

PENENTUAN WAKTU TIBA GELOMBANG-P SECARA OTOMATIS DENGAN METODA SKEWNESS DAN KURTOSIS TERINTEGRASI

AUTOMATIC DETERMINATION OF P-WAVE ARRIVAL TIME WITH INTEGRATED SKEWNESS AND KURTOSIS METHODS

Hendar Gunawan,^{1,2}, Nanang T. Puspito¹, Gunawan Ibrahim¹, P.J.Prih Haryadi², Kadnan²

¹Sains Kebumian, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian ITB Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

²BMKG, Jl. Angkasa I No 2 Kemayoran Jakarta 10720

e-mail:hendargunawan@hotmail.com

Naskah masuk: 10 April 2012; Perbaikan terakhir: 9 Oktober 2012; Naskah diterima: 12 Nopember 2012

ABSTRAK

Penentuan waktu tiba gelombang P sangat penting dalam perhitungan parameter Peringatan Dini Gempabumi (PDG) yaitu periode dominan dan amplitudo pergeseran maksimum yang digunakan untuk memprediksi magnitudo dan lokasi hiposenter. Metodologi statistik orde tinggi yang disebut dengan Integ telah digunakan untuk menentukan waktu tiba gelombang P. Filter bandpass butterworth orde dua dengan frekuensi 0,075-4 Hz diterapkan untuk menghilangkan efek drift dan gangguan gelombang panjang. Proses integrasi sinyal broadband kecepatan dilakukan untuk mendapatkan sinyal broadband pergeseran. Dari perhitungan yang dilakukan pada 68 sinyal broadband kecepatan yang tercatat oleh stasiun CISI, Jawa Barat sepanjang periode 2009-2011 menunjukkan tingkat ketelitian yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode STA/LTA yang saat ini digunakan di BMKG. Selisih residu rata-rata metoda Integ dengan data acuan BMKG adalah -0.063 detik dengan standar deviasi 0.393 detik dan standar kesalahan 0.048 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa metoda Integ memiliki tingkat ketelitian yang baik dan dapat digunakan dalam penentuan parameter PDG.

Kata kunci : Peringatan Dini Gempabumi, Kurtosis, Skewness.

ABSTRACT

Determination of P-wave arrival time is crucial in the calculation of Earthquake Early Warning (EEW) parameters is dominant period and maximum displacement amplitude is used to predict magnitude and hypocenter. The methodology of higher order statistical called Integ used to determine P-wave arrival time. Bandpass filter of second order butterworth with frequency 0.075-4 Hz is applied to eliminate drift effects and long-wave noise. The integration process of velocity broadband signal applied to get displacement signal. From the calculations of 68 velocity broadband signals recorded by CISI station, West Java during period 2009-2011 showed a better accuracy compared to the STA/LTA are currently used in BMKG. Difference in average residual of Integ method to reference data of BMKG is -0063 seconds with standard deviation 0,393 seconds and standard error 0,048 seconds. These results indicate that the Integ method has high accuracy and can be used in the determination of EEW parameters.

Keyword : Earthquake Early Warning, Kurtosis, Skewness.

1. Pendahuluan

Penentuan waktu tiba gelombang P dan S ini sangat penting dalam kegiatan monitoring gempabumi secara runtun waktu dan akurasi penentuan episenter. Penentuan waktu tiba gelombang P, yang dikaji dalam tulisan ini, dapat ditentukan secara manual dari seismogram

langsung tanpa melalui proses filtering terlebih dahulu. Pekerjaan ini biasa dilakukan oleh observer yang berpengalaman sehingga memperoleh hasil yang baik tetapi kurang cepat dan tidak efektif. Penentuan waktu tiba gelombang P secara otomatis umumnya menggunakan metode STA/LTA [1]. Dalam metode ini, kesalahan perhitungan waktu tiba gelombang P masih

terjadi karena nilai maksimum kurva STA/LTA berada di pusat kurva, sehingga awal kedatangan gelombang bergeser ke kanan. Oleh sebab itu, diperlukan suatu metoda penentuan waktu tiba gelombang gempabumi yang lebih teliti dan cepat yang bisa digunakan dalam sistem Peringatan Dini Gempabumi (PDG).

Ada dua parameter PDG yang umumnya digunakan di beberapa negara yang telah mengimplementasikan sistem PDG, yaitu periode dominan dan amplitudo pergeseran maksimum yang dihitung beberapa detik setelah gelombang P tiba di stasiun terdekat. Penentuan waktu tiba gelombang P sangat krusial dalam perhitungan parameter PDG yang akan digunakan untuk prediksi parameter gempabumi seperti magnitudo dan jarak hiposenter. Kesalahan yang kecil pada penentuan waktu tiba gelombang P akan sangat berpengaruh pada akurasi magnitudo dan jarak hiposenter yang diperoleh.

Penentuan waktu tiba gelombang P tidak mungkin dilakukan secara manual yang sangat bergantung pada subyektifitas dari seorang observer. Algoritma penentuan waktu tiba secara otomatis STA/LTA yang saat ini digunakan masih memiliki kelemahan, seperti adanya superposisi sinyal gempabumi dengan energi lain dari sumber gempabumi teleseismik. Bahkan untuk gempabumi lokal, untuk durasi gelombang tertentu yang belum selesai sudah ada fase-fase gelombang lain pada waktu yang hampir bersamaan. Kelemahan lain adalah jika pemilihan panjang jendela waktu dalam perhitungan rata-rata (STA) kurang tepat, atau adanya amplitudo *noise* yang tinggi seperti dari mikrotremor dll maka secara langsung berpengaruh pada ketelitian penentuan waktu tiba gelombang P [2], [3].

Ada beberapa metode penentuan waktu tiba gelombang P yang dilakukan baik dalam domain frekuensi maupun dalam domain waktu atau kombinasinya. Pendekatan domain waktu yang umum digunakan yaitu STA/LTA dan algoritma *multi window* yang dikembangkan oleh Chen, Z. dan Robert, R.S.[1], dengan ide dasar jika STA/LTA melebihi batas ambang yang ditentukan maka akan dipilih sebagai waktu tiba gelombang P. Pengembangan lebih lanjut metoda STA/LTA dengan menggunakan kombinasi kriteria STA/LTA dan *auto regressive- akaike* [4], analisis polarisasi [5], kriteria kurtosis dalam domain waktu yang dikombinasikan dengan *Haar wave let* [6], serta analisis dengan jaringan syaraf tiruan [7], [8].

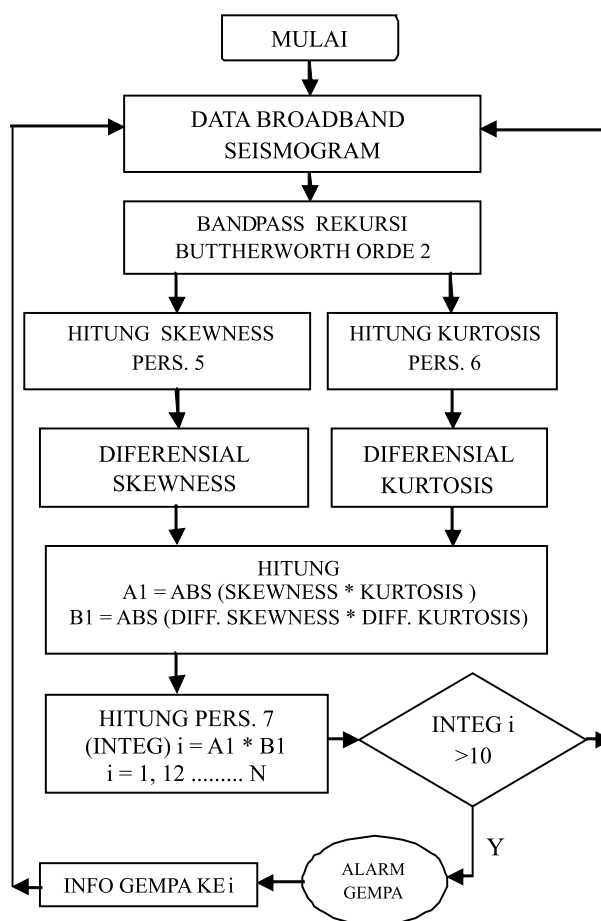
Dalam penelitian ini identifikasi waktu tiba gelombang-P digunakan algoritma statistik orde tinggi yaitu kurtosis dan skewness dan kombinasinya dengan diferensial skewness dan kurtosis yang kemudian disebut metoda Integ. Tujuan dari metoda ini adalah diperolehnya hasil perhitungan yang teliti dan dapat diaplikasikan secara otomatis. Perhitungan teliti dan otomatis ini sangat diperlukan dalam penentuan periode dominan dan amplitudo pergeseran maksimum dan informasi PDG atau *Earthquake Early Warning (EEW)*.

2. Metode Penelitian

Identifikasi waktu tiba gelombang secara otomatis dilakukan dengan cara memisahkan sinyal gempabumi dari gangguan gempa (*noise*) yang disebabkan oleh gelombang panjang (gelombang tidal, gelombang laut) dan gelombang lain yang disebabkan oleh alam atau *noise* lokal dari aktivitas manusia atau lingkungan. Tapis lolos tengah *Butterworth* orde 2 dengan frekuensi 0,075-4 Hertz digunakan untuk menghilangkan efek *drift* dan gangguan gelombang panjang. Metodologi penelitian selengkapnya terlihat pada gambar 1, yang menggambarkan algoritma penentuan metoda skewness dan kurtosis terintegrasi.

2.1. Kriteria Skewness dan Kurtosis.

Algoritma untuk menghitung skewness dan kurtosis yang terintegrasi ditujukan untuk meminimalisasi kesalahan penentuan waktu tiba gelombang gempabumi *non gaussian*.



Gambar 1. Diagram Alir Penentuan Awal Gelombang P (*Seismic Alarm Detection*).

Besaran lain yang digunakan untuk mengetahui penyebaran data adalah varian. Koefisien varian mempunyai peranan penting dalam menduga keluarga distribusi, apakah eksponensial atau distribusi *gamma*. Varian sangat sensitif terhadap penambahan amplitudo, sehingga dapat digunakan sebagai pendekatan waktu tiba secara kasar.

varian bergerak :

$$\frac{1}{N} \sum_{j=N-2}^{N/2} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (1)$$

$$\bar{X}_n = \frac{(n-1)\bar{X}_{n-1} + X_n}{N} \quad (2)$$

$$S_n^2 = \frac{(n-2)S_{n-1}^2 + (X_n - \bar{X}_n)(X_n - \bar{X}_{n-1})}{n-1} ; n > 1 \quad (3)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{(n-1)\sigma_{n-1}^2 + (X_n - \bar{X}_n)(X_n - \bar{X}_{n-1})}{n} ; n > 1 \quad (4)$$

Dengan: N = jumlah data
 \bar{X}_n = rata-rata data
 S = standar deviasi
 S^2 = varian sampling
 σ^2 = varian populasi

2.1.1. Skewness.

Skewness menggambarkan distribusi normal data. Distribusi normal untuk skewness = 0 atau data pada sebaran sama dengan rata-ratanya. Jika distribusi data lebih besar dengan rata-ratanya ketajaman kurva miring ke kiri, sebaliknya untuk data yang lebih kecil ketajaman kurva miring ke kanan. Data waktu tiba gelombang gempa bumi dicirikan dengan nilai amplitudo yang meningkat tajam, atau lebih besar dari rata-ratanya. Oleh sebab itu skewness dapat digunakan sebagai identifikasi kedatangan gelombang P. Permasalahannya adalah nilai maksimum kurva tidak pada tepat waktu tiba gelombang. Waktu tiba jika mengacu pada nilai maksimum kurva skewness dihasilkan waktu tunda. Teknik diferensiasi skewness ditujukan untuk memperkecil waktu tunda.

$$M_{2,n} = M_{2,n-1} + (X_n - \bar{X}_n)(X_n - \bar{X}_{n-1})$$

$$S_n^2 = \frac{M_{2,n}}{n-1}$$

$$\sigma_n^2 = \frac{M_{2,n}}{n}$$

Untuk menentukan formula skewness digunakan *central moment* orde ketiga dan keempat, seperti berikut :

$$M_{3,X} = M_{3,A} + M_{3,B} + \delta^3 \frac{n_A n_B (n_A - n_B)}{n_X^2} + 3\delta \frac{n_A M_{2,B} - n_B M_{2,A}}{n_X}$$

Disini $M_k = \sum (x - \bar{x})^k$ jadi,

$$\text{Skewness : } g1 = \frac{\sqrt{n} M_3}{M_2^{3/2}} \quad (5)$$

2.1.2. Kurtosis

Kurtosis adalah ukuran ketajaman distribusi A. Gaussian yang memiliki distribusi kurtosis = 0. Berbeda dengan signal gempa bumi yang memiliki distribusi *non Gaussian* yang menghasilkan nilai kurtosis tinggi. Distribusi normal gempa bumi memiliki keruncingan kurva yang tinggi dibanding normalnya. Sifat ini dijadikan alat untuk identifikasi signal *non Gaussian*. Jumlah titik data dalam jendela waktu yang dipilih (*window shifting*) tergantung pada waktu pencacahan data (*sampling rate*).

Untuk menentukan formula kurtosis digunakan *central moment* orde keempat, seperti berikut :

$$M_{4,X} = M_{4,A} + M_{4,B} + \delta^4 \frac{n_A n_B (n_A^2 - n_A n_B + n_B^2)}{n_X^3} + 6\delta^2 \frac{n_A^2 M_{2,B} + n_B^2 M_{2,A}}{n_X^2} + 4\delta \frac{n_A M_{3,B} - n_B M_{3,A}}{n_X}$$

Disini $M_k = \sum (x - \bar{x})^k$ jadi,

$$\text{Kurtosis : } g2 = \frac{n M_4}{M_2^2} \quad (6)$$

Kurtosis masih menghasilkan kurva maksimum yang tidak tepat sesuai waktu tiba gelombang. Oleh sebab itu perlu dilakukan pendekatan melalui diferensial kurtosis untuk menghitung kemiringan kurva dari nilai maksimumnya.

Teknik yang dikembangkan untuk menentukan waktu tiba gelombang sebagai kandidat gempa adalah menghitung perkalian absolut skewness * kurtosis dan absolut dari diferensial skewness * kurtosis seperti pada persamaan 7.

$$\text{InTeg} = |\text{skewness} * \text{kurtosis}|$$

$$\left| \frac{d\text{Skewness}}{dt} * \frac{d\text{Kurtosis}}{dt} \right| \quad (7)$$

2.3. Background Signal dan Spike

Background signal (noise) yang disebabkan oleh gelombang laut (*sea wave*), gangguan lokal frekuensi tinggi dari trafik, manusia, alam lingkungan tempat sensor gempa bumi diinstalasi perlu diteliti agar hasil penentuan waktu tiba gelombang dapat ditentukan secara baik. Tingkat *performance* S/N dapat diselesaikan dalam

domain ruang seperti dengan cara perbandingan STA/LTA. Perbandingan S/N didefinisikan sebagai perbandingan nilai maksimal signal sebelum dan sesudah waktu tiba gelombang atau rata-rata perbandingan S/N adalah perbandingan antara absolut amplitudo rata-rata setelah dan sebelum signal. Nilai S/N dapat ditetapkan sesuai kondisi lokasi sensor. Jika $S/N > 2$ maka waktu tiba kandidat gempabumi akan memiliki kesalahan beberapa detik, sedangkan untuk $S/N > 8$ maka waktu tiba kandidat gempabumi dapat dipilih dengan baik [9]. Jadi gambaran penentuan waktu tiba gelombang gempa kurang teliti jika amplitudo kecil dan S/N juga kecil. Uji kualitas data digunakan analisis spektral S/N > 100 untuk broadband Trilium (CBJI), broadband Trident (DBJI, CMJI, SKJI, CNJI) dan broadband STS-2 (CISI).

Dua kriteria dalam melihat *performance* waktu tiba gelombang yang baik yaitu rata-rata amplitudo (RS) dan rata-rata perbandingan S/N. Rata-rata amplitudo dihitung setiap segmen dari waktu tiba gelombang sampai dengan selesai sesuai jendela waktu yang ditentukan dengan panjang input segmen.

$$RS = 1/N \sum_1^N s(t) \quad (8)$$

dengan N = batas panjang jendela waktu
 $S(t)$ = harga amplitudo .

Spiking atau *noise* yang disebabkan kejutan listrik atau gangguan sistem *grounding* atau sinyal alami (kilat, guntur), yang memiliki karakter dengan peningkatan dalam amplitudo yang mendadak tinggi, frekuensi gelombang sangat tinggi dan akan memberikan kontribusi penentuan waktu tiba gelombang dan menjadi salah alarm dalam peringatan dini gempa. *Spiking* perlu dihilangkan dalam domain waktu sbb: Pada jendela waktu yang digerakkan (*sliding window*) dipilih amplitudonya π_i (i = panjang jendela waktu). Perbandingan amplitudo *spiking* (AS_{π_i}) dihitung dari rata-rata amplitudo yang dihitung sebelum *spike* (RA_{π_i}), dibandingkan dengan amplitudo *spiking* (RS_{π_i}) sbb:

(9)

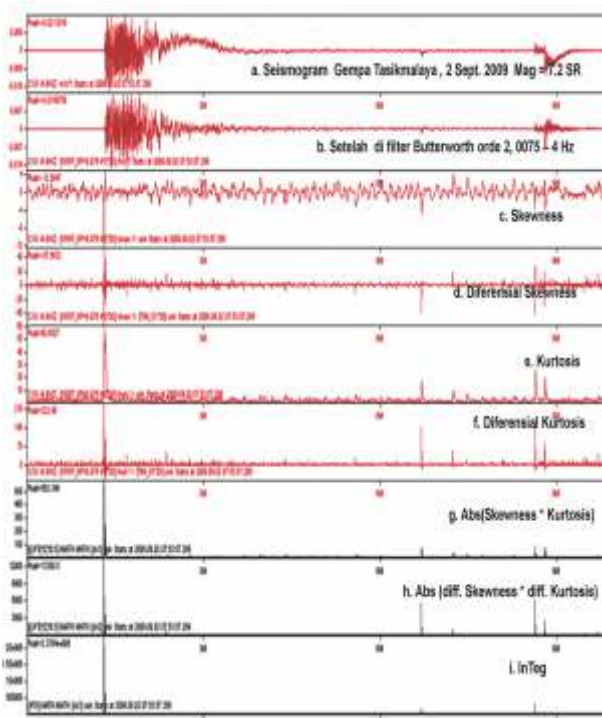
Jika hasilnya dibawah ambang batas (0.1), maka gangguan dari *spike*, bukan signal gelombang gempabumi [10].

Dengan memahami pemrosesan data dalam domain waktu, penulis mengidentifikasi *noise* dalam domain frekuensi. Identifikasi sinyal *background* dilakukan dengan cara analisis spektral, yaitu dipilih sinyal *background* sebelum sinyal gelombang gempa dibandingkan dengan sinyal gempabuminya. Kelompok frekuensi *background* kemudian dihilangkan dengan cara melakukan penyaringan melalui tapis lolos tengah atau *bandpass filter* untuk menghilangkan *background noise* dari gelombang laut, gelombang tidal, dan gangguan lain yang memiliki frekuensi lebih rendah.

3. Hasil dan Pembahasan

Langkah awal dalam studi PDG menggunakan fase awal gelombang P adalah penentuan waktu tiba gelombang P. Ketelitian pembacaan waktu tiba, akan menentukan ketelitian penentuan parameter PDG yaitu periode dominan dan amplitudo pergeseran maksimum yang akhirnya akan berpengaruh terhadap besaran prediksi magnitudo M_w dan posisi hiposenter. Penerapan metoda InTeg dalam penentuan waktu tiba gelombang P diaplikasikan untuk semua gempabumi yang diteliti. Pada gambar 2, analisis seismogram gempabumi Tasikmalaya tanggal 2 september 2009 dengan menggunakan metoda InTeg. Langkah perhitungan waktu tiba gelombang dimulai dari langkah a, yaitu seismogram asli, langkah b adalah proses *filtering* dengan menggunakan filter lolos tengah butterworth orde 2, frekuensi 0.075 – 4 Hertz untuk menghilangkan pengaruh *noise* dalam data. Aplikasi metoda statistik skewness ditunjukkan pada langkah c. Pada langkah d, sinyal seismogram skewness selanjutnya dideferensialkan. Langkah e adalah perhitungan kurtosis dan f adalah diferensiasi kurtosis. Langkah g adalah nilai mutlak perkalian dari kurtosis dengan skewness dan h merupakan nilai mutlak perkalian diferensial kurtosis kali diferensial skewness. Terakhir adalah langkah i yang merupakan hasil perkalian seismogram langkah g dikalikan seismogram langkah h. Residu yang diperoleh dari metode Integ kemudian dibandingkan dengan residu metode STA/LTA hasil perhitungan BMKG. Residu ini merupakan selisih waktu tiba metode yang digunakan dengan waktu tiba referensi (normalisasi).

Sebagai studi awal, data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 68 data gempabumi setelah gempabumi utama Tasikmalaya tanggal 2 September 2009, jam 07:55:00.8 WIB, Magnitudo 7.2 Skala Richter dengan kedalaman 30 km pada posisi 8,24 LS dan 107,32 BT. Teknik yang sama juga telah dikembangkan untuk 309 sinyal gempa yang tercatat di beberapa stasiun broadband BMKG di Pangandaran (CMJI), Sukabumi (SKJI), Bogor (DBJI), Cianjur (CNJI), Citeko (CBJI), dan Bandung (LEM). Hasil perhitungan residu yang dilakukan pada 68 data gempabumi di stasiun CISI ditunjukkan pada gambar 3. Residu data cenderung memiliki nilai negatif dengan nilai rata-rata -0,052 detik, standar penyimpangan 0,545 detik, dan standar kesalahan 0,06 detik. Residu dominan lebih kurang 0,25 detik dalam jangkauan residu 1,25 detik. Secara fisis, hasil ini menunjukkan bahwa model kecepatan yang digunakan dalam perhitungan parameter hiposenter gempabumi tidak sesuai benar dengan model kecepatan sebenarnya di lapangan.

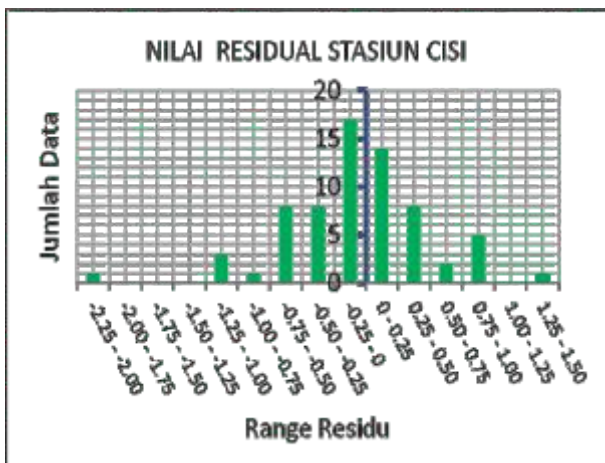


Gambar 2. Analisis seismogram gempabumi Tasikmalaya tanggal 2 september 2009.

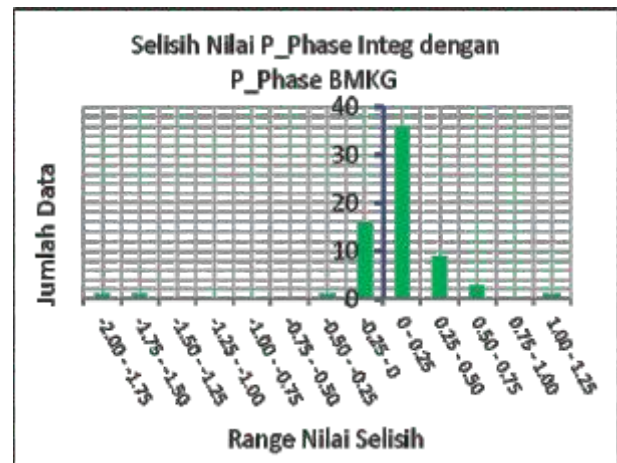
direkam di stasiun CISI menunjukkan perbedaan terbanyak 0 s/d 0,25 detik atau 80 % dominan. Jika perbedaan diuraikan kembali dapat ditunjukkan pada grafik gambar 5. Nilai kesalahan (*error*) data gempa yang dominan 0,1 detik hingga 0,15 detik, dan 0,25 detik hingga 0,5 detik. Gambar 5 adalah selisih nilai detail dari gambar 4.

Sedangkan untuk selisih hasil perhitungan kesalahan penentuan metoda STA/LTA dengan nilai data acuan BMKG ditunjukan pada gambar 6. Nilai rata-rata kesalahan perhitungan adalah -0,011 detik dengan standar deviasi 0,626 detik dan standar kesalahan 0,075 detik. Gambar 7 adalah nilai kesalahan secara detil dari perhitungan pada gambar 6. Nilai kesalahan yang ada terkonsentrasi pada selisih waktu 0 detik sampai dengan 0,25 detik. Jika konsentrasi data diteliti lebih dalam ternyata jumlah selisih nilai terbanyak berada antara 0 detik sampai dengan 0,15 detik.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, penentuan waktu tiba dengan menggunakan metode Integ akan meningkatkan ketelitian penentuan episenter 0,05 detik dan menambah ketelitian penentuan parameter periode dominan pada seismogram pergeseran sebesar 0,01 detik dari 0,1 detik dari nilai sebelumnya.

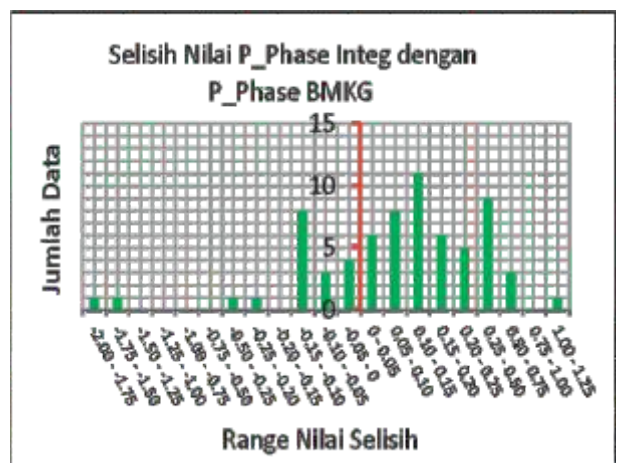


Gambar 3. Grafik Residu Pembacaan Gelombang P.



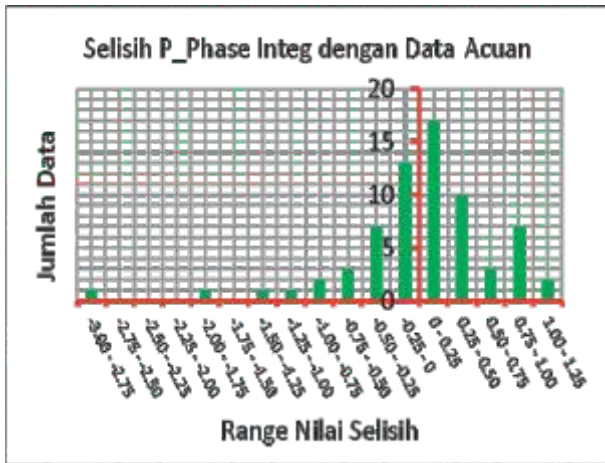
Gambar 4. Grafik selisih nilai Integ dengan Phase-P BMKG.

Selanjutnya untuk menentukan pembacaan yang benar dari data waktu tiba gelombang P di stasiun CISI, Cisompet, Garut, Jawa barat digunakan asumsi bahwa pencatatan waktu tiba tidak ada residu waktu jika digunakan untuk penentuan episenter atau model yang digunakan cukup baik dan sesuai dengan kondisi lapangan. Data waktu tiba yang dikoreksi dengan residu data stasiun CISI kemudian dianggap sebagai data acuan dalam perhitungan.

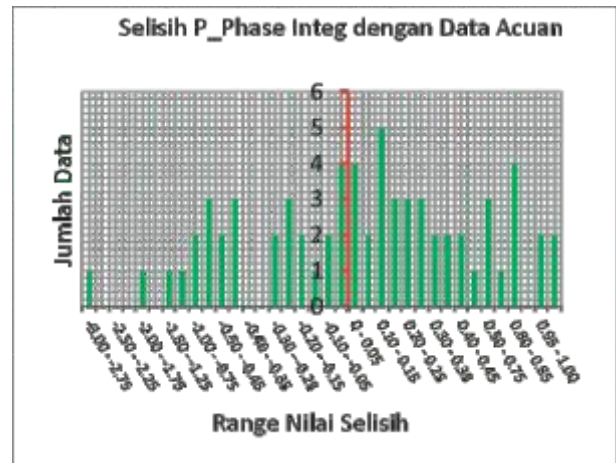


Gambar 5. Selisih nilai detail dari gambar 4.

Pada pembacaan fase gelombang P dari 68 data gempabumi selisih waktu tiba gelombang P antara data acuan yang ada di BMKG dengan metoda Integ menunjukkan nilai rata-ratanya -0,063 detik dengan standar deviasi 0,393 detik dan standar kesalahan mutlak 0,047 detik yang diperlihatkan pada gambar 4. Selisih nilai hitungan metoda Integ dengan phase-P BMKG yang



Gambar 6. Grafik kesalahan penentuan Gelombang-P dengan Nilai Penentuan STA/LTA yang dikoreksikan dengan residu Episentris di Stasiun CISI (acuan).



Gambar 7. Grafik Kesalahan Secara Detail dari Gambar 6.

Tabel 1. Perbandingan residu, selisih Metoda Integ dengan BMKG dan selisih metoda STA/LTA dengan BMKG.

Perbandingan Data	Rata-rata residu	Standar Deviasi	Standar Error
Residu BMKG	-0,052	0,055	0,06
Selisih Metoda InTeg – BMKG	-0,063	0,393	0,05
Selisih Metoda STA/LTA – BMKG	-0,011	0,626	0,07

4. Kesimpulan

Residu rata-rata metode Integ adalah -0,063 detik dengan standar penyimpangan 0,393 detik dan standar kesalahan 0,048 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa metode Integ yang dikembangkan dengan menggunakan logika statistik skewness dan kurtosis terintegrasi memberikan hasil yang lebih baik dan teliti jika dibandingkan dengan metode STA/LTA sehingga dapat mendukung perhitungan parameter periode dominan dan amplitudo pergeseran maksimum yang merupakan parameter kunci dalam studi peringatan dini gempa bumi yang telah digunakan di beberapa negara yang sudah menerapkan sistem peringatan dini gempa bumi.

Daftar Pustaka

- [1] Chen, Z., & Stewart R., R., (2006). A Multi Window Algorithm For Real Time Automatic Detection and Picking of P Phase Of Microseismic Events. *CREWES Research Report*, 18.
- [2] Dai, H., & MacBeth, C., (1997). Arrivals Identification In Local Earthquake Data Using Artificial Neural Network. *Journal of Geophysical Reseach*.
- [3] Stefano, R.,D., Aldersons, D., Kissling, E., Baccheshi, P., & Chiarabba, C., (2006). Automatic Seismic Phase Picking and Consistent Observation Error Assesment : Aplication to The Italian Seismicity. *Geophys Journal International*, 165, 121-134.
- [4] Akazawa, T., (2004). A Technique For Automatic Detection Of Onset Time Of P- And S-Phase In Strong Motion Records. *13th Word Conference On Earthquake Engineering*, Paper No. 786.
- [5] Anya, M.,R., Mao, W., & Gubbins, D. (2001). Polarization Filtering For Automatic Picking of Seismic data and Improved Converted phase Detection, *Geophys Journal International*, 147, 227-237.
- [6] Merino, J.J, G., Herran, J.,R., & Parolai, S. (2007) . Seismic Phase Picking Using A Kurtosis Based Criterion In The Stationary Wavelet Domain, *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*.
- [7] Gentili, S., & Michelini, (2006). Automatic Picking of P and S wave Phase Using Neural Tree, *Journal of Seismology*.
- [8] Wang, J., & Liang, T.T., (1995). Artificial Neural Network Based Seismic Detector. *BSSA*, 85, 308-319.

[9] Dai, H., & MacBeth, C., (1997). The Applications of Back-Propagation Neural Network To Automatic Picking Seismic Arrivals from Single-Component Recordings. *Journal of Geophysical Research*, 102, 15.

[10] Ahmed, A., Sharma, M.L., & Sharma, A., (2007) . Wavelet Based Automatic Phase Picking Algorithm For 3-Component Broadband Seismological Data. *JSEE : Spring and Summer*, 9.