

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan atas berkat, hikmat, dan penyertaan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya.

Tugas akhir berjudul "PREDIKSI PELUANG KEJADIAN GEMPA BUMI DI PULAU SUMATERA DENGAN POISSON *HIDDEN MARKOV MODEL* (HMM)" ini ditujukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh Sarjana Matematika Strata Satu Universitas Pelita Harapan, Tangerang.

Dalam penulisan tugas akhir ini, ada banyak pihak yang membantu serta mendukung penulis sehingga tugas akhir ini dapat selesai tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penulisan tugas akhir ini, yaitu kepada:

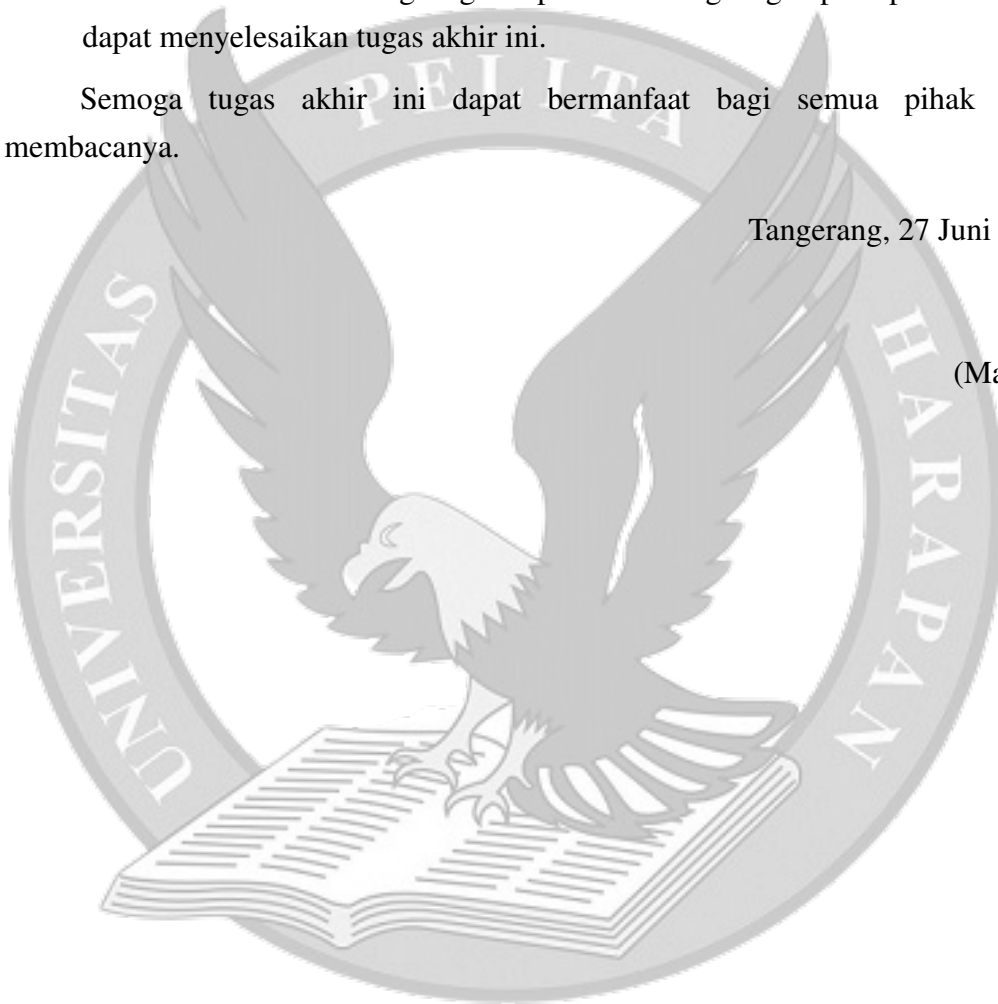
1. Bapak Eric Jobiliong, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Dela Rosa, S.Si., M.M., M.Sc., Apt. selaku Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Bapak Laurence, S.T., M.T., selaku Direktur Fakultas Sains dan Teknologi.
4. Bapak Kie Van Ivanka Saputra, Ph.D., sebagai Ketua Program Studi Matematika Universitas Pelita Harapan yang telah mengajar penulis selama perkuliahan dan membimbing penulis hingga akhirnya tugas akhir ini dapat selesai.
5. Dr. Helena Margaretha, M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Utama serta Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan masukan, mengajarkan banyak hal dan membimbing penulis hingga akhirnya tugas akhir ini dapat selesai.
6. Bapak Ukur Arianto Sembiring, M.Si., sebagai Dosen Pembimbing Pendamping yang telah banyak memberikan masukan, mengajarkan banyak hal dan membimbing penulis hingga akhirnya tugas akhir ini dapat selesai.
7. Bapak Petrus Widjaja, Dipl.-Math., Ibu Lina Cahyadi, M.Si., dan Bapak Ferry V.F., S.Si., M.Pd., M.M. yang telah mengajar penulis selama berkuliah di Universitas Pelita Harapan.
8. Semua staf Fakultas Sains dan Teknologi yang telah membantu berlangsungnya perkuliahan di Universitas Pelita Harapan selama penulis berkuliah.
9. Teman-teman Kepengurusan HMM Periode 2017/2018 khususnya anggota Bidang Internal yaitu Jessica Novia, Noviana Tjia, dan Kevin Eleazar yang telah memberikan kenangan berharga bagi penulis selama masa perkuliahan.

10. Teman-teman seperjuangan Matematika 2015, khususnya Katrin Revina, Stella Priscilla, dan Sujata Devi yang selalu menyemangati penulis selama masa penulisan tugas akhir.
11. Teman-teman di luar Universitas Pelita Harapan khususnya teman-teman dari FC UPH dan teman-teman dari *Christ Cathedral*.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan langsung ataupun tidak langsung kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Tangerang, 27 Juni 2019

(Marisa)



# DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL	
DAFTAR ISI	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	3
1.3 Batasan Masalah . . . . .	4
1.4 Tujuan Penelitian . . . . .	4
1.5 Manfaat Penelitian . . . . .	4
1.6 Sistematika Penulisan . . . . .	5
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Teori Peluang . . . . .	7
2.1.1 Ruang Sampel dan Kejadian . . . . .	7
2.1.2 Peluang dari Kejadian . . . . .	7
2.1.3 Peluang Bersyarat . . . . .	8
2.1.4 Kejadian Saling Bebas . . . . .	8
2.2 Teorema Bayes . . . . .	9
2.3 Peubah Acak Diskret . . . . .	10
2.4 Distribusi Diskret . . . . .	11
2.4.1 Distribusi Poisson . . . . .	11
2.4.2 Distribusi <i>Negative</i> Binomial . . . . .	12
2.4.3 Distribusi Binomial . . . . .	15
2.5 Proses Stokastik . . . . .	16
2.6 Proses Poisson . . . . .	16
2.7 <i>Independent Mixture Model</i> . . . . .	17
2.8 <i>Autocorrelation Function</i> (ACF) . . . . .	18
2.9 Rantai Markov . . . . .	18
2.10 <i>Hidden Markov Model</i> . . . . .	20
2.10.1 Distribusi Marjinal . . . . .	21
2.10.2 <i>Likelihood</i> dari HMM . . . . .	21
2.10.3 Jalur Keadaan HMM . . . . .	23
2.11 Poisson <i>Hidden Markov Model</i> . . . . .	30
2.12 Estimasi dengan Algoritma <i>Expectation Maximization</i> . . . . .	31
2.12.1 Peluang <i>Forward</i> . . . . .	31
2.12.2 Peluang <i>Backward</i> . . . . .	32
2.12.3 Properti Peluang <i>Forward</i> dan <i>Backward</i> . . . . .	33
2.12.4 Algoritma EM Secara General . . . . .	34
2.12.5 Algoritma EM untuk HMM . . . . .	34
2.13 Pemilihan Model Dengan <i>Akaike Information Criterion</i> (AIC) . . . . .	36

2.14	Distribusi Prediksi . . . . .	36
2.15	Jenis Gempa Bumi . . . . .	37
2.16	Pembagian Wilayah Gempa Bumi di Indonesia . . . . .	39
2.17	Tinjauan Pustaka . . . . .	40
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Sumber Data . . . . .	43
3.2	Tahap Persiapan Data . . . . .	43
3.3	Tahap Pemodelan . . . . .	43
3.3.1	Penentuan Parameter Input . . . . .	43
3.3.2	Perhitungan Peluang <i>Forward</i> dan <i>Backward</i> . . . . .	44
3.3.3	Estimasi Parameter Algoritma <i>Expectation-Maximization</i> (EM) . . . . .	44
3.3.4	Penentuan Model Terbaik . . . . .	45
3.4	Prediksi Peluang Terjadinya Gempa Bumi . . . . .	45
<b>BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Deskripsi Data . . . . .	46
4.2	Uji Distribusi . . . . .	47
4.3	Pengecekan Overdispersi Data . . . . .	48
4.4	Tahap Pemodelan . . . . .	49
4.4.1	Penentuan Parameter Input untuk Menghitung Peluang <i>Forward</i> dan <i>Backward</i> . . . . .	49
4.4.2	Estimasi Parameter Algoritma <i>Expectation-Maximization</i> (EM) . . . . .	52
4.5	Prediksi Peluang Kejadian Gempa Bumi dengan HMM . . . . .	54
4.6	Kalibrasi Metode . . . . .	55
4.6.1	Uji <i>Chi-Square</i> . . . . .	56
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan . . . . .	60
5.2	Saran . . . . .	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1.1 Perkembangan jumlah gempa bumi (M5+) di dunia pada tahun 2000 - 2016. . . . .	1
Gambar 1.2 Sebaran gempa bumi pada tahun 1965 - 2016 . . . . .	2
Gambar 1.3 Sebaran gempa bumi Pulau Sumatera pada tahun 1973 - 2013	3
Gambar 2.1 Diagram Rantai Markov . . . . .	19
Gambar 2.2 Diagram dasar HMM. . . . .	20
Gambar 2.3 Grafik <i>Hidden Markov Model</i> . . . . .	21
Gambar 2.4 Jalur keadaan HMM diketahui . . . . .	23
Gambar 2.5 Peluang dimana Anton belajar jika pada hari Rabu jendela terbuka dan hari Kamis jendela tertutup . . . . .	25
Gambar 2.6 Peluang dimana Anton belajar jika pada hari Rabu jendela tertutup dan pada hari Kamis jendela terbuka . . . . .	26
Gambar 2.7 Peluang dimana Anton belajar jika pada hari Rabu jendela terbuka dan pada hari Kamis jendela terbuka . . . . .	27
Gambar 2.8 Peluang dimana Anton belajar jika pada hari Rabu jendela tertutup dan pada hari Kamis jendela tertutup . . . . .	28
Gambar 2.9 Jalur keadaan HMM tidak diketahui . . . . .	29
Gambar 3.1 Alur Penelitian . . . . .	42
Gambar 4.1 Peta Sebaran Gempa Bumi di Pulau Sumatera dengan magnitudo $\geq 5$ Mw pada kedalaman $\leq 70$ km tahun 2008 - 2018 . . . . .	46
Gambar 4.2 <i>fitting</i> dengan distribusi <i>negative binomial</i> . . . . .	47
Gambar 4.3 <i>fitting</i> dengan distribusi Poisson . . . . .	47
Gambar 4.4 Gempa bumi Pulau Sumatera dengan periode waktu 15 hari	49
Gambar 4.5 ACF dari data gempa bumi di Pulau Sumatera dengan periode waktu 15 hari . . . . .	50
Gambar 4.6 Uji Chi Square untuk data gempa bumi tahun 2017 . . . . .	57
Gambar 4.7 Uji Chi Square untuk data gempa bumi tahun 2018 . . . . .	57
Gambar 4.8 Grafik perbandingan prediksi peluang kejadian gempa bumi dengan kejadian aktual pada tahun 2017 . . . . .	58
Gambar 4.9 Grafik perbandingan prediksi peluang kejadian gempa bumi dengan kejadian aktual pada tahun 2018 . . . . .	59



## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 3.1 Data gempa bumi di Pulau Sumatera dengan magnitudo $\geq 5$ Skala Richter yang terjadi pada kedalaman gempa bumi dangkal yaitu $\leq 70$ km dari permukaan terjadinya gempa. Data lengkap terlampir pada lampiran E. Sumber USGS . . . .	43
Tabel 4.1 Data gempa bumi di Pulau Sumatera dengan magnitudo $\geq 5$ Mw pada kedalaman $\leq 70$ km tahun 2008 - 2018 . . . . .	46
Tabel 4.2 Data gempa bumi di Pulau Sumatera dengan periode waktu 15 hari . . . . .	48
Tabel 4.3 Perhitungan parameter input untuk model gempa bumi dengan dua keadaan tersembunyi. Data lengkap terlampir pada Lampiran B . . . . .	51
Tabel 4.4 Perhitungan parameter input untuk model gempa bumi dengan tiga keadaan tersembunyi. Data lengkap terlampir pada Lampiran B . . . . .	51
Tabel 4.5 Perhitungan parameter input untuk model gempa bumi dengan tiga keadaan tersembunyi. Data lengkap terlampir pada Lampiran B . . . . .	52
Tabel 4.6 Model gempa bumi dua keadaan dengan algoritma EM . . . .	53
Tabel 4.7 Model gempa bumi tiga keadaan dengan algoritma EM . . . .	53
Tabel 4.8 Model gempa bumi empat keadaan dengan algoritma EM . . . .	54
Tabel 4.9 Prediksi peluang kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera . . .	55
Tabel 4.10 Perbandingan peluang antara hasil prediksi dibandingkan dengan kejadian aktual gempa bumi periode 2017 dan 2018 periode waktu 15 hari . . . . .	56

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Gempa Bumi di Pulau Sumatera (Sumber USGS) . . . . .	A-1
Lampiran B	Tabel Periode Waktu 15 Hari . . . . .	B-1
Lampiran C	Peluang <i>Forward</i> dan <i>Backward</i> . . . . .	C-1
Lampiran D	Algoritma <i>Expectation-Maximization</i> . . . . .	D-1
Lampiran E	Distribusi Prediksi . . . . .	E-1
Lampiran F	Tabel Distribusi <i>Chi-Square</i> . . . . .	F-1

