

FLOOD HAZARD ASSESSMENT AND SPATIAL PLANNING EVALUATION IN UPPER CIMANUK WATERSHED

BAYU ARYA SANTOSA



**REGIONAL PLANNING SCIENCE
FACULTY OF AGRICULTURE
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



- 



STATEMENT OF THESIS AND SOURCES OF INFORMATION AND COPYRIGHT DELEGATION

I hereby declare that the thesis entitled Flood Hazard Assessment and Spatial Planning Evaluation in Upper Cimanuk Watershed is my original work with guidance of the supervisors and has not been submitted in any form to any university. The source derived or cited from published and unpublished works from the other writers has been mentioned in the text and listed in the references list at the end of this thesis.

I hereby assign the copyright of my paper to IPB University

Bogor, August 2025

Bayu Arya Santosa
NIM A1506211002

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

BAYU ARYA SANTOSA. Flood Hazard Assessment and Spatial Planning Evaluation in Upper Cimanuk Watershed. Supervised by DWI PUTRO TEJO BASKORO and BOEDI TJAHJONO.

The Upper Cimanuk Watershed (UCW) suffered from ecosystem degradation due to human intervention such as converting the forest in upstream into agriculture for their welfare while ignoring the spatial planning policies, exceeded the carrying capacity which leading to the failure in serving as its natural function as catchment area. This issue exacerbated by the change of local hydrological regime and climate, resulting high frequency and severe flood events in most rainy season impacting the area in the lower-flat zone with high population density. To address these challenges, this study aims to investigate the driver of flood hazard in UCW that can serve as an evidence-based tool for evaluating and improving spatial planning policies for disaster mitigation.

To achieve the aim of this study, several objectives have been set: 1) analyzing the spatio-temporal dynamics of land use/land cover (LULC) change in the UCW between 2012 and 2024, 2) analyzing long-term local climate pattern and its interrelationship with flood events in the UCW, 3) assessing flood hazard of the UCW, 4) and evaluating spatial patterns based on flood hazard and proposing mitigation direction. LULC change between 2012-2024 was analyzed by semi-automatic classification (SCP) plugin, with the data derived from Landsat-8 image (2012) and Sentinel-2 image (2024). Therefore, climate analysis was conducted within Python environmental program leveraging grid precipitation data CHIRPS v.2 using Mann-Kendall test, Sen's slope estimator, and standardize precipitation index (SPI) method. Flood hazard was employed Frequency Ratio (FR), Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM). Finally evaluating spatial planning and formulation of flood mitigation was engaged by overlaying spatial pattern map, LULC map, and flood hazard map.

The UCW experienced massive change in the LULC within the last 12 years, identified in decreasing of forest by 46,2% and increasing of dryland farming, built-up, and mixed-tree crops by 89%, 41%, and 23,9% respectively. Significant forest reduction in the UCW is primarily driven by the conversion of forests into dryland agriculture (104,82 km²) and mixed-tree crop (82,52 km²). This LULC aligns with the Garut Regency's regional development plan, which designates the affected sub-districts as agropolitan strategic areas to promote agricultural development.

Although there was no significant long-term precipitation trend during the 1981-2024 period (p-values 0,368 & 0,493), this study reveals highly fluctuating monthly variability with a standard deviation of 156,04 mm (nearly 65% of the mean of 240,90 mm). The analysis confirms the September 2016 flash flood was caused by the strongest La Nina anomaly in the 44-year period, serving as a future warning. Moreover, a dual threat was revealed, wherein hydrological drought occurred 15,7% of the time, more frequently than the rainfall surplus indicating flood potential at 12,5%.

This study successfully mapped flood hazard using three models: FR, RF, and SVM. All models performed well (AUC > 0,80), with the RF model proving

superior ($AUC = 0,921$), followed by SVM (0,890) and FR (0,845). This study confirms that flooding in the UCW stems from upstream forest conversion. This necessitates urgent strategic land management in the upstream areas to prevent impacts on densely populated central regions. Critical mitigation measures are required in high and very high flood hazard zones, which cover 9.5% to 10.3% of the landscape, according to the RF and SVM models, respectively.

This study reveals a critical misalignment in spatial planning. 70% of the areas identified with high and very high flood hazards are not only concentrated in residential zones but are also officially designated for settlement, tourism, and industrial development. This failure in planning is compounded by the ineffectiveness of the current regional spatial plan as a mitigation tool; as of 2024, only 49% of actual LULC aligns with its directives. This reality necessitates an urgent and comprehensive overhaul of the spatial plan, which could be restructured into four distinct categories based on scientifically determined flood hazard levels. Ultimately, these findings provide a clear mandate for a dual-pronged mitigation strategy one focused on preventing root causes in the upstream and another focused on mitigating impacts in the densely populated downstream urban areas.

Keywords: climate, flood hazard, land-use change, spatial plan, watershed

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

BAYU ARYA SANTOSA. Penilaian Bahaya Banjir dan Evaluasi Pola Ruang di DAS Cimanuk Hulu. Dibimbing oleh DWI PUTRO TEJO BASKORO dan BOEDI TJAHJONO.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimanuk Hulu mengalami degradasi ekosistem akibat intervensi manusia seperti konversi hutan di bagian hulu menjadi lahan pertanian demi kesejahteraan dengan mengabaikan kebijakan tata ruang, sehingga melampaui daya dukung yang menyebabkan kegagalan fungsi alamnya sebagai daerah tangkapan air. Masalah ini diperparah oleh perubahan rejim hidrologi lokal dan iklim, yang mengakibatkan tingginya frekuensi dan tingkat keparahan kejadian banjir di hampir setiap musim hujan yang berdampak pada wilayah dataran rendah di bagian hilir dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi faktor pendorong bahaya banjir di DAS Cimanuk Hulu yang dapat berfungsi sebagai alat berbasis bukti untuk mengevaluasi dan memperbaiki kebijakan tata ruang untuk mitigasi bencana

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, beberapa tujuan telah ditetapkan: 1) menganalisis dinamika spasio-temporal perubahan tutupan/penggunaan lahan di DAS Cimanuk Hulu antara tahun 2012 dan 2024, 2) menganalisis pola iklim lokal jangka panjang dan keterkaitannya dengan kejadian banjir di DAS Cimanuk Hulu, 3) mengkaji bahaya banjir di DAS Cimanuk Hulu, dan 4) mengevaluasi pola ruang berdasarkan bahaya banjir dan mengusulkan arahan mitigasi. Perubahan penggunaan/tutupan lahan antara 2012-2024 dianalisis dengan *plugin Semi-automatic Classification Plugin* (SCP), dengan data dari citra Landsat-8 (2012) dan citra Sentinel-2 (2024). Selanjutnya, analisis iklim dilakukan dalam lingkungan program Python dengan memanfaatkan data curah hujan grid CHIRPS v.2 menggunakan uji Mann-Kendall, *Sen's slope estimator*, dan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Analisis bahaya banjir menggunakan *Frequency Ratio* (FR), *Random Forest* (RF), dan *Support Vector Machine* (SVM). Terakhir, evaluasi tata ruang dan perumusan mitigasi banjir dilakukan dengan menumpang-susunkan (overlay) peta pola ruang, peta penggunaan lahan, dan peta bahaya banjir.

DAS Cimanuk Hulu mengalami perubahan besar dalam tutupan/penggunaan lahan selama 12 tahun terakhir, yang teridentifikasi dari penurunan luas hutan sebesar 46,2% dan peningkatan pertanian lahan kering, lahan terbangun, dan kebun campuran masing-masing sebesar 89%, 41%, dan 23,9%. Penurunan hutan yang signifikan di DAS Cimanuk Hulu didorong oleh konversi hutan menjadi pertanian lahan kering (104,82 km²) dan kebun campuran (82,52 km²). Perubahan penggunaan lahan ini sejalan dengan rencana pembangunan daerah Kabupaten Garut, yang menetapkan kecamatan-kecamatan terdampak sebagai kawasan strategis agropolitan untuk mendorong pembangunan pertanian.

Meskipun tidak ada tren curah hujan jangka panjang yang signifikan selama periode 1981-2024 (nilai p 0,368 & 0,493), penelitian ini mengungkapkan variabilitas bulanan yang sangat berfluktuasi dengan standar deviasi 156,04 mm (hampir 65% dari rata-rata 240,90 mm). Analisis ini mengonfirmasi bahwa banjir bandang September 2016 disebabkan oleh anomali La Nina terkuat dalam periode 44 tahun, yang menjadi peringatan untuk masa depan. Lebih lanjut, terungkap

adanya ancaman ganda, di mana kekeringan hidrologis terjadi 15,7% dari total waktu, lebih sering dibandingkan dengan surplus curah hujan yang mengindikasikan potensi banjir sebesar 12,5%.

Penelitian ini berhasil memetakan bahaya banjir menggunakan tiga model: FR, RF, dan SVM. Semua model menunjukkan kinerja yang baik ($AUC > 0,80$), dengan model RF terbukti paling unggul ($AUC = 0,921$), diikuti oleh SVM (0,890) dan FR (0,845). Penelitian ini mengonfirmasi bahwa banjir di DAS Cimanuk Hulu bersumber dari konversi hutan di bagian hulu. Hal ini menuntut adanya pengelolaan lahan strategis yang mendesak wilayah hulu untuk mencegah dampak di wilayah tengah yang padat penduduk. Langkah-langkah mitigasi kritis diperlukan di zona bahaya banjir tinggi dan sangat tinggi, yang mencakup 9,5% hingga 10,3% dari total luas wilayah, menurut model RF dan SVM.

Penelitian ini mengungkapkan adanya ketidakselarasan kritis dalam perencanaan tata ruang. 70% dari wilayah yang teridentifikasi memiliki bahaya banjir tinggi dan sangat tinggi tidak hanya terkonsentrasi di zona pemukiman, tetapi juga secara resmi ditetapkan untuk pengembangan pemukiman, pariwisata, dan industri. Kegagalan dalam perencanaan ini diperparah oleh tidak efektifnya rencana tata ruang wilayah saat ini sebagai alat mitigasi; di mana hingga tahun 2024, hanya 49% dari penggunaan lahan aktual yang sesuai dengan arahnya. Kenyataan ini menuntut perombakan total yang mendesak dan komprehensif terhadap rencana tata ruang, yang dapat direstrukturisasi menjadi empat kategori berbeda berdasarkan tingkat bahaya banjir yang ditentukan secara ilmiah. Pada akhirnya, temuan-temuan ini memberikan mandat yang jelas untuk strategi mitigasi dua arah: satu berfokus pada pencegahan akar penyebab di hulu dan juga berfokus pada mitigasi dampak di kawasan perkotaan hilir yang padat penduduk.

Kata Kunci: bahaya banjir, daerah aliran sungai, iklim, perubahan penggunaan lahan, tata ruang

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Copyright belongs to IPB, 2025

Prohibited to cite a part or all of this paper without including or citing sources. Citation is only for educational purpose, research, scientific writing, preparation of reports, criticism writing, or review of matter, and citation does not harm to the interests of IPB.

Prohibited to announce and reproduce a part or all of this paper in any form without the permission of IPB.

FLOOD HAZARD ASSESSMENT AND SPATIAL PLANNING EVALUATION IN UPPER CIMANUK WATERSHED

BAYU ARYA SANTOSA

A thesis
In accordance with requirements for the degree of
Master of Science
in
Regional Planning Science

**REGIONAL PLANNING SCIENCE
FACULTY OF AGRICULTURE
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

The Examiners team on master thesis defense:

1. Dr. Andrea Emma Pravitasari S.P., M.Si
2. Dr. Sri Malahayati Yusuf, S.P., M.Si



Title of Thesis: Flood Hazard Assessment and Spatial Planning Evaluation in
Upper Cimanuk Watershed

Name : Bayu Arya Santosa
Student ID : A1506211002

@Hak cipta milik IPB University

Approved by

Supervisor 1:
Dr. Ir. Dwi Putro Tejo Baskoro, M.Sc.Agr



Supervisor 2:
Dr. Drs. Boedi Tjahjono, M.Sc



Known by

Head of Study Program:
Dr. Andrea Emma Pravitasari, S.P., M.Si
NIP. 198411022012122002



Dean of Faculty of Agriculture:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr
NIP. 196902121992031003



Date of Thesis Examination: 13 August 2025

Date of Graduation: 15 AUG 2025

FOREWORD

Alhamdulillah, all praise and gratitude is due to Allah subhanahu wa ta'ala for His boundless blessings, allowing The Author to complete this thesis entitled "Flood Hazard Assessment and Spatial Planning Evaluation in Upper Cimanuk Watershed" as part of The Author's master's degree in Regional Planning Science at IPB University's Graduate School.

The author deeply grateful to everyone who supported me throughout this journey. Without their help, this thesis would never be completed. Special thanks to:

1. Dr. Ir. Dwi Putro Tejo Baskoro, MSc.Agr, as primary supervisor, for his unwavering guidance, patience, and insightful feedback from start to finish.
2. Dr. Drs. Boedi Tjahjono, MSc, as co-supervisor (and former primary supervisor), for his incredible motivation and steadfast support during my challenging Double Degree journey.
3. Prof. Izuru Saizen, my academic supervisor at Kyoto University, for his endless patience and willingness to help me navigate difficulties during my studies both in Japan and Indonesia.
4. Dr. Andrea Emma Pravitasari, S.P., M.Si, head of our Regional Planning Program and Double Degree Coordinator, for her tireless encouragement and belief in me whenever I needed it most.
5. Dr. Sri Malahayati Yusuf, S.P., M.Si, the examiner of my master thesis, for her careful review and valuable recommendations, which have greatly enhanced this thesis.
6. My beloved parents, the late Mr. Atang Supiadjar and Mrs. Dedeh Dahlia, for their endless ocean of love and moral support, your present and love mean the world to me, carried me through every challenges.
7. My fellow warriors in the Regional Planning Science Class of 2021, thank you for the solidarity, shared struggles, and late-night study sessions.
8. To everyone else who contributed in ways big and small, I may not name you all, but your kindness is deeply appreciated.

I sincerely hope this work proves useful and becomes another piece in the puzzle of regional planning and disaster science. May it inspire future research and contribute to building more resilient communities through better spatial planning

Bogor, August 2025
Bayu Arya Santosa



CONTENTS

LIST OF TABLES	vii
LIST OF FIGURES	vii
LIST OF APPENDICES	viii
INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Problem Statement	2
1.3 Objective of Research	3
1.4 Significance of Research	3
1.5 Scope of Research	4
1.6 Research Framework	4
LITERATURE REVIEW	5
2.1 Watershed	5
2.2 Flood Hazard	6
2.3 Flood Hazard Assessment	6
2.4 The Nexus of Land Use Land Cover Change, Climate Change, and Disaster	8
2.5 Spatial Plan	9
2.6 Disaster Mitigation	10
METHODOLOGY	11
3.1 Object and Time of Research	11
3.2 Materials and Methods	11
3.3 Data Analysis	13
RESULT AND DISCUSSION	23
4.1 Land Use Change in Upper Cimanuk Watershed	23
4.2 Climate Characteristic in Upper Cimanuk Watershed	25
4.3 Flood Hazard Assessment in Upper Cimanuk Watershed	31
4.4 Spatial Planning Evaluation and Flood Mitigation Direction in Upper Cimanuk Watershed	47
CONCLUSION	59
5.1 Conclusion	59
5.2 Limitations	59
5.3 Recommendation	60
REFERENCES	61
APPENDIX	70
BIOGRAPHY	94

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

LIST OF TABLES

1	Correlation matrix among objectives, data, and output	12
2	Conformity matrix of LULC with RTRW	21
3	Validation of the 2012 land cover classification	23
4	Validation of the 2024 land cover classification	24
5	Land cover change in Upper Cimanuk Watershed	24
6	Transition matrix land use change in Upper Cimanuk Waterhed 2012-2024	25
7	Statistical of the Monthly Climatology in the UCW	28
8	Seasonal climatology	28
9	Extreme events in UCW	29
10	SPI-3, SPI-6, and SPI-12 in Upper Cimanuk Watersshed	30
11	Multicollinearity test's result	32
12	RF values for each class factor	36
13	Hyperparameter tuning for different kernel	40
14	Model validation of RF and SVM	43
15	Proportion area on flood hazard level	45
16	Proportion area of land use on inconsistence with spatial pattern category	49
17	Area distribution of flood-prone areas and spatial plan directives.	51
18	Mitigation direction in Upper Cimanuk Watershed	53

LIST OF FIGURES

1	Conceptual framework	4
2	Map of study area map	11
3	Methodological framework	13
4	Spatial distribution of flood history in UCW	17
5	Land cover map of the UCW for 2012 (left) and 2024 (right)	23
6	Annual precipitation 1981-2024 in UCW	26
7	Monthly precipitation 1981-2024 in UCW	27
8	Monthly precipitation in UCW	28
9	SPI-12 in UCW	30
10	Elevation	32
11	Landform	33
12	Soil depth	33
13	LULC of 2024	34
14	Slope	34
15	Topographic wetness index	35
16	Distance to river	35
17	Flood hazard perdition of FR model	38
18	ROC-AUC curve of FR flood hazard model	39
19	Proportion area on FR flood hazard level	39
20	Confusion matrix of RF (top) and SVM (bottom)	41

21	ROC-AUC curve of RF flood hazard model	42
22	ROC-AUC curve of SVM flood hazard mode	42
23	SHAP feature importance of RF and SVM model	43
24	Flood hazard prediction of RF model (left) and SVM model (right)	44
25	Spatial pattern map of Upper Cimanuk Watershed	47
26	Land use and spatial plan conformity map	48
27	Proportion area of LULC on conformity with spatial pattern	48
28	Flood Hazard-based spatial planning directive	51
29	Target area mitigation	52

LIST OF APPENDICES

1	Flood history in Upper Cimanuk Watershed in period 2012-2020	71
2	Script code for precipitation pattern analysis	73
3	Script code for flood hazard assessment using RF algorithm	77
4	Script code for flood hazard assessment using SVM algorithm	83