat korelasi yang baik antara intensitas seismik terhadap logaritmik PGV dan logaritmik PGA, Gutenberg dan Richter (1942); (Hershberger, 1956); (Ambresey, 1975); Margottini dkk. (1992); Wald dkk. (1999a); Faccioli dan Caizzi (2006). Hubungan empiris yang dibuat umumnya menggunakan metode statistik regresi dan data intensitas seismik yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari data

lapangan bukan berdasarkan pada catatan instrumen, Faenza dan Michelini (2010).

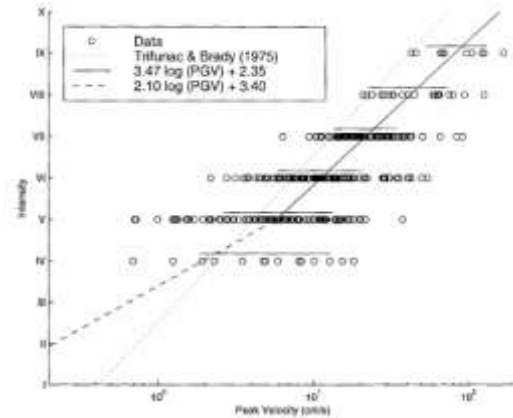
Wald dkk. (1999a) mengembangkan hubungan regresi linear intensitas seismik versus komponen horisontal PGV dan PGA pada 8 data gempa bumi besar yang terjadi di California. Sebelumnya, Trifunac dan Brady (1975) melakukan hal yang sama dengan menggunakan 57 data gempa bumi di California. Hubungan empiris intensitas seismik versus PGV dan PGA yang telah dikembangkan digunakan sebagai dasar pembuatan *ShakeMap* berdasarkan data catatan *instrumental ground motion* dalam beberapa menit. Paket perangkat lunak *ShakeMap* telah dibuat dan banyak diimplementasikan di beberapa negara seperti: Amerika, Canada, Iceland, Italia, dan Indonesia. Hubungan intensitas seismik versus PGV dan PGA yang diperoleh oleh Wald dkk. (1999a) diperlihatkan pada gambar 2.1 dan gambar 2.2 dengan *range* PGV dan PGA terhadap nilai intensitas seismik terlihat pada tabel 2.1. Model empiris intensitas seismik versus PGV dan PGA di wilayah California adalah sebagai berikut:

$$I_{MM} = 3,47 \log (PGV) + 2,35 \quad (2.1)$$

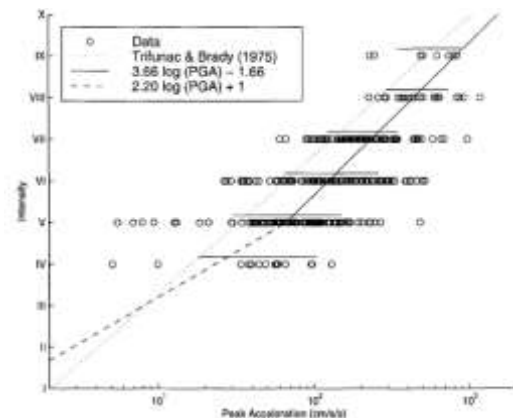
$(V \leq I_{MM} < IX)$

$$I_{MM} = 3,66 \log (PGA) - 1,66 \quad (2.2)$$

$(V \leq I_{MM} \leq VIII)$



Gambar 2.1. Intensitas seismik versus PGV untuk 8 gempa di California. Garis penuh adalah hasil yang diperoleh Wald dkk. (1999a), sedangkan garis putus-putus adalah hasil dari Trifunac dan Brady (1975).



Gambar 2.2. Intensitas seismik versus PGA untuk 8 gempa di California. Garis penuh adalah hasil yang diperoleh Wald dkk. (1999a), sedangkan garis putus-putus adalah hasil dari Trifunac dan Brady (1975).

Tabel. 2.1. Hubungan Antara Intensitas Seismik, PGA, PGV, dan Potensi Kerusakan

GETARAN DIRASAKAN	TIDAK TERASA	LEMAH	RINGAN	BIASA	KUAT	SANGAT KUAT	PARAH	SANGAT PARAH	EKSTREM
POTENSI KERUSAKAN	TIDAK	TIDAK	TIDAK	SANGAT RINGAN	RINGAN	SEDANG	SEDANG/BERAT	BERAT	SANGAT BERAT
PGA (%g)	<0.17	0.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PGV (cm/det)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-118	>118
INTENSITAS INSTRUMENTASI	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

### III. METODE

#### Data

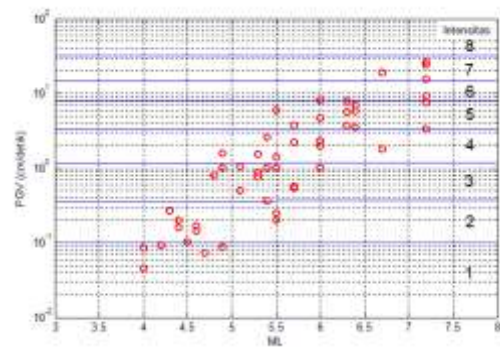
Data gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 27 kejadian gempa dengan  $ML \geq 4$  yang terjadi pada periode 2009 – Oktober 2011. Data gempabumi sebagian besar merupakan gempa intra-plate dengan sebaran episenter berada antara 60–100 LU dan 1050–1080 BT dan direkam oleh jaringan stasiun LIBRA-BMKG. Tipe sensor yang digunakan adalah BBVS 120 dengan sampling rate 50 sampel per detik dengan resolusi 24 bit. Channel broadband menyediakan rasio S/N yang tinggi sehingga memudahkan proses pemisahan data terhadap gangguan sinyal (noise). Untuk memperoleh hasil yang baik, posisi hiposenter gempabumi sebelumnya telah dilakukan relokasi dengan menggunakan algoritma inversi Simulps12 yang ditulis oleh Evans dkk (1994) yang secara simultan menginversi waktu tiba gelombang P dan S untuk memperoleh kecepatan gelombang P dan S ( $V_p$  dan  $V_s$ ), lokasi hiposenter, dan origin time menggunakan metode Thurber (1993). Koordinat dan kedalaman gempabumi sebelum dan setelah dilakukan relokasi ditunjukkan pada tabel 3.1

Data intensitas seismik yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari laporan stasiun pengamatan BMKG. Data intensitas seismik yang lebih detil untuk gempabumi besar, contoh gempabumi Tasikmalaya 2 september 2009, diambil dari survey lapangan yang telah dilakukan oleh tim seismologi teknik BMKG dan beberapa tim dari stasiun Bandung dan Balai Wilayah II Ciputat. Data intensitas makroseismik merupakan data rata-rata intensitas di suatu wilayah tertentu (disekitar stasiun). Hal ini untuk memastikan bahwa titik pengamatan intensitas seismik berada tidak jauh dari titik rekaman PGV dan PGA yang ada di stasiun. Laporan-laporan intensitas seismik tidak digunakan dalam perhitungan jika posisinya jauh dari stasiun. Wald dkk (1999a) tidak

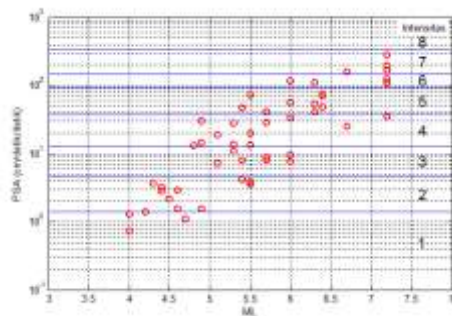
menggunakan data intensitas seismik jika titik pengamatan melebihi radius 3 km dari stasiun. Jumlah data intensitas seismik yang tersedia selama periode 2009-2011 adalah 51 catatan dengan range III-VIII MMI.

#### Resolusi Data Intensitas Seismik

Resolusi data intensitas seismik terhadap PGV dan PGA terlihat pada gambar 3.1 dan 3.2. Naiknya nilai PGV dan PGA terhadap intensitas seismik dan magnitudo menunjukkan bahwa data intensitas seismik yang digunakan dalam penelitian ini memiliki korelasi yang baik terhadap data instrumen, baik PGV maupun PGA.



Gambar 3.1. Plot 51 data PGV, magnitudo (ML), dan intensitas seismik.



Gambar 3.2. Plot 51 data PGA, magnitudo (ML), dan intensitas seismik.

Tabel 3.1 Relokasi 27 data gempabumi di wilayah Jawa Barat pada periode 2009–2010 dengan menggunakan algoritma inversi Simulps12.

NO	Tanggal	Sebelum Relokasi			Setelah Relokasi		
		Lintang	Bujur	h (km)	Lintang	Bujur	h (km)
1	02/09/2009	8,08	107,27	30	8,28	107,27	57,00
2	28/09/2009	8,18	107,21	15	8,18	107,21	15,00
3	16/10/2009	6,81	105,11	10	6,79	105,11	10,00
4	24/10/2009	7,47	106,40	20	7,47	106,40	15,00
5	18/05/2010	8,21	107,20	13	8,18	107,24	17,21
6	10/01/2010	8,08	107,88	14	8,1	107,87	44,49
7	19/01/2010	7,74	107,20	14	7,73	107,31	41,57
8	05/02/2010	7,86	107,31	31	7,84	107,29	50,42
9	22/02/2010	7,96	108,30	43	7,99	108,46	62,00
10	06/04/2010	7,60	106,67	23	7,56	106,74	54,01
11	09/04/2010	8,11	107,25	15	8,11	107,25	39,36
12	27/04/2010	8,36	107,82	15	8,21	107,86	36,49
13	26/06/2010	8,37	107,98	34	8,58	107,93	39,14
14	10/07/2010	8,08	107,28	19	8,2	107,24	11,90
15	22/08/2010	8,05	107,94	16	8,22	107,90	43,02
16	10/08/2010	8,03	107,94	20	8,37	107,96	29,36
17	09/11/2010	7,97	107,19	14	7,93	107,32	74,99
18	13/12/2010	8,12	107,23	26	8,25	107,22	16,09
19	12/01/2011	7,10	105,15	20	6,95	105,27	34,14
20	24/01/2011	8,16	107,86	24	8,05	107,91	39,86
21	03/04/2011	9,79	107,75	24	9,87	107,67	10,00
22	11/06/2011	7,01	106,30	10	6,86	106,35	10,45
23	12/06/2011	7,01	106,30	10	6,99	106,21	2,89
24	17/07/2011	7,16	106,20	59	7,51	106,76	63,44
25	24/07/2011	7,52	106,43	30	7,78	106,90	41,62
26	19/08/2011	7,59	106,64	10	7,55	106,67	32,19
27	29/08/2011	8,16	107,24	10	8,19	107,26	16,73

### Metodologi

Diagram alir penentuan hubungan empiris intensitas seismik versus PGV dan PGA terlihat pada gambar 3.3. Komponen seismogram kecepatan yang digunakan dalam pengolahan data adalah seismogram kecepatan komponen vertikal. Komponen vertikal dipilih agar perhitungan yang diperoleh sejalan dengan perhitungan parameter Peringatan Dini Gempabumi (PDG) yang juga menggunakan seismogram displacement pada komponen vertikal. Proses pertama yang dilakukan adalah melakukan filtering terhadap komponen vertikal seismogram broadband kecepatan dengan menerapkan filter Butterworth orde 2 tapis lolos tengah 0,075 – 4 Hz untuk menghilangkan efek drift dan gangguan gelombang panjang (efek tidal dan gelombang laut). Proses diferensiasi

dilakukan terhadap seismogram kecepatan untuk mendapat seismogram dalam bentuk percepatan (acceleration). Teknik regresi least square dilakukan terhadap data intensitas seismik, PGV, dan PGA dengan menggunakan persamaan berikut:

$$IMM = a \log (PGV) + b \quad (3.2)$$

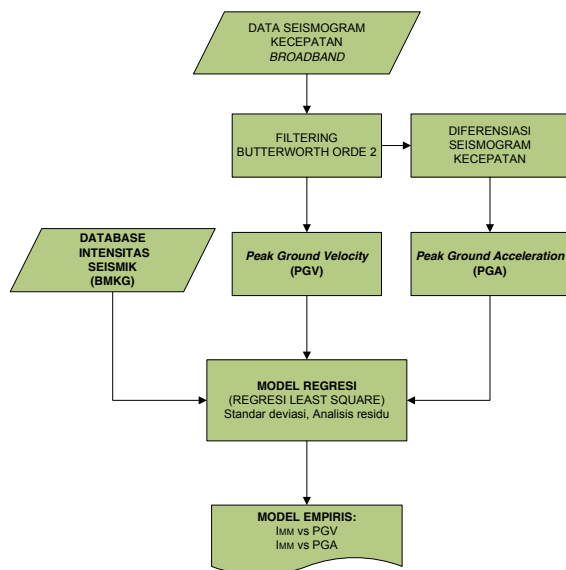
$$IMM = a \log (PGA) + b \quad (3.3)$$

Dengan a dan b adalah solusi model regresi. Sedangkan IMM adalah intensitas seismik, PGV adalah Peak Ground Velocity, dan PGA adalah Peak Ground Acceleration. PGV dan PGA adalah nilai maksimum amplitudo seismogram kecepatan dan percepatan. Standar deviasi ( $\sigma$ ) dihitung berdasarkan nilai residu (r) menggunakan rumus:



$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m-n} \sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (3.3)$$

Residu merupakan selisih dari vektor data dan  $G_m$  ( $r=d-G_m$ ). Dengan  $m-n$  menunjukkan derajat kebebasan dan  $G$  adalah matriks kernel, sedangkan  $m$  dan  $n$  masing-masing adalah jumlah data dan parameter model.



Gambar 3.3. Diagram alir penentuan  $I_{MM}$  vs PGV dan  $I_{MM}$  vs PGA

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### IMM versus PGV

Korelasi intensitas seismik terhadap PGV diperlihatkan pada gambar 3.4. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa adanya kecenderungan naiknya nilai PGV terhadap nilai intensitas. Nilai PGV sebagian besar menyebar pada masing-masing level intensitas. Penyebaran nilai PGV pada masing-masing level intensitas adalah umum yang diamati di daerah-daerah penelitian lain. Penyebaran ini disebabkan oleh adanya perbedaan cara penilaian antara intensitas seismik dan peak ground motion (baik PGV maupun PGA). PGV merupakan nilai maksimum yang diamati pada titik tertentu (single point) sedangkan intensitas seismik merupakan nilai maksimum rata-

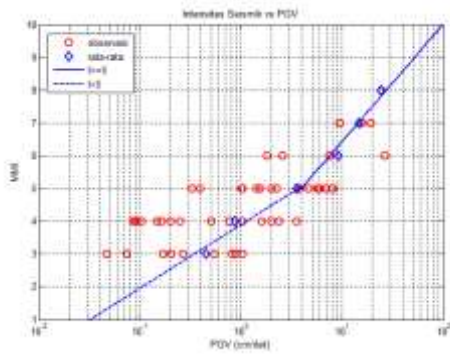
rata kerusakan pada suatu wilayah. Penyebab lain adalah nilai PGV tidak dipengaruhi oleh durasi gempa bumi dan resonansi, sedangkan intensitas seismik sangat dipengaruhi baik durasi maupun resonansi gempa bumi. Data intensitas seismik juga umumnya dipengaruhi oleh sejumlah faktor, diantaranya adalah kepadatan penduduk, tipe konstruksi bangunan, dan kondisi sosial ekonomi masyarakat. Perbedaan karakter dari PGV dan intensitas seismik inilah yang kemudian menjadikan PGV memiliki pola menyebar pada tiap level intensitas seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.

Untuk memperoleh hasil perhitungan yang baik, secara terpisah dihitung rata-rata  $\log(PGV)$  pada masing-masing level intensitas seismik. Hubungan empiris yang dihitung dengan menggunakan pendekatan regresi intensitas seismik terhadap PGV adalah sebagai berikut:

$$IMM = 3,56 \log(PGV) + 2,88 \pm 0,57 \quad (V \leq IMM \leq VIII) \quad (3.4)$$

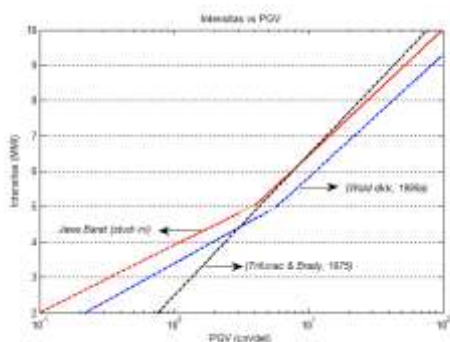
$$IMM = 1,94 \log(PGV) + 3,91 \pm 0,67 \quad (III \leq IMM < V) \quad (3.5)$$

Dengan parameter model  $a=3,56$ ,  $b=2,88$ , dan standar deviasi  $\sigma=0,57$  untuk persamaan 4.1. Dan  $a=1,94$ ,  $b=3,91$ , dan standar deviasi  $\sigma=0,67$  untuk persamaan 3.4. Standar deviasi  $< 1$  menunjukkan bahwa estimasi intensitas seismik menggunakan PGV masih cukup valid. Persamaan 3.4 digunakan untuk estimasi intensitas seismik diatas  $V$  dan persamaan 3.5 digunakan untuk estimasi intensitas seismik dibawah  $V$ . Kurva-kurva tersebut berpotongan pada level intensitas  $V$ . Pemisahan rumusan ini murni masalah jumlah data. Rumusan ini bisa saja mengalami perubahan jika terjadi penambahan data yang cukup banyak, terutama pada level intensitas seismik besar.



Gambar 3.4. Intensitas seismik terhadap PGV. Bulatan merah adalah data observasi, kotak biru merupakan rata-rata geometri PGV. Garis penuh untuk persamaan 3.4 sedangkan garis putus-putus untuk persamaan 3.5.

Perbandingan dengan penulis-penulis lain diperlihatkan pada gambar 3.5. Dari gambar ini terlihat bahwa nilai PGV di wilayah Jawa Barat lebih tinggi dari yang diperoleh oleh Wald dkk. (1999a) di wilayah California. Untuk level intensitas di atas V rumusan ini masih cocok dengan model Trifunac dan Brady (1975) yang juga melakukan perhitungan di wilayah California. Perbedaan dengan Wald kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor seperti jumlah data atau distribusi nilai intensitas dari data observasi yang tersedia. Penyebab lain yang juga berkontribusi kondisi geologi (tectonic setting) dan perbedaan kualitas bangunan di wilayah Jawa Barat dan California.



Gambar 3.5 Perbandingan hubungan empiris antara IMM dan PGV di wilayah Jawa Barat terhadap Wald dkk. (1999a) dan Trifunac dan Brady (1975).

## IMM versus PGA

Hubungan empiris intensitas seismik IMM versus PGA ditunjukkan pada gambar 3.3. Pada gambar ini terlihat bahwa nilai PGA memiliki kecenderungan yang sama sebagaimana naiknya PGV terhadap intensitas. Penyebaran nilai PGA terhadap masing-masing level intensitas juga terjadi seperti pada PGV. Penyebaran ini disebabkan oleh beberapa hal yang sama seperti disebutkan pada penjelasan di atas. Di beberapa referensi, Wald dkk. (1999a) menyimpulkan untuk level intensitas diatas VII, PGV memberikan estimasi intensitas yang lebih baik dibandingkan terhadap PGA. Wu dkk (2003) dari analisis statistik kejadian gempa bumi memberikan kesimpulan yang sama bahwa intensitas seismik memiliki korelasi yang lebih dekat terhadap PGV. Pada level intensitas yang kecil dibawah VI, wald dkk menggunakan PGA untuk mengestimasi intensitas dengan alasan bahwa PGA memberikan respon terhadap ground shaking yang lebih sensitif. Kesimpulan ini tidak terlihat pada kurva gambar PGV dan PGA masing-masing masih cukup baik dalam memprediksi intensitas seismik, baik pada level intensitas kecil maupun pada intensitas seismik yang cukup besar. Untuk memperoleh hasil perhitungan yang baik, secara terpisah dihitung rata-rata  $\log(\text{PGA})$  pada masing-masing level intensitas seismik. Hubungan empiris intensitas seismik (IMM) terhadap PGA yang diperoleh dari analisis regresi adalah sebagai berikut:

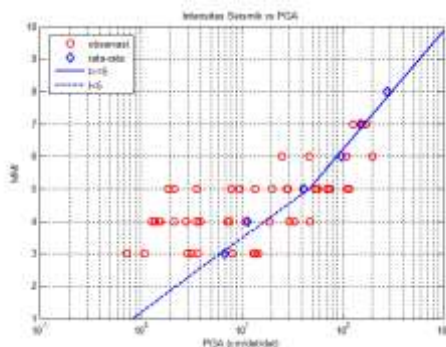
$$\text{IMM} = 3,69 \log(\text{PGA}) - 1,12 \pm 0,51$$

$$(V \leq \text{IMM} \leq \text{VIII}) \quad (3.6)$$

$$\text{IMM} = 2,28 \log(\text{PGA}) + 1,19 \pm 0,84 \quad (\text{III} \leq \text{IMM} < V) \quad (3.7)$$

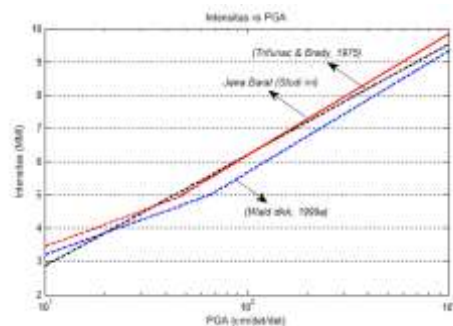
Dengan parameter model  $a=3,69$ ,  $b=-1,12$ , dan standar deviasi  $\sigma=0,51$  untuk persamaan 3.3, dan  $a=2,28$ ,  $b=1,19$ , dan standar deviasi  $\sigma=0,84$  untuk persamaan 3.6. Standar deviasi  $< 1$  menunjukkan bahwa prediksi intensitas seismik menggunakan data PGA masih cukup valid. Persamaan 3.6 digunakan untuk estimasi intensitas di atas V dan persamaan 3.7 digunakan untuk estimasi intensitas di bawah V. Pemisahan persamaan ini sebagaimana terjadi pada PGV terkait dengan jumlah data pengamatan. Perubahan bisa terjadi jika ada penambahan data yang cukup banyak terutama untuk data intensitas di atas V.

Persamaan 3.4-3.7 adalah persamaan model kalibrasi hazard yang sangat bermanfaat dalam mengkuantifikasi dampak kerusakan gempabumi berdasarkan catatan instrumen secara cepat. Model ini tidak saja bermanfaat di bidang seismologi teknik, tetapi secara luas digunakan di bidang teknik sipil dan industri asuransi. Peta intensitas seismik, baik isoseismal maupun ShakeMap, dapat dibuat secara langsung menggunakan rumusan kalibrasi persamaan 3.4-3.7. Perhitungan intensitas secara cepat yang mengkonversi sinyal gempa ke intensitas seismik sangat diperlukan dalam upaya mitigasi dan tanggap darurat bencana gempabumi.



Gambar 3.6 Intensitas seismik terhadap PGA. Bulatan merah adalah data observasi, kotak biru merupakan rata-rata geometri PGV. Garis penuh untuk persamaan 3.6 sedangkan garis putus-putus untuk persamaan 3.7.

Perbandingan IMM versus PGA dengan penulis lain ditunjukkan pada gambar 3.7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa secara umum estimasi intensitas seismik yang diperoleh berkorelasi lebih dekat dengan model Trifunac dan Brady (1975). Hasil ini tidak berbeda sebagaimana pada PGV. Pada level intensitas di bawah V, model cenderung lebih sesuai dengan model Wald dkk. (1999a).



Gambar 3.4 Perbandingan hubungan empiris antara IMM dan PGA di wilayah Jawa Barat terhadap Wald dkk. (1999a) dan Trifunac dan Brady (1975) yang diperoleh di California.

## V. KESIMPULAN

Intensitas seismik berkorelasi baik dengan Peak Groun Motion (PGV) dengan standar deviasi 0,57 untuk intensitas V-VIII dan 0,67 untuk intensitas di bawah V. Data Peak Ground Motion (PGA) yang diturunkan dari diferensiasi seismogram kecepatan berkorelasi baik terhadap intensitas seismik dengan standar deviasi 0,51 untuk intensitas V-VIII dan 0,84 untuk intensitas di bawah V. Hubungan empiris ntensitas seismik versus PGV dan intensitas seismik versus PGA dapat digunakan sebagai model kalibrasi risiko di wilayah Jawa Barat.



## VI. DAFTAR PUSTAKA

Ambraseys, N. N. (1975): The correlation of intensity with ground motion. *Proceedings of the XIV General Assembly of the European Seismological Commission*, 335-341.

Gunawan, H., Puspito, N.T., Ibrahim, G., Harjadi, P.J. (2011): Analysis The First Arrival of P-Wave of Ina-TEWS and CTBTO Stations to Support Earthquake Early Warning.

Faccioli E. dan Cauzzi C. (2006): Macroseismic intensities for seismic scenarios, estimated from instrumentally based correlations, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Geneva, Switzerland.

Gutenberg, B. dan Richter, C.F. (1942): Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration, *Bull. seism. Soc. Am.*, **32**, 163–191.

Hershberger, J. (1956): A comparison of earthquake accelerations with intensity ratings, *Bull. seism. Soc. Am.*, 46, 317–320.

Margottini, C., Molin, D., dan Serva, L. (1992): Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data. *Engineering Geology*. **33**, 45-58.

McGuire, R.K. (1993): *The practice of earthquake hazard assessment*. IASPEI, Denver.

Trifunac, M. dan Brady, A. (1975): On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of the recorded ground motion. *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 65, 139-162.

Wald, D., Quitoriano, V, Heaton, T.H., dan Kanamori, H. (1999a) : Relationships Between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, And Modified Mercalli Intensity In California, *Earthquake Spectra*, 15, 557-564.

Wald, D., Quitoriano, V., Heaton, T.H., Kanamori, Scrivner, C., dan Worden, C. (1999b): TriNet ShakeMaps: Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California, *Earthquake Spectra*, 15, 537-555.