

PERAMALAN BENCANA ALAM DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN ALGORITMA MARKOV CHAINS

Hidayatun Ni'mah^{1,b)}, Vita Kusumasari²⁾

^{1,2)}Jurusan Matematika FMIPA Universitas Negeri Malang

^{b)}hidayatun.1803126@students.um.ac.id

Abstrak

Malang merupakan salah satu kota rawan bencana di Jawa Timur. Hal ini dapat dilihat dari data bencana alam yang terekam dalam data BPBD Kota Malang meliputi gempa bumi, banjir, tanah longsor, dan cuaca ekstrim. BPBD Kota Malang merupakan perangkat daerah yang dibentuk untuk melaksanakan tugas dan fungsi penanggulangan bencana di daerah Kota Malang. Masalah bencana alam yang telah terjadi tanpa adanya peringatan akan menimbulkan banyak sekali kerugian ataupun korban yang berjatuhan. Dalam artikel ini, penulis akan meramalkan bencana alam di Kota Malang menggunakan Algoritma Markov Chains karena algoritma ini bisa digunakan untuk memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang. Data yang digunakan yaitu data kejadian bencana di Kota Malang tahun 2016 hingga 2020 yang diperoleh dari BPBD Kota Malang. Dari data tersebut akan dilakukan prediksi untuk tahun 2022. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, Algoritma Markov Chains dapat digunakan untuk meramalkan kejadian waktu yang akan datang karena memiliki ketepatan prediksi yang cukup bagus dilihat dari nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,53 dan RMSE sebesar 0,21. Hasil peramalan bencana alam di Kota Malang pada tahun 2022 yaitu tanah longsor sebesar 59%, cuaca ekstrim sebesar 32%, banjir sebesar 7%, dan gempa bumi sebesar 2%.

Kata kunci: algoritma Markov Chains, prediksi bencana, data mining.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang mempunyai struktur alam yang terdiri dari pertemuan lempeng-lempeng tektonik. Hal tersebut menjadikan kawasan Indonesia memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks. Kondisi ini mengakibatkan banyak daerah-daerah di Indonesia menjadi rawan terhadap bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, serta letusan gunung berapi [1]. Bencana alam merupakan suatu hal yang sulit dihindari dan diperkirakan dengan tepat. Dalam *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 3* (2008) dijelaskan bahwa bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Malang merupakan salah satu kota di Jawa Timur yang termasuk dalam kategori daerah rawan bencana alam. Hal tersebut dapat dilihat dari data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Malang. BPBD Kota Malang merupakan perangkat daerah yang dibentuk untuk melaksanakan tugas dan fungsi penanggulangan bencana di daerah Kota Malang [2]. Bencana alam di Kota Malang yang terekam dalam data BPBD meliputi gempa bumi, banjir, tanah longsor, cuaca ekstrim, dll. Malang Masalah

bencana alam yang telah terjadi tanpa adanya peringatan akan menimbulkan banyak sekali kerugian ataupun korban yang berjatuhan [3]. Antisipasi sejak dini perlu dilakukan agar dapat meminimalisir dampak yang disebabkan oleh bencana alam sehingga diperlukan suatu formula atau pola prediksi sebagai pengetahuan baru untuk mengurangi atau setidaknya mencegah bencana alam [3]. Berdasarkan data yang terekam dalam BPBD Kota Malang, jumlah kejadian bencana alam yang terjadi di Kota Malang dalam kurun waktu dari tahun 2016 hingga 2020 cenderung mengalami kenaikan yang signifikan. Untuk memprediksi kejadian bencana alam di Kota Malang, perlu memanfaatkan salah satu metode data mining.

Markov Chains merupakan salah satu dari data mining yang dalam perhitungannya berdasarkan nilai probabilitas kejadian terhadap kejadian sebelumnya melalui perkiraan nilai transisi yang diamati [3]. Penelitian yang menggunakan Markov Chains telah dilakukan oleh beberapa peneliti dalam memprediksi atau meramalkan suatu hal [3]–[5]. Berdasarkan penerapan tersebut, penulis akan meramalkan kejadian bencana alam yang ada di Kota Malang dengan menggunakan Algoritma Markov Chains dikarenakan algoritma ini bisa digunakan untuk memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang [4], dan juga didukung dari data kejadian bencana alam pada tahun-tahun sebelumnya yang didapatkan di BPBD Kota Malang, sehingga artikel ini akan meramalkan kejadian bencana alam di Kota Malang dengan judul **“Peramalan Bencana Alam di Kota Malang Menggunakan Algoritma Markov Chains”**. Hasil dari artikel ini diharapkan dapat membantu BPBD Kota Malang khususnya kepada masyarakat umum dalam mencegah mengantisipasi dampak yang terjadi karena terjadinya bencana alam.

METODE

Markov Chains atau biasa disebut dengan Rantai Markov merupakan suatu teknik matematika yang biasa digunakan dalam melakukan permodelan berbagai macam sistem dan proses bisnis. Teknik ini sering digunakan dalam memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang secara matematis dan juga dinamis [4]. Markov Chains dapat digunakan untuk memodelkan sebuah sistem dinamis. Dinamis artinya berubah, sehingga sistem dinamis adalah kondisi di dalam sistem yang berubah keadaannya terhadap waktu. Markov Chains merupakan sebuah proses stokastik, dimana kejadian pada masa mendatang hanya bergantung pada kejadian hari ini dan tidak bergantung pada kejadian masa lampau [6]. Ketika masuk dalam proses stokastik berarti setiap perpindahan keadaan atau kejadian (*state*) adalah probabilitas. Pada setiap kejadian kemungkinan akan terjadi perubahan dari kejadian sekarang menjadi kejadian lain atau akan tetap pada kondisi sekarang tergantung pada distribusi probabilitas yang ada. Kondisi perubahan kejadian ini disebut transisi dan probabilitas terkait dengan perubahan dinamakan probabilitas transisi. Dapat dikatakan bahwa semua kejadian yang di ambil saat ini dapat mempengaruhi perubahan kejadian dimasa depan. Untuk mendapatkan perumusan Markov Chains dari suatu peristiwa, terdapat persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi. Persyaratan tersebut adalah sebagai berikut [7].

1. Dalam satu rangkaian kejadian awal sampai kejadian akhir, jumlah probabilitasnya sama dengan 1.
2. Jika terdapat beberapa partisipan dalam sistem, maka probabilitas-probabilitas tersebut berlaku pula untuk semuanya. Artinya semua partisipan yang mempunyai rangkaian kejadian awal sampai akhir jumlah probabilitasnya sama dengan 1.
3. Transisi untuk setiap probabilitas konstan sepanjang waktu.
4. Keadaan (*state*) merupakan keadaan yang independen sepanjang waktu.

Proses markov akan menuju kondisi steady state (keseimbangan). Artinya setelah proses berjalan beberapa periode, peluang status akan selalu tetap [8]. Penggambaran Markov Chains diartikan bahwa gerakan-gerakan dari beberapa variabel di masa yang akan datang bisa diprediksi berdasarkan gerakan-gerakan variabel tersebut pada masa lalu. K_{t_4} dipengaruhi oleh kejadian K_{t_3} , K_{t_3} dipengaruhi oleh kejadian K_{t_2} dan demikian seterusnya dimana perubahan ini terjadi karena peranan probabilitas transisi (*transition probability*). Misalnya kejadian K_{t_2} , tidak akan mempengaruhi kejadian K_{t_4} . Secara matematis dapat ditulis [3]:

$$K_{t(j)} = K_{t(j-1)} \times P$$

dimana:

$K_{t(j)}$ = peluang kejadian pada $t(j)$

P = matriks peluang transisi

$t(j)$ = waktu ke- j

Peluang kejadian $K_{t(j)}$ dinyatakan ke dalam bentuk vektor sehingga jumlah seluruh selnya akan selalu 100%. Peluang kejadian awal dinyatakan sebagai $K_{t(0)}$ dan mengacu pada peluang keadaan tahun pertama [9]. Perhitungan menggunakan Algoritma Markov Chains adalah sebagai berikut [9], [10].

1. Membuat matriks peluang bencana (probabilitas transisi)
Matriks peluang bencana didapatkan dari perbandingan antara jumlah bencana dengan total kejadian pada masing-masing bencana alam tiap tahunnya.
2. Menentukan peluang kejadian awal bencana
Peluang kejadian awal bencana ($K_{t(0)}$) mengacu pada peluang kejadian tahun pertama data yang akan digunakan.
3. Prediksi kemungkinan bencana alam
Prediksi kemungkinan bencana dapat dihitung sesuai dengan dengan cara:

$$K_{t(j)} = K_{t(j-1)} \times P$$

4. Validasi data
Dalam validasi ini dilakukan evaluasi atau berbandingan hasil prediksi dengan data *testing* yang telah ditentukan sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam artikel ini yaitu data bencana alam yang didapatkan dari *database* BPBD Kota Malang dari tahun 2016 sampai 2020 yang ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Data Bencana Alam di Kota Malang Tahun 2016–2020

Tahun	Tanah Longsor	Cuaca Ekstrim	Banjir	Gempa Bumi	Jumlah
2016	36	12	2	1	51
2017	53	55	10	2	120
2018	54	53	9	3	119
2019	49	41	66	0	156
2020	59	20	54	0	133

Berdasarkan data bencana alam diatas, jenis bencana alam yang diambil yaitu tanah longsor (TL), cuaca ekstrim (CE), banjir (B), dan gempa bumi (GB). Data yang didapatkan memiliki beberapa jenis kejadian sehingga perlu dilakukan pengelompokan

data dengan menjumlahkan kejadian tiap bencana di setiap tahunnya. Data tersebut dibagi menjadi 2 jenis data yaitu data *training* dan data *testing*. Data *training* yang digunakan yaitu data dari tahun 2016 sampai 2019.

Langkah pertama untuk perhitungan Markov Chains, membuat matriks peluang bencana. Data yang digunakan untuk membuat matriks peluang bencana yaitu data *training*.

Tabel 2. Peluang Bencana Kota Malang Tahun 2016-2019

Tahun	TL	CE	B	GB	Jumlah
2016	36/51=0,70	12/51=0,24	2/51=0,04	1/51=0,02	1
2017	53/120=0,44	55/120=0,46	10/120=0,08	2/120=0,02	1
2018	54/119=0,45	53/119=0,44	9/119=0,08	3/119=0,03	1
2019	49/156=0,32	41/156=0,26	66/156=0,42	0/156=0	1

Berdasarkan perhitungan peluang bencana pada tabel diatas, maka diperoleh matriks data bencana sebagai berikut.

$$P = \begin{bmatrix} 0,70 & 0,24 & 0,04 & 0,02 \\ 0,44 & 0,46 & 0,08 & 0,02 \\ 0,45 & 0,44 & 0,08 & 0,03 \\ 0,32 & 0,26 & 0,42 & 0 \end{bmatrix}$$

Langkah selanjutnya yaitu menentukan peluang kejadian awal bencana. Peluang kejadian awal bencana ($K_{t(0)}$).

$$K_{t(0)} = [0,70 \quad 0,24 \quad 0,04 \quad 0,02]$$

Prediksi kemungkinan bencana di tahun 2020 dapat dihitung sesuai dengan dengan cara

$$K_{t(1)} = K_{t(0)} \times P$$

$$= [0,70 \quad 0,24 \quad 0,04 \quad 0,02] \times \begin{bmatrix} 0,70 & 0,24 & 0,04 & 0,02 \\ 0,44 & 0,46 & 0,08 & 0,02 \\ 0,45 & 0,44 & 0,08 & 0,03 \\ 0,32 & 0,26 & 0,42 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0,62 \quad 0,30 \quad 0,06 \quad 0,02]$$

Untuk membuat nilai probabilitas $K_{t(1)}$ menjadi bentuk persen, maka hasil dari $K_{t(1)}$ dikalikan dengan 100% dan didapatkan

$$K_{t(1)} = [62\% \quad 30\% \quad 6\% \quad 2\%],$$

sehingga kemungkinan terjadi bencana alam di Kota Malang tahun 2020 adalah tanah longsor sebesar 62%, cuaca ekstrim sebesar 30%, banjir sebesar 6%, dan gempa bumi sebesar 2%.

Hasil perhitungan kemungkinan bencana alam di Kota Malang menggunakan Markov Chains pada tahun 2020 ditunjukkan pada Tabel 3. sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Prediksi Bencana Alam di Kota Malang Tahun 2020

Tahun	TL	CE	B	GB
2020	0,62	0,30	0,06	0,02

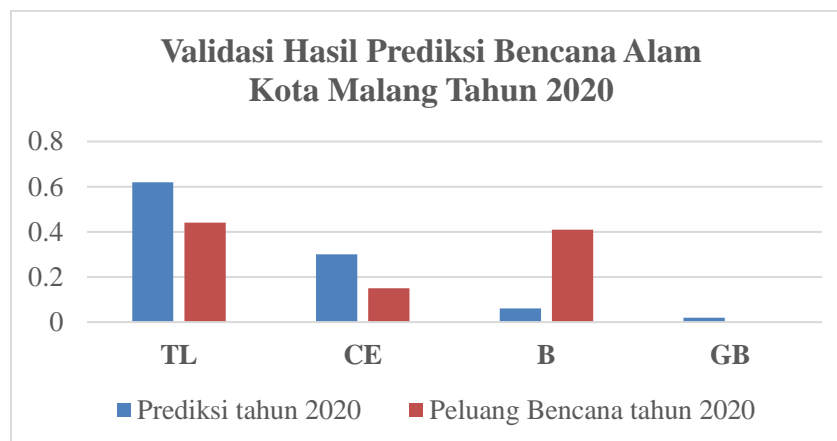
Setelah melakukan perhitungan kemungkinan bencana alam yang terjadi, tahap akhir dalam perhitungan ini yaitu menentukan validasi terhadap prediksi pada tahun 2020 dengan membandingkan data prediksi dengan data bencana yang terjadi pada tahun

2020. Berikut ditampilkan tabel perbandingan hasil prediksi dan data bencana pada tahun 2020.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Prediksi dan Data Bencana Tahun 2020

Kejadian	TL	CE	B	GB
Prediksi tahun 2020	0,62	0,30	0,06	0,02
Bencana tahun 2020	59	20	54	0
Peluang Bencana tahun 2020	0,44	0,15	0,41	0

Terlihat bahwa nilai prediksi dengan data bencana tahun 2020 yang sudah ditetapkan sebagai data *testing* memiliki perbedaan yang cukup tinggi. Tingkat perbedaan paling tinggi yaitu terdapat pada bencana banjir. Prediksi bencana banjir (B) dalam prediksi bernilai sebesar 0,06 atau 6% sedangkan pada kenyataan di data bencana angkanya cukup tinggi yakni sebesar 0,41 atau 41%. Adanya perbedaan yang cukup tinggi pada kejadian banjir tersebut diperkirakan merupakan dampak dari adanya fenomena *la nina* dan akibat ulah manusia seperti membangun gedung di daerah resapan air dan membuang sampah sembarangan sehingga membuat tersumbatnya daerah resapan air tersebut. Validasi tersebut jika digambarkan dalam bentuk diagram dapat dilihat pada Gambar 1. berikut:



Gambar 1. Diagram Prediksi Bencana Kota Malang Tahun 2020

Selanjutnya menentukan ketepatan Algoritma Markov Chains dengan mencari nilai eror toleransi yang dapat diterima sehingga algoritma ini dapat digunakan untuk prediksi waktu yang akan datang. Dalam hal ini dihitung nilai koefisien korelasi dan RMSE. Nilai koefisien korelasi dalam penelitian ini yaitu sebesar 0,553 dan nilai RMSE sebesar 0,21.

Berdasarkan nilai koefisien korelasi dapat disimpulkan bahwa tingkat akurasi hasil prediksi sudah bagus. Selain itu tingkat kesalahan yang ditunjukkan oleh nilai RMSE bernilai relatif kecil dan mendekati 0 sehingga Algoritma Markov Chains memiliki ketepatan prediksi yang cukup bagus dan dapat digunakan untuk memprediksi kejadian waktu yang akan datang.

Selanjutnya yaitu meramalkan bencana untuk tahun selanjutnya. Dengan menggunakan Algoritma Markov Chains dilakukan peramalan kejadian bencana alam di Kota Malang untuk tahun 2021. Hasil peramalan di tahun 2021 dapat dihitung dengan mengalikan peluang kejadian pada tahun 2020 dengan peluang bencana sebagai berikut.

$$K_{t(2)} = K_{t(1)} \times P$$

$$\begin{aligned}
 &= [0,62 \quad 0,30 \quad 0,06 \quad 0,02] \times \begin{bmatrix} 0,70 & 0,24 & 0,04 & 0,02 \\ 0,44 & 0,46 & 0,08 & 0,02 \\ 0,45 & 0,44 & 0,08 & 0,03 \\ 0,32 & 0,26 & 0,42 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= [0,60 \quad 0,32 \quad 0,06 \quad 0,02]
 \end{aligned}$$

Untuk membuat nilai probabilitas $K_{t(2)}$ menjadi bentuk persen, hasil dari $K_{t(2)}$ dikalikan dengan 100% dan didapatkan

$$K_{t(2)} = [60\% \quad 32\% \quad 6\% \quad 2\%],$$

sehingga kemungkinan terjadi bencana alam di Kota Malang tahun 2021 adalah tanah longsor sebesar 60%, cuaca ekstrim sebesar 32%, banjir sebesar 6%, dan gempa bumi sebesar 2%.

Kemungkinan bencana alam pada tahun 2022 dapat dihitung dengan mengalikan peluang kejadian pada tahun 2021 dengan peluang bencana sebagai berikut.

$$K_{t(3)} = K_{t(2)} \times P$$

$$\begin{aligned}
 &= [0,60 \quad 0,32 \quad 0,06 \quad 0,02] \times \begin{bmatrix} 0,70 & 0,24 & 0,04 & 0,02 \\ 0,44 & 0,46 & 0,08 & 0,02 \\ 0,45 & 0,44 & 0,08 & 0,03 \\ 0,32 & 0,26 & 0,42 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= [0,59 \quad 0,32 \quad 0,07 \quad 0,02]
 \end{aligned}$$

Untuk membuat nilai probabilitas $K_{t(3)}$ menjadi bentuk persen, hasil dari $K_{t(3)}$ dikalikan dengan 100% dan didapatkan

$$K_{t(3)} = [59\% \quad 32\% \quad 7\% \quad 2\%],$$

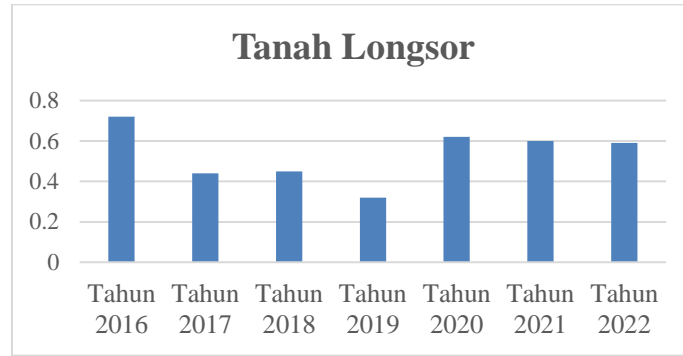
sehingga kemungkinan terjadi bencana alam di Kota Malang tahun 2022 adalah tanah longsor sebesar 59%, cuaca ekstrim sebesar 32%, banjir sebesar 7%, dan gempa bumi sebesar 2%.

Berikut ditunjukkan tabel peluang kejadian bencana alam pada tahun 2016 hingga 2022. Kejadian pada tahun 2016 hingga 2019 merupakan peluang aktual. Kejadian pada tahun 2017 merupakan hasil prediksi, dan kejadian pada tahun 2021 dan 2022 merupakan hasil peramalan yang telah dilakukan.

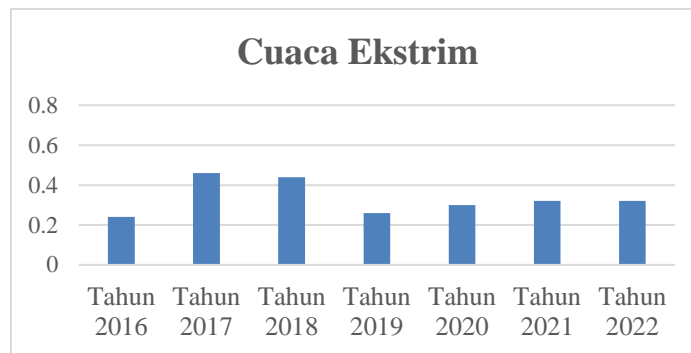
Tabel 5. Peluang Kejadian Bencana dari Tahun 2016–2022

Kejadian	TL	CE	B	GB
Tahun 2016	0,72	0,24	0,04	0,02
Tahun 2017	0,44	0,46	0,08	0,02
Tahun 2018	0,45	0,44	0,08	0,03
Tahun 2019	0,32	0,26	0,42	0
Tahun 2020	0,62	0,3	0,06	0,02
Tahun 2021	0,6	0,32	0,06	0,02
Tahun 2022	0,59	0,32	0,07	0,02

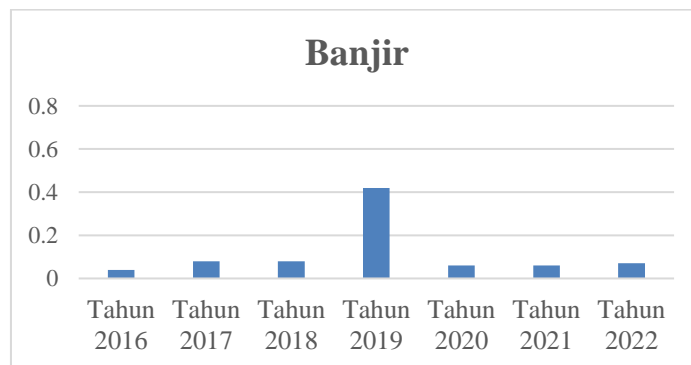
Peristiwa dalam Markov Chains gerakan dari beberapa variabel di masa yang akan datang bisa diprediksi berdasarkan gerakan variabel tersebut pada masa lalu. Dalam peramalan kejadian bencana pada tahun 2021 dan 2022, peluang kejadian bencana tahun 2021 dipengaruhi oleh kejadian bencana pada tahun 2020, dan peluang kejadian bencana tahun 2022 dipengaruhi oleh kejadian bencana pada tahun 2021. Berikut ditampilkan gambar diagram yang menunjukkan pola dari peluang kejadian per bencana pada tahun 2016 hingga 2022.



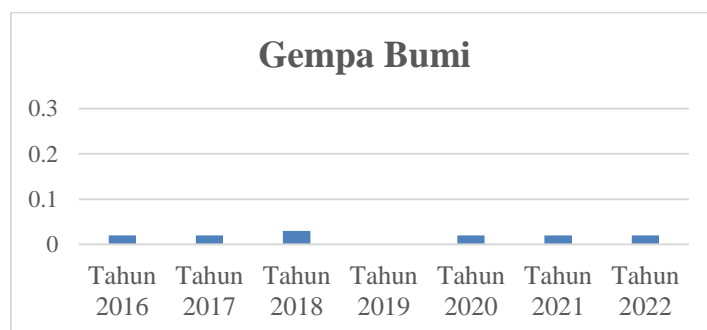
Gambar 2. Peluang Kejadian Bencana Tanah Longsor Tahun 2016-2022



Gambar 3. Peluang Kejadian Bencana Cuaca Ekstrim Tahun 2016-2022



Gambar 4. Peluang Kejadian Bencana Banjir Tahun 2016-2022



Gambar 5. Peluang Kejadian Bencana Gempa Bumi Tahun 2016-2022

Hasil dari penelitian ini berkaitan dengan teori yang digunakan dalam penelitian sebelumnya yakni menghasilkan kemungkinan bencana alam dengan metode yang sama. Namun dalam hal ini penggunaan data bencana alam yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelum-sebelumnya. Selain itu juga berbeda dalam hal daerah yang digunakan penelitian dan banyaknya atau jenis bencana alam yang diramalkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil perhitungan prediksi kejadian bencana alam di Kota Malang tahun 2016–2020 menggunakan algoritma Markov Chains, dapat disimpulkan bahwa peramalan bencana alam di Kota Malang pada tahun 2021 yaitu tanah longsor sebesar 60%, cuaca ekstrim sebesar 32%, banjir sebesar 6%, dan gempa bumi sebesar 2%. Sedangkan peramalan bencana alam di Kota Malang pada tahun 2022 yaitu tanah longsor sebesar 59%, cuaca ekstrim sebesar 32%, banjir sebesar 7%, dan gempa bumi sebesar 2%. Berdasarkan kesimpulan yang didapat dalam meramalkan bencana alam ini diharapkan dapat menerapkan algoritma atau metode lain agar bisa digunakan sebagai perbandingan dengan algoritma Markov Chains.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] T. D. Indriasari and T. A. P. Sidhi, “Sistem Pencarian Orang Hilang Berbasis Mobile Web Dengan Social Network Analysis,” *Semin. Nas. Inform. SEMNASIF*, no. Vol 1, No 5 (2011): Information System and Application, 2011, [Online]. Available: <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/semnasif/article/view/1270>
- [2] “Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 3.” Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi Jawa Timur, 2008.
- [3] N. Hidayati, P. T. Pungkasanti, and N. Wakhidah, “Prediksi Bencana Alam di Kota Semarang Menggunakan Algoritma Markov Chains,” *J. Sains Dan Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 107–116, Jul. 2021, doi: 10.34128/jsi.v7i1.283.
- [4] H. Ihsan, W. Sanusi, and H. Hasriani, “Peramalan Pola Curah Hujan Di Kota Makassar Menggunakan Model Rantai Markov,” *J. Math. Comput. Stat.*, vol. 2, no. 1, p. 19, May 2020, doi: 10.35580/jmathcos.v2i1.12448.
- [5] F. I. Durrah, S. Anwar, and L. R. Siregar, “Markov Chain Analysis, Metode Alternatif Dalam Mengukur Tingkat Elektabilitas Peserta Pemilu Melalui Tagar: Studi Kasus Pemilihan Presiden Indonesia Tahun 2019,” *JWP J. Wacana Polit.*, vol. 5, no. 1, p. 41, Mar. 2020, doi: 10.24198/jwp.v5i1.27084.
- [6] Y. A. R. Langi, “Penentuan Klasifikasi State pada Rantai Markov dengan Menggunakan Nilai Eigen dari Matriks Peluang Transisi,” *J. Ilm. SAINS*, vol. 11, no. 1, p. 124, Apr. 2011, doi: 10.35799/jis.11.1.2011.54.
- [7] F. A. Kurniawan, “Aplikasi Markov Chain Untuk Memprediksi Tekanan Darah,” *InComTech J. Telekomun. Dan Komput.*, no. Vol 8, No 2 (2018), pp. 103–120, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.22441/incomtech.v8i2.4087>.
- [8] D. Allo, D. Hatidja, and M. Paendong, “Analisis Rantai Markov untuk Mengetahui Peluang Perpindahan Merek Kartu Seluler Pra Bayar GSM (Studi Kasus Mahasiswa Fakultas Pertanian Unsrat Manado),” *J. MIPA*, vol. 2, p. 17, Jan. 2013, doi: 10.35799/jm.2.1.2013.745.
- [9] M. N. Aidi, “Penggunaan Rantai Markov untuk Analisis Spasial Serta Modifikasinya Dari Sistem Tertutup Ke Sistem Terbuka,” *Dep. Stat. FMIPA IPB*, vol. Vol 13 No.1, pp. 23–33, Apr. 2008.
- [10] M. K. Mustakim Insanul; Ramadhan, Aditya, “Implementasi Algoritma Markov Chains untuk Prediksi Kejadian Bencana Alam di Provinsi Riau,” *Semin. Nas. Teknol. Inf. Komun. Dan Ind.*, no. 2018: SNTIKI 10, pp. 151–157, 2018.