

Integrasi SIG dan CA–Markov Chain untuk Prediksi Perubahan Lokasi Rawan Banjir di Kabupaten Mamuju

“Integration of GIS and CA–Markov Chain for Predicting Flood-Prone Area Changes in Mamuju Regency”

Risma^{1*}, Ridha Anugerah Putra¹, Ihsan Arham¹

¹Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Sulawesi Barat, Majene

*Corresponding author's email : risma@unsulbar.ac.id

Diterima: 13 Oktober 2025	Disetujui: 24 Desember 2025	Diterbitkan: 31 Desember 2025
---------------------------	-----------------------------	-------------------------------

ABSTRAK: Perubahan iklim dan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem telah mendorong meningkatnya risiko bencana hidrometeorologi, termasuk banjir, terutama pada wilayah dengan tingkat deforestasi tinggi dan dinamika alih fungsi lahan yang intensif. Kabupaten Mamuju merupakan salah satu wilayah yang memiliki kerentanan banjir signifikan akibat kombinasi faktor biofisik dan perubahan penggunaan lahan yang cepat. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi aktual kerawanan banjir, memprediksi perubahan penggunaan lahan hingga tahun 2029 menggunakan model Cellular Automata–Markov Chain (CA–Markov), serta menilai dampak perubahan tersebut terhadap distribusi kerawanan banjir di masa depan. Data yang digunakan berasal dari sumber sekunder dan interpretasi citra satelit Landsat, yang kemudian diolah melalui Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis kerawanan banjir dilakukan berdasarkan enam parameter utama, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, elevasi, jenis tanah, penggunaan lahan, dan jarak sungai, yang diberi bobot menggunakan metode Weighted Scoring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2019 luas area dengan kerawanan tinggi mencapai 279,84 km² dan diprediksi meningkat menjadi 365,05 km² pada tahun 2029. Peningkatan ini terutama terjadi akibat penurunan tutupan hutan dan perluasan permukiman yang mengurangi kapasitas infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan. Temuan ini menegaskan pentingnya pengendalian alih fungsi lahan serta peningkatan kapasitas mitigasi banjir berbasis tata ruang untuk mengurangi risiko bencana di Kabupaten Mamuju.

Kata kunci: Banjir, CA-Markov Chain, GIS, Penggunaan Lahan

ABSTRACT: Climate change and the increasing frequency of extreme weather events have intensified the risk of hydrometeorological disasters, including flooding, particularly in regions experiencing rapid deforestation and land-use conversion. Mamuju Regency is one of the areas with high flood vulnerability due to its biophysical characteristics and accelerated land-use changes. This study aims to analyze the current flood susceptibility, predict land-use changes up to 2029 using the Cellular Automata–Markov Chain (CA–Markov) model, and assess how these changes influence future flood-prone areas. The research employs secondary datasets and Landsat satellite imagery, which were processed using Geographic Information Systems (GIS). Flood susceptibility analysis was conducted based on six key parameters—rainfall, slope, elevation, soil type, land use, and river proximity—each weighted using the Weighted Scoring method. The results indicate that in 2019, high-vulnerability areas covered approximately 279.84 km² and are projected to increase to 365.05 km² by 2029. This increase is primarily driven by declining forest cover and expanding built-up areas, which reduce infiltration capacity and intensify surface runoff. The predicted distribution of flood-prone areas shows that high-risk zones are concentrated in western Mamuju, particularly in rapidly developing subdistricts such as Kalukku and Mamuju. These findings highlight the need for stricter land-use control, enhanced watershed management, and spatially integrated flood mitigation strategies to reduce disaster risks in Mamuju Regency.

Key words: flood, CA-Markov Chain, GIS, land use

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global dan pemanasan global mendorong terjadinya cuaca ekstrem yang berdampak pada peningkatan frekuensi bencana hidrometeorologi, termasuk banjir.

Di Indonesia, banjir merupakan salah satu bencana paling dominan, dengan 26% dari total bencana pada tahun 2018 merupakan banjir (BNPB, 2019). Selain faktor iklim, alih fungsi lahan di sekitar DAS (Daerah Aliran Sungai) juga berkontribusi besar terhadap meningkatnya risiko banjir. Konversi hutan dan lahan resapan menjadi kawasan terbangun meningkatkan tutupan permukaan kedap air yang menurunkan kapasitas daerah tangkapan air dalam menahan dan meresapkan limpasan, sehingga menaikkan debit puncak aliran sungai, terutama ketika terjadi di kawasan resapan yang pada akhirnya memperbesar potensi banjir di wilayah hilir. (Bambang dan Rima, 2012, Du, et al., 2015).

Kabupaten Mamuju sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Barat memiliki tingkat kerentanan banjir tinggi. Tingginya laju deforestasi mencapai lebih dari 66,804.31 ha atau setara dengan 13% dari luas kabupaten Mamuju sejak 1990 hingga 2016 (Ramadhan, 2017) serta topografi perbukitan yang mempercepat aliran air hujan dari hulu ke hilir, menjadikan wilayah ini rentan terhadap banjir besar. Banjir bandang pada tahun 2018 yang merendam ribuan rumah di Mamuju menjadi bukti nyata tingginya kerawanan banjir di wilayah ini. Penelitian menunjukkan bahwa deforestasi yang tidak terkendali di Sulawesi Barat telah menurunkan kemampuan DAS dalam menahan limpasan air hujan, sehingga risiko banjir meningkat setiap tahun (Yani, et al., 2018).

Kajian mengenai hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan potensi banjir telah banyak dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi hutan dan lahan resapan menjadi kawasan terbangun menyebabkan peningkatan limpasan permukaan dan laju aliran puncak, yang secara langsung berkontribusi terhadap meningkatnya debit banjir, khususnya di wilayah perkotaan dan daerah hilir DAS (Rosyidie, 2013; Rahardian dan Buchori, 2016). Dalam konteks pemodelan spasial, integrasi SIG dengan pendekatan CA–Markov Chain terbukti efektif dalam memprediksi dinamika penggunaan lahan dan dampaknya terhadap lingkungan (Eastman, 2009., Fu, et al., 2018].

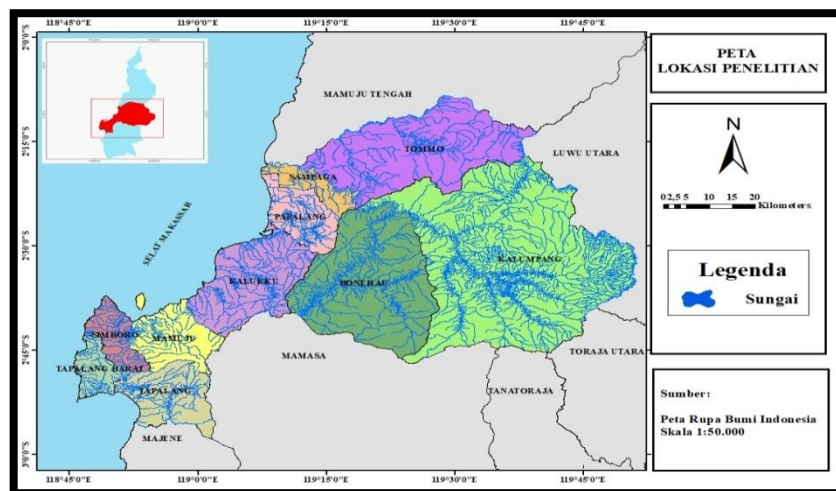
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada pertanyaan mengenai lokasi-lokasi yang saat ini memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap banjir di Kabupaten Mamuju, bagaimana prediksi perubahan penggunaan lahan di wilayah tersebut, serta bagaimana perubahan penggunaan lahan tersebut memengaruhi distribusi lokasi rawan banjir pada masa mendatang. Sejalan dengan itu, tujuan penelitian ini adalah menganalisis kondisi aktual lokasi rawan banjir, memprediksi perubahan penggunaan lahan hingga tahun 2029, memetakan perubahan lokasi kerawanan banjir berdasarkan hasil prediksi

penggunaan lahan, serta merumuskan strategi pengendalian yang dapat digunakan untuk menekan risiko banjir di Kabupaten Mamuju

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat, yang secara administratif terdiri dari 11 kecamatan, namun hanya 10 kecamatan yang dianalisis karena Kecamatan Bala-balakang merupakan wilayah kepulauan yang tidak termasuk daerah rawan banjir.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Kabupaten Mamuju

Penelitian ini merupakan penelitian non-eksperimen yang teknik pengumpulan datanya dilakukan melalui pemanfaatan data sekunder yang diperoleh dari berbagai portal dan instansi resmi, serta interpretasi citra satelit sebagai sumber utama informasi spasial. Data sekunder yang diperoleh melalui lembaga resmi dianggap memiliki validitas yang kuat karena telah melalui proses pemeriksaan dan verifikasi kelembagaan, selain itu data sekunder memberikan peluang besar bagi penelitian karena sifatnya yang terstruktur dan telah melalui proses pengendalian kualitas (Silva, et al., 2018). Sementara itu, interpretasi citra satelit dilakukan dengan menerapkan prinsip penginderaan jauh melalui pengolahan citra multispektral untuk memperoleh informasi mengenai kondisi dan perubahan permukaan bumi. Pemanfaatan citra satelit dari pemrosesan citra Landsat dapat digunakan

secara efektif untuk memetakan penggunaan lahan dan menganalisis perubahan spasial dalam skala luas (Hansen et al., 2013). Kombinasi penggunaan data sekunder dan analisis citra satelit memungkinkan penelitian menghasilkan gambaran spasial yang komprehensif serta mendukung kebutuhan analisis dalam desain penelitian non-eksperimen. Adapun data yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian tercantum dalam tabel 1.

Tabel 1. Data yang digunakan dalam penelitian

Jenis Data	Sumber
Peta batas administrasi Kabupaten Mamuju	Peta rupa bumi Indonesia (RBI) Skala 1:50.000, BIG (https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/login?page=/unduh/rbi-wilayah)
Data curah hujan harian periode 1979-2013	<i>Global Weather</i> (https://globalweather.tamu.edu)
Data elevasi dan kemiringan lereng	DEMNAS (<i>Digital Elevation Model Nasional</i>), BIG (https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/login?page=/unduh/demnas)
Data jenis tanah	Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat tahun 2000
Data jaringan sungai, jaringan jalan, garis pantai dan fasilitas umum	Peta rupa bumi Indonesia (RBI) Skala 1:50.000, BIG (https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/login?page=/unduh/rbi-wilayah)
Data Penggunaan lahan tahun 2009	Citra Landsat-7 https://glovis.usgs.gov/app
Data Penggunaan Lahan tahun 2014 dan 2019	Citra Landsat-8 https://glovis.usgs.gov/app
Data RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Kabupaten Mamuju	Bappeda Kabupaten Mamuju

2.2. Analisis Data

Semua data yang telah diperoleh diolah untuk analisis spasial dan pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan. Analisis dilakukan dengan pendekatan *Cellular Automata–Markov Chain* untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan (Fitrianto, et al., 2019., Canute dan Lawrence, 2017).

Tahapan penelitian dimulai dengan penyusunan peta tematik parameter banjir, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, elevasi, jenis tanah, penggunaan lahan, dan jarak dari sungai (Darmawan, et al., 2017., Kusumo, et al., 2016). Parameter tersebut kemudian diberi harkat dan bobot menggunakan metode *Weighted Scoring* untuk menentukan pengaruh relatifnya terhadap tingkat kerawanan banjir (Wismarini dan Muji, 2015). Analisis spasial kerawanan banjir aktual dilakukan dengan cara *overlay* seluruh parameter yang memengaruhi tingkat kerawanan, seperti kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, curah hujan, dan ketinggian. Setiap parameter diklasifikasikan dan diberi bobot sesuai tingkat pengaruhnya sebagaimana ditetapkan pada Tabel 2. Selanjutnya, seluruh layer digabungkan secara matematis menggunakan Persamaan 1 dalam Sistem Informasi Geografis (SIG).

Tabel 2. Pembobotan parameter kerawanan banjir

Parameter Kerawanan Banjir	Bobot (%)
Curah hujan	15
Kemiringan lereng	10
Elevasi	20
Jenis tanah	10
Penggunaan Lahan	25
<i>Buffer</i> sungai	20
Total	100

(Sumber: Kusumo and Nursari, 2016)

$$KB = (B_{ch} \times H_{ch}) + (B_{kl} \times H_{kl}) + (B_e \times H_e) + (B_{jt} \times H_{jt}) + (B_{PL} \times H_{PL}) + (B_{bs} \times H_{bs})$$

Keterangan:

KB = Kerawanan banjir
B = Bobot
H = Harkat
ch = Curah hujan
kl = Kemiringan lereng

e = Elevasi
jt = Jenis tanah
PL = Penggunaan lahan
bs = Buffer sungai

Selanjutnya, pemodelan perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan pendekatan CA–Markov, yang memungkinkan prediksi perubahan spasial-temporal berdasarkan probabilitas transisi lahan (Fitrianto, et al., 2019., Canute dan Lawrence, 2017).

Hasil prediksi kemudian divalidasi menggunakan uji statistik Kappa untuk menilai tingkat kesesuaian antara data aktual dan hasil pemodelan, mencakup akurasi lokasi, kuantitas, dan kesesuaian keseluruhan (Mondal, et al., 2016., Hamad, et al., 2018). Statistik Kappa terdiri atas Kappa tanpa informasi (Kno), Kappa untuk lokasi (*Klocation*) dan Kappa untuk kuantitas (*Kquantity*). Keakuratan keseluruhan simulasi yang dihasilkan ditentukan oleh Kno, *Klocation* untuk menguji akurasi dalam hal lokasi sedangkan *Kquantity* untuk memvalidasi jumlah sel yang benar (Mondal et al. 2016, Singh et al. 2015). Ketika nilai Kno, *Klocation* dan *Kquantity* sama dengan 1 maka hasil simulasi dianggap sempurna, dan jika itu 0 maka simulasi dianggap tidak sempurna (Singh et al. 2015). Nilai akurasi yang dapat diterima untuk membuat prediksi masa depan yang masuk akal adalah 0,80 (Hamad et al. 2018).

Berdasarkan hasil prediksi penggunaan lahan, dilakukan analisis kerawanan banjir tahun 2029, yang selanjutnya menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi mitigasi. Rekomendasi difokuskan pada pendekatan teknis maupun non-struktural, seperti pengendalian alih fungsi lahan, perbaikan sistem drainase, dan pelestarian ruang terbuka hijau (Narmilan, 2018) Integrasi metode spasial, pembobotan parameter, pemodelan CA–Markov, serta uji validasi diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi kerawanan banjir aktual maupun prediksi, sekaligus mendukung perumusan kebijakan mitigasi di Kabupaten Mamuju.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

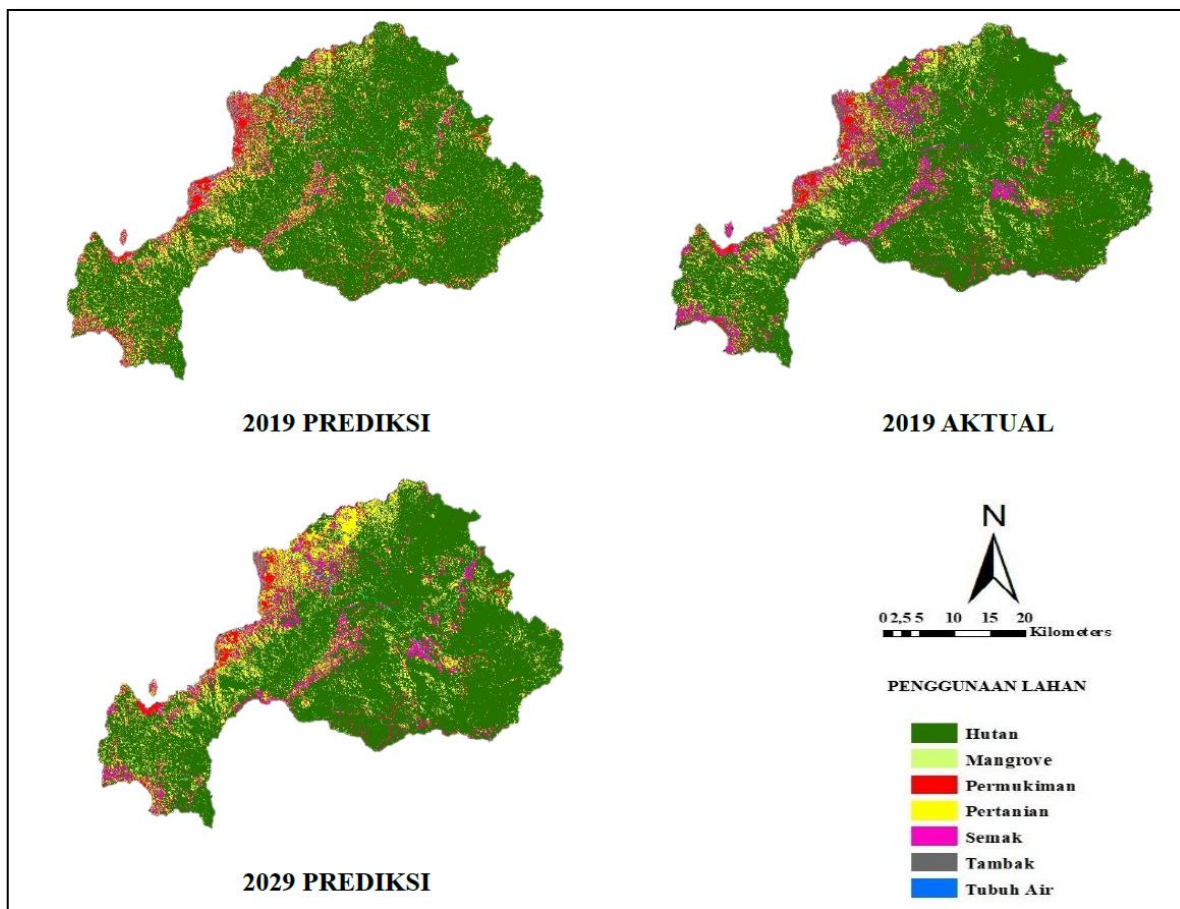
Hasil analisis overlay terhadap seluruh parameter banjir menghasilkan dua output utama, yaitu peta kerawanan banjir aktual dan peta kerawanan banjir prediksi. Peta kerawanan banjir prediksi diperoleh melalui proses overlay antara parameter kerawanan banjir dengan peta penggunaan lahan prediksi tahun 2029. Peta penggunaan lahan prediksi tersebut dihasilkan melalui pemodelan *Cellular Automata–Markov Chain* (CA–Markov Chain). Sebelum model prediksi peta penggunaan lahan tahun 2029 dibuat dan dianggap benar, yang dilakuka terlebih dahulu membandingkan peta prediksi penggunaan lahan

tahun 2019 dengan peta penggunaan lahan actual tahun 2019 menggunakan uji statistik Kappa untuk menilai tingkat akurasi. Nilai akurasi Klocation adalah 0,8682 (Tabel 3) aartinya model dapat diterima, sehingga memungkinkan proyeksi kerentanan banjir berdasarkan perubahan penggunaan lahan di masa mendatang.

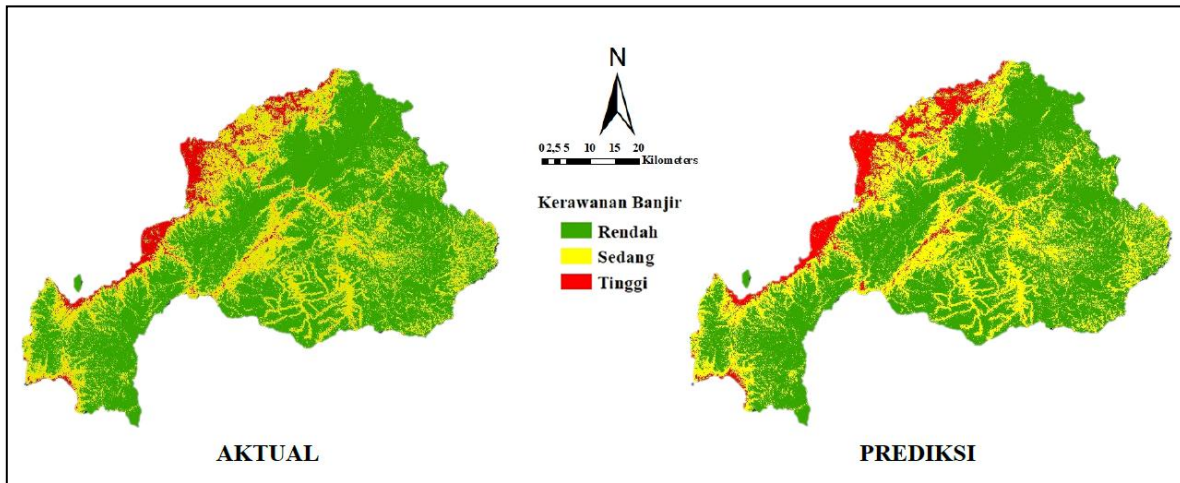
Tabel 3. Nilai Indeks Kappa

Statistik	Indeks
Kno	0,8935
Klocation	0,8682
KlocationStrata	0,8682
Kstandard	0,7739

(Sumber: Hasil Analisis)



Gambar 2 Peta Penggunaan Lahan



Gambar 3. Peta Lokasi Rawan Banjir

3.2 Pembahasan

Kabupaten Mamuju memiliki variasi tingkat kerawanan banjir mulai dari kategori rendah hingga tinggi. Dari total luas wilayah daratan sekitar 4934,64 km², diketahui bahwa 279,84 km² (5,67%) termasuk dalam kategori rawan banjir tinggi, 1695,47 km² (34,36%) rawan sedang, dan 2959,33 km² (59,97%) rawan rendah.

Pemodelan prediksi penggunaan lahan dengan metode *Cellular Automata–Markov Chain* memperlihatkan bahwa tren konversi lahan akan terus berlanjut hingga tahun 2029. Hasil simulasi menunjukkan bahwa luas hutan diperkirakan akan semakin berkurang menjadi 3639,58 km² dari 3743,17 km² pada tahun 2019, sementara kawasan permukiman meningkat menjadi 138,73 km² dari 126,74 km² pada tahun 2019. Lahan pertanian juga terus bertambah hingga mencapai 731,57 km² dari 581,93 km².

Selain itu, pada peta kerawanan banjir prediksi diketahui bahwa luas kawasan rawan banjir tinggi akan meningkat menjadi 365,05 km² atau sekitar 7,40% dari total wilayah, sedangkan kawasan rawan sedang menurun menjadi 1615,31 km² demikian pula dengan tingkat rawan rendah menurun menjadi 2954,28 km². Peningkatan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi dipengaruhi oleh hasil prediksi PL 2029 yang menunjukkan adanya peningkatan luas area permukiman. Peningkatan luas kawasan dengan tingkat kerawanan tinggi ini terutama terjadi di Kecamatan Kalukku dan Mamuju, yang merupakan pusat pertumbuhan permukiman dan aktivitas ekonomi masyarakat.

Berdasarkan Gambar 3, hasil prediksi menunjukkan bahwa pada tahun 2029 sebagian besar wilayah Kabupaten Mamuju berada pada kategori kerawanan banjir rendah. Adapun zona dengan tingkat kerawanan banjir tinggi terutama terletak di wilayah bagian barat kabupaten. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh dominasi tutupan lahan tanpa vegetasi pada area tersebut, seperti permukiman dan tambak, yang mengurangi kapasitas infiltrasi tanah serta meningkatkan potensi limpasan permukaan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengindikasikan adanya peningkatan luas wilayah yang memiliki tingkat kerawanan banjir tinggi yang pada tahun 2019 seluas 279,84 Km² menjadi 365,05 Km² pada tahun 2029 di Kabupaten Mamuju. Faktor utama yang meningkatkan kerawanan banjir adalah penurunan tutupan hutan dan peningkatan area permukiman yang mengubah fungsi lahan secara signifikan. Hasil prediksi untuk tahun 2029 menunjukkan bahwa proses alih fungsi lahan tersebut akan terus berlanjut, sehingga memperluas area rawan banjir, khususnya di Kecamatan Kalukku dan Mamuju. Integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan model CA–Markov terbukti efektif dalam memprediksi perubahan lokasi rawan banjir, meskipun akurasi dapat ditingkatkan dengan menambahkan faktor iklim dan sosial-ekonomi dalam analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang, B, U. dan Rima, D, S. (2012). Pemintakatan Risiko Bencana Banjir Bandang di Kawasan Sepanjang Kali Sampean. Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 58-62.
- BNPB. (2019). Data Bencana Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Canute, H. dan Lawrence, W, M. 2017. A Markovian and cellular automata land-use change predictive model of the Usangu Catchment. *International Journal of Remote Sensing*, 38(1), 64-81.
- Darmawan., Kurnia., Hani'ah., Andri, S. (2017). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 31-40.
- Du, S., Huang, X., & Yu, X. (2015). Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas. *Journal of Hydrology*, 531, 268–282.
- Eastman, J, R. 2009. *Idrisi Taiga: Guide to GIS and Image Processing*. Clark University.
- Fitriyanto., Bobby, R., Muhammad, H., Hadiyanto. (2018). Model Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis dan Cellular Automata Markov Chain: Studi Kasus Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau.

Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. Yogyakarta 15 September 2018.

- Fu, X., Wang, X., Yang, Y., Zhang, J. (2018). Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines and adaptive neighborhood. *Ecological Modelling*, 374. 63–75.
- Hamad, R., Heiko, B., Kamal, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using CA-Markov Model under Two Different Scenario. *Sustainability*, 10(10), 3421.
- Hansen, M. C., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S., Goetz, S., Loveland, T., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science (New York, N.Y.)*, 342, 850–853.
- Kusumo, P. dan Evi, N. (2016). Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis Pada Das Cidurian Kab.Serang, Banten. *Jurnal String*, 1(1). 29-38.
- Mondal., M, S., Nayan, S., P, K, Garg., Martin, K. (2016). Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19(2). 259-272.
- Narmilan, A. (2018). Structural Measures for Flood Risk Mitigation in the Agricultural Field: A Review. *Conference: ACEPS 2018*, At Faculty of Engineering, University of Ruhuna, Sri Lanka, 185-190.
- Rahardian, A. dan Buchori, I. (2016). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan dan Laju Aliran Puncak Sub-DAS Gajahwong Hulu, Kabupaten Sleman. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 12(2). 127-139.
- Ramadhan, A. (2017). *Profil Deforestasi di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat*. Skripsi tidak diterbitkan. Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 24(3), 241-249.
- Silva, M. F., Carneiro D. C. J., & Serra, F. (2018). Secondary Data in Research – Uses and Opportunities. *PODIUM Sport, Leisure and Tourism Review*, 7, I–IV.
- Singh, Sudhir K., Sk Mustak., Prashant K., Srivastava., Szilárd S., Tanvir I. 2015. Predicting Spatial and Decadal LULC Changes Through Cellular Automata Markov Chain Models Using Earth Observation Datasets and Geo-information. *Environmental Processes* Vol. 2 Issue. 1.
- Wisnarini, T, D., Muji, S. (2015) Penentuan Tingkat Kerentanan Banjir Secara Geospasial. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, 20(1), 57-76.
- Yani, N., Syamsu, R., Asar, S, M. (2018). *Model Spasial Deforestasi berdasarkan Aspek Sosial di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat Periode 1990-2016*. Skripsi. Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, Makassar.