

ESTIMASI MAGNITUDO GEMPA BUMI DARI SINYAL SEISMIK GELOMBANG P MENGUNAKAN METODE REGRESI POLINOMIAL

ESTIMATION OF EARTHQUAKE MAGNITUDE FROM P WAVE SEISMIC SIGNALS USING POLYNOMIAL REGRESSION METHOD

Naomi Yulia Indah Ginting¹, Astri Novianty, S.T., M.T.² Anggumeka Luhur Prasasti, S.T., M.T.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ naomiyulia@student.telkomuniversity.ac.id, ² astrinov@telkomuniversity.ac.id,

³ anggumeka@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi atau pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi umumnya menghasilkan gelombang P, gelombang S dan gelombang permukaan. Gelombang P memiliki amplitudo yang lebih kecil dan kecepatan yang tinggi dibandingkan gelombang S dan gelombang permukaan. Untuk melakukan *Earthquake Early Warning* (EEW), magnitudo harus diperkirakan lebih awal sehingga peringatan dapat dikeluarkan sebelum kedatangan gelombang S dan gelombang permukaan yang lebih merusak. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan estimasi magnitudo gempa bumi dari sinyal seismik menggunakan metode regresi polinomial dan mengetahui performansi yang dihasilkan. Dataset yang digunakan adalah sinyal seismik gelombang P. Sinyal seismik gelombang P melalui proses ekstraksi fitur, kemudian nilai hasil fitur tersebut yang menjadi data input untuk masuk kedalam perhitungan metode regresi polinomial. Setelah itu metode regresi polinomial melakukan testing dengan skema pengujian untuk menghasilkan nilai estimasi magnitudo gempa bumi dengan performansi MSE (*Mean Square Error*) terbaik. Parameter skema pengujian pada sistem estimasi magnitudo gempa bumi setelah melalui tahap ekstraksi fitur dan estimasi menggunakan regresi polinomial akan mendapatkan hasil performansi. Performansi terbaik sistem estimasi magnitudo gempa bumi didapatkan dengan 11 nilai hasil ekstraksi fitur, partisi data 70%:30%, menggunakan variabel derajat regresi polinomial derajat 2 dan tanpa melakukan normalisasi dengan hasil performansi nilai MSE 0,53557.

Kata Kunci: *Magnitudo, Gempa Bumi, Sinyal Seismik, Gelombang P, Regresi Polinomial.*

Abstract

Earthquakes are events of vibration or shaking that occur on the surface of the Earth due to the energy release or movement of the Earth's crust (earth plate) from the sudden that creates seismic waves [1]. Earthquakes generally produce P waves, S waves and surface waves. P Wave has smaller amplitude and high speed compared to S wave and surface wave. To perform Earthquake Early Warning (EEW), the magnitude should be estimated early so that warnings can be issued prior to the arrival of the S wave and more damaging surface waves. The purpose of this research is to produce an estimated magnitude of earthquakes from a seismic signal using a method of regression polynomials and to know the performance produced. The Dataset used is a wave seismic signal of P. P-Wave seismic signal through the feature extraction process, then the resulting value of the feature that

becomes the input data to enter into the calculation method of polynomials regression. Afterwards, polynomial regression method performs testing with testing schemes to produce an estimated value of the earthquake magnitude with the best MSE (Mean Square Error) performance. The Parameter of the test scheme on the estimation system of the earthquake magnitude after the extraction stage of features and estimation using polynomial regression will result in performance. The best performance of the earthquake magnitude estimation system was obtained by 11 values of the extraction result of the feature, data partition 70%: 30%, using the degree variable regression degree polynomials 2 and without doing normalization with the result of the performance of the value of MSE 0.53557.

Keywords: Magnitude, Earthquake, Seismic Signal, P Wave, Polynomial Regression.

1. Pendahuluan

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi atau pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik[1]. Gelombang seismik terdiri dari dua jenis, yaitu gelombang yang merambat di permukaan bumi (*surface waves*) dan pada bagian dalam bumi (*body waves*). Body waves mempunyai dua macam gelombang, yakni gelombang P (primary/longitudinal) dan gelombang S (*secondary/transversal*)[2]. Gempa bumi umumnya menghasilkan gelombang P, gelombang S dan gelombang permukaan. Gelombang P memiliki amplitudo yang lebih kecil dan kecepatan yang tinggi dibandingkan gelombang S dan gelombang permukaan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, untuk melakukan *Earthquake Early Warning* (EEW) magnitudo harus diperkirakan lebih awal sehingga peringatan dapat dikeluarkan sebelum kedatangan gelombang S dan gelombang permukaan yang lebih merusak[3]. Magnitudo gempa adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa[1]. Besaran ini akan bernilai sama, meskipun dihitung dari tempat yang berbeda. Banyaknya data sinyal tiap detik yang masuk ke stasiun sismograf menyebabkan terhambatnya pemberian informasi atau peringatan kepada masyarakat tentang terjadinya gempa bumi. Pengukuran magnitudo yang akurat dengan beberapa detik pertama gelombang P berguna untuk EEW[3].

Oleh karena itu, estimasi atau prediksi magnitudo dari sinyal Seismik Gelombang P dapat membantu dalam pengambilan langkah efektif untuk mengurangi kerusakan, kerugian dan jumlah korban akibat terjadinya gempa bumi[3]. Setiap sinyal yang didapat diolah menggunakan metode Regresi Polinomial dan mengeluarkan hasil estimasi gempa bumi yang diharapkan dapat membantu meningkatkan teknologi BMKG terkait dengan gempa bumi.

2. Dasar Teori

2.1 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur adalah proses pengambilan ciri yang unik dari data yang diolah. Ekstraksi fitur bertujuan untuk memperkecil jumlah data dalam melakukan perhitungan serta perbandingan yang dapat dipakai untuk penyelesaian metode yang digunakan dengan mengenali karakteristik sinyal yang berbeda berdasarkan histogram yang dimilikinya[4]. Ekstraksi fitur yang digunakan pada sistem ini adalah pengambilan nilai fitur yang berhubungan dengan amplitudo dari gelombang P. Nilai amplitudo digunakan karena memiliki hubungan yang tegak lurus

dengan besar getaran gempa atau biasa dikenal dengan magnitudo. Semakin besar magnitudo yang ditangkap oleh seismometer maka amplitudo yang di tampilkan oleh seismograf akan semakin besar[5].

2.1.1 Short Time Average/ Long Time Average (STA/ LTA)

Terdapat empat buah atribut fitur STA/LTA yang dapat digunakan sebagai ekstraksi fitur yaitu *classic* STA/LTA, *recursive* STA/LTA, *delayed* STA/LTA, *carl* STA/LTA [6,7,8]. Keempat atribut STA/LTA tersebut di gunakan menggunakan modul `obspy.signal.trigger`[8]. Formula STA/LTA secara umum dilihat pada persamamaan [2.1], [2.2], [2.3]. Pada saat nilai $sta_{(nsta)} < nlt_a$ maka nilai $sta = 0$ [8].

$$\frac{sta}{lta} = \frac{\sum_{nsta} sta_{(nsta)}}{\sum_{lsta} lta_{(nlt_a)}} \quad [2.1]$$

$$nsta = sampling\ rate \times waktu\ jangka\ pendek \quad [2.2]$$

$$nlt_a = sampling\ rate \times waktu\ jangka\ panjang \quad [2.3]$$

2.3.2 Average Amplitudo

Rata-rata amplitudo (avg_i) dinyatakan pada rumus [2.4] dan [2.5]. Variabel $X_{[n]}$ adalah nilai amplitudo ke-n dari jumlah data, waktu yang digunakan dalam persamaan rumus [2.5] adalah 30 detik. Jika data yang digunakan memiliki panjang waktu 180 detik maka jumlah nilai rata-rata amplitudo yang dihasilkan sebanyak enam nilai.

$$avg_i = \frac{\sum_{n=1}^N X_{[n]}}{N} \quad [2.4]$$

$$N = sampling\ rate \times waktu \quad [2.5]$$

2.3.3 Nilai Maksimum Amplitudo

Nilai maksimum amplitudo diambil tidak menggunakan rumus. Nilai maksimum amplitudo diambil menggunakan modul atau perbandingan nilai yang lebih besar pada fungsi pengulangan. Nilai maksimum amplitudo dapat diambil dari seluruh jumlah data atau diambil dengan jarak waktu tertentu.

2.2 Regresi Polinomial

Regresi Polinomial merupakan model Regresi Linier berganda yang dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh variabel prediktor (x) yang dipangkatkan secara meningkat sampai order ke-n. Regresi polinomial juga dikenal sebagai regresi dengan sebuah variabel bebas sebagai faktor dengan pangkat terurut[9]. Regresi polinomial digunakan untuk menduga bentuk hubungan antara variabel bebas (*independent*) dan variabel tidak bebas (*dependent*) dan untuk menentukan fungsi polinomial yang paling sesuai dengan sekumpulan titik data yang diketahui. Regresi Polinomial bertujuan untuk meramalkan atau menduga nilai satu variabel dalam hubungannya dengan variabel lain yang diketahui melalui persamaan regresi. Secara umum, model Regresi Polinomial ditulis dalam Persamaan [2.6].

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n + \varepsilon \quad [2.6]$$

Dimana:

Y = variabel tak bebas/dependen

a_0 = intersep

a_1, a_2, \dots, a_n = koefisien-koefisien regresi

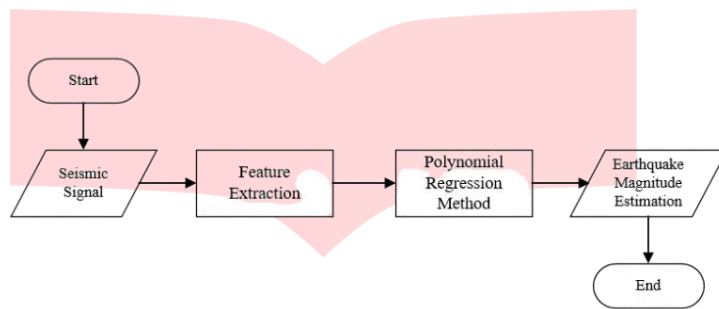
x = variabel bebas/independen. Dimana $x_1 = x, x_2 = x^2, \dots, x_n = x^n$

ϵ = nilai random (bebas)

3. Pembahasan

3.1 Diagram Alir Umum

Diagram Alir umum pada Gambar 3.3 menggambarkan secara umum perancangan sistem estimasi magnitudo gempa bumi. Sinyal seismik sebagai data input kemudian masuk ke proses ekstraksi fitur, output dari proses ekstraksi fitur menjadi data input regresi polinomial yang selanjutnya menghasilkan data output estimasi magnitudo gempa bumi.



Gambar 3.1 Diagram Alir Umum.

4. Implementasi dan Pengujian Sistem

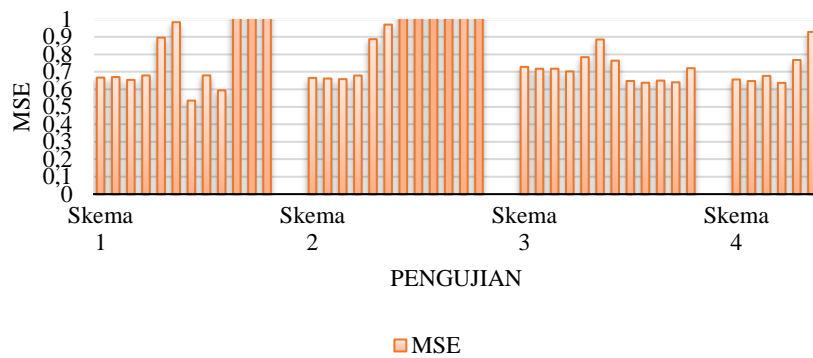
4.1 Pengujian Normal Scaling

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Normal Scaling.

Normal Scaling						
Skema	Degree	Partisi Data		MSE	Waktu (detik)	
		Training	Testing			
1	1	70%	30%	0,666997938047	58,755	
		75%	25%	0,670233196394	61,218	
		80%	20%	0,653868611374	62,789	
		85%	15%	0,679236264912	62,775	
		90%	10%	0,895888795165	61,349	
		95%	5%	0,984184382205	58,935	
	2	2	70%	30%	0,535574017201	57,713
			75%	25%	0,679580503755	64,25
			80%	20%	0,593914385657	61,224
			85%	15%	2,47937414999	59,657
			90%	10%	6,41519142677	58,09
			95%	5%	2,33189683916	60,807
2	1	70%	30%	0,665175543619	24,809	
		75%	25%	0,661683558904	24,737	
		80%	20%	0,658322795029	24,622	

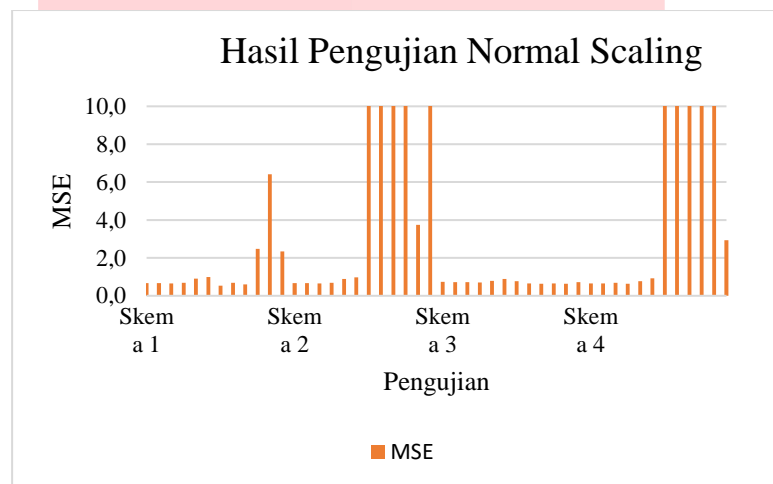
Normal Scaling					
Skema	Degree	Partisi Data		MSE	Waktu (detik)
		Training	Testing		
		85%	15%	0,678858349156	24,831
		90%	10%	0,887182961104	24,13
		95%	5%	0,970417164205	25,009
	2	70%	30%	899,22463037	23,164
		75%	25%	276,864570938	23,746
		80%	20%	286,4092616	23,983
		85%	15%	59,8254190665	23,56
		90%	10%	3,74768459968	24,132
		95%	5%	14,5273601754	24,144
3	1	70%	30%	0,728349738531	3,064
		75%	25%	0,717713704774	3,243
		80%	20%	0,717974690504	3,239
		85%	15%	0,702350323341	3,359
		90%	10%	0,784046473828	3,316
		95%	5%	0,885204712736	3,439
	2	70%	30%	0,76413519003	3,242
		75%	25%	0,647839562397	3,067
		80%	20%	0,637780451775	3,306
		85%	15%	0,649749966791	3,181
		90%	10%	0,6400288916	3,307
		95%	5%	0,720951561704	3,187
4	1	70%	30%	0,656275141209	3,338
		75%	25%	0,647375974154	3,352
		80%	20%	0,676953819486	3,287
		85%	15%	0,636898548502	3,207
		90%	10%	0,767871564727	3,141
		95%	5%	0,912466433539	3,204
	2	70%	30%	184,0994454	3,382
		75%	25%	35,0183566	3,323
		80%	20%	22,065087181	3,474
		85%	15%	15,3909726442	3,382
		90%	10%	12,7851445133	3,261
		95%	5%	2,14802171013	3,234

Hasil Pengujian Normal Scaling



Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Normal Scaling.

Gambar 4.1 merupakan grafik hasil pengujian normal scaling dengan nilai MSE dibawah 1. Grafik pengujian dengan seluruh nilai MSE yang didapatkan terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik pengujian Normal Scaling lengkap.

Berdasarkan grafik Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dilihat bagaimana hasil nilai MSE dengan skema pengujian normal scaling. Pengujian dengan digunakan parameter skema 2 dan 4 dihasilkan nilai MSE yang sangat besar. Pengujian yang dilihat baik ada pada skema 1 dengan parameter derajat 2, karena memiliki nilai MSE terkecil dibandingkan nilai MSE yang lainnya yaitu 0,53557. Semakin kecil nilai MSE yang diperoleh maka semakin dekat perbandingan hasil prediksi yang dihasilkan dengan besar magnitudo awal. Parameter dengan skema 3 juga dapat dikatakan baik karena menghasilkan nilai MSE kecil, namun jika ingin menganalisa untuk hasil yang paling baik adalah skema 1 derajat 2.

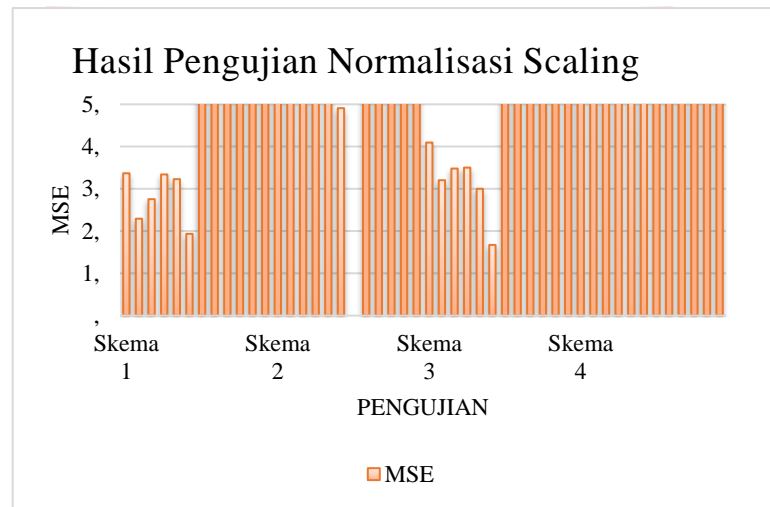
4.2 Pengujian Normalisasi Scaling

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Normalisasi Scaling.

Normalisasi Scaling					
Skema	Degree	Partisi Data		MSE	Waktu (detik)
		Training	Testing		
1	1	70%	30%	3,36898515824	59,536

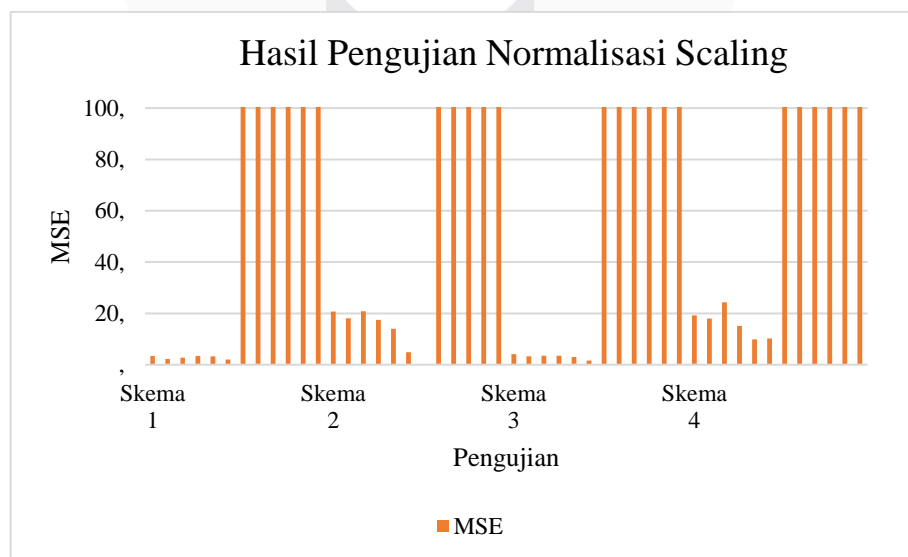
Normalisasi Scaling					
Skema	Degree	Partisi Data		MSE	Waktu (detik)
		Training	Testing		
		75%	25%	2,29333558243	56,549
		80%	20%	2,7559555636	58,685
		85%	15%	3,34111819107	62,629
		90%	10%	3,22932814629	60,69
		95%	5%	1,93559051843	62,87
	2	70%	30%	0,843356251969	23,703
		75%	25%	0,897338827637	23,558
		80%	20%	0,716812222030	23,23
		85%	15%	0,776406688349	23,886
		90%	10%	0,897338827637	23,622
		95%	5%	1,28294406	23,61
2	1	70%	30%	20,6863614907	24,055
		75%	25%	18,066559129	23,673
		80%	20%	20,8277239384	23,212
		85%	15%	17,5197370427	23,535
		90%	10%	13,9940834609	23,684
		95%	5%	4,90987554961	23,932
	2	70%	30%	15233323995.0	23,803
		75%	25%	13009162907,1	24,657
		80%	20%	2722155842,11	24,172
		85%	15%	785596411,989	23,8
		90%	10%	26559819,6117	23,161
3	1	70%	30%	4,09587089424	3,056
		75%	25%	3,20471793604	2,987
		80%	20%	3,48044905347	3,359
		85%	15%	3,50327219493	3,121
		90%	10%	3,00197386119	3,234
		95%	5%	1,67294922663	3,158
	2	70%	30%	1037954,76669	2,989
		75%	25%	1555910,85351	3,123
		80%	20%	527946,746295	3,074
		85%	15%	574104,328105	3,144
		90%	10%	1634115,12357	3,003
4	1	70%	30%	19,1694982654	3,254
		75%	25%	18,01317528	3,413
		80%	20%	24,2772846489	3,171
		85%	15%	15,122783332	3,245
		90%	10%	9,80253534505	3,146

Normalisasi Scaling					
Skema	Degree	Partisi Data		MSE	Waktu (detik)
		Training	Testing		
		95%	5%	9,12399749478	3,099
		70%	30%	2044043114,58	3,192
	2	75%	25%	433905392,849	3,395
		80%	20%	461940585,951	3,146
		85%	15%	272326337,593	3,155
		90%	10%	15302858,744	3,26
		95%	5%	1417764105,734	3,291



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Normalisasi Scaling.

Gambar 4.3 merupakan grafik hasil pengujian normal scaling dengan nilai MSE dibawah 5. Grafik pengujian dengan seluruh nilai MSE yang didapatkan terdapat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Grafik pengujian Normalisasi Scaling lengkap.

Berdasarkan grafik Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dilihat bagaimana hasil nilai MSE dengan skema pengujian normal scaling. Pengujian dengan digunakan parameter skema 1, 2, dan 4 dihasilkan nilai MSE yang sangat besar. Pengujian yang dilihat baik ada pada skema 3 dengan parameter derajat 1, karena memiliki nilai MSE terkecil dibandingkan nilai MSE yang lainnya yaitu 1,67294. Hasil nilai yang dihasilkan menggunakan parameter normalisasi scaling bernilai sangat besar dibandingkan tanpa melakukan parameter normalisasi atau normal scaling.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Performansi pengujian terbaik pada skema pengujian ekstraksi fitur adalah dengan menggunakan parameter pengujian skema 1 yaitu menggunakan 11 nilai hasil fitur (4 nilai hasil STA/LTA, 6 nilai hasil rata-rata amplitudo dan 1 nilai hasil maksimum amplitudo).
2. Performansi pengujian terbaik pada derajat variabel regresi polinomial adalah dengan menggunakan variabel derajat dua dengan hasil MSE terkecil dari seluruh parameter pengujian.
3. Performansi pengujian terbaik pada Partisi Data didapatkan dengan perbandingan data training 70% dan data testing 30%. Jumlah data training, data testing dan dataset yang digunakan mempengaruhi performansi.
4. Performansi pengujian terbaik pada parameter normalisasi scaling didapatkan dengan tanpa menggunakan parameter normalisasi atau cukup dengan normal scaling.
5. Performansi terbaik sistem estimasi magnitudo gempa bumi didapatkan dengan 11 nilai hasil ekstraksi fitur, partisi data 70%:30%, menggunakan derajat variabel regresi polinomial derajat 2 tanpa melakukan normalisasi scaling dengan hasil performansi nilai MSE 0,53557.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka saran yang diusulkan untuk meningkatkan performansi adalah:

1. Menggunakan dataset dengan jumlah yang lebih banyak.
2. Menggunakan noise removal untuk meningkatkan performansi.

Daftar Pustaka

- [1] C. Paper, "The Earthquake Magnitude Prediction Used Seismic Time Series and Machine Learning Methods," no. December, 2016.
- [2] Sunarjo, M. T. Gunawan, and S. Pribadi, *Gempa bumi Edisi Populer*. 2012.
- [3] A. Kundu, Y. S. Bhadauria, S. Basu, and S. Mukhopadhyay, "Artificial neural network based estimation of moment magnitude with relevance to Earthquake Early Warning," *Proc. 2017 Int. Conf. Wirel. Commun. Signal Process. Networking, WiSPNET 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 1955–1959, 2018.
- [4] Y. A. Sya'bani, "Implementation of Automatic First Arrival Picking On P-Wave Seismic Signal Using Logistic Regression Method," pp. 134–138, 2020.
- [5] M. Båth and M. Båth, "Seismographs," *Introd. to Seismol.*, no. Page 3, pp. 29–60, 1979.
- [6] M. Wahyu and P. Indi, "Automatic First Arrival Picking on P-Wave Seismic Signal Using Support Vector Machine Method," pp. 128–133, 2020.
- [7] M. Withers *et al.*, "A comparison of select trigger algorithms for automated global seismic phase and event detection," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 88, no. 1, pp. 95–106, 1998.
- [8] O. D. Team, "ObsPy Tutorial," 2020.
- [9] P. Muralidharan, J. Hinkle, and P. T. Fletcher, "A map estimation algorithm for Bayesian polynomial regression on riemannian manifolds," *Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP*, vol. 2017-Sept, no. 0, pp. 215–219, 2018.