

ANALISIS PERUBAHAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP DEBIT BANJIR DAS MOLIBAGU MENGGUNAKAN APLIKASI HEC-HMS DENGAN METODE SCS CN

(ANALYSIS OF LAND USE CHANGES ON FLOOD DISCHARGE IN MOLIBAGU WATERSHED USING HEC- HMS APPLICATION WITH SCS CN METHOD)

Ficky Marcellino Oroh¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

E-mail: fickyoroh19@unsrat.ac.id

Diterima 8 Juli 2025, Disetujui 27 Oktober 2025

ABSTRAK

Perubahan tata guna lahan (land use/land cover, LULC) dan peningkatan curah hujan ekstrem akibat variabilitas iklim merupakan kombinasi utama yang meningkatkan risiko banjir di daerah aliran sungai (DAS) tropis. Studi ini dilakukan pada DAS Molibagu, Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Sulawesi Utara, yang memiliki topografi bergelombang dan tingkat urbanisasi yang terus meningkat. Tujuan penelitian adalah menganalisis dampak perubahan LULC dan hujan rencana terhadap respon hidrologi dan debit puncak banjir menggunakan model HEC-HMS dengan metode Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN). Data curah hujan, penggunaan lahan, dan jenis tanah tahun 2011 dan 2020 digunakan untuk simulasi, yang dikalibrasi menggunakan data observasi debit sungai. Hasil kalibrasi menunjukkan kinerja model yang baik dengan nilai NSE sebesar 0,812 (2011) dan 0,694 (2020), RMSE masing-masing 0,434 dan 0,553, serta PBIAS 26,46% dan 51,16%. Hasil simulasi memperlihatkan peningkatan debit puncak dari 93,08 m³/s menjadi 113,57 m³/s (kenaikan ±22%), dengan kontribusi peningkatan curah hujan sebesar ±80% dan perubahan LULC sebesar ±20%. Peningkatan nilai Curve Number (42,04 menjadi 42,20) dan koefisien limpasan C (0,412 menjadi 0,415) menunjukkan berkurangnya kapasitas infiltrasi akibat bertambahnya area terbangun. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi peningkatan intensitas hujan dan perubahan penggunaan lahan berperan penting dalam memperbesar debit puncak dan potensi banjir di DAS Molibagu, serta menjadi dasar ilmiah bagi perencanaan tata ruang dan pengelolaan konservasi DAS secara terpadu di wilayah tropis yang rentan.

Kata Kunci: DAS; Debit banjir; HEC-HMS; Tata guna lahan; SCS CN

ABSTRACT

Land use and land cover (LULC) changes combined with increased rainfall intensity due to climate variability have significantly contributed to flood risk escalation in tropical watersheds. This study focuses on the Molibagu Watershed, located in Bolaang Mongondow Selatan Regency, North Sulawesi, which is characterized by undulating topography and continuous urban expansion. The objective of this research is to analyze the impact of LULC change and design rainfall on hydrological response and peak flood discharge using the HEC-HMS hydrological model with the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) method. Rainfall, land use, and soil data from 2011 and 2020 were used for the simulation, calibrated against observed streamflow data. The model performance showed good agreement, with NSE values of 0.812 (2011) and 0.694 (2020), RMSE values of 0.434 and 0.553, and PBIAS values of 26.46% and 51.16%, respectively. The simulation results indicated an increase in peak discharge from 93.08 m³/s to 113.57 m³/s (approximately +22%), mainly influenced by changes in rainfall intensity (±80%) and LULC (±20%). The increase in Curve Number (from 42.04 to 42.20) and runoff coefficient (from 0.412 to 0.415) suggests a reduction in infiltration capacity due to the expansion of built-up areas. Overall, the findings demonstrate that the combined effects of higher rainfall intensity and land use change significantly affect surface runoff and peak discharge in the Molibagu Watershed. This study provides a scientific basis for integrated watershed management and spatial planning strategies aimed at flood mitigation in tropical regions.

Keywords: Watershed; Flood discharge; HEC-HMS; Land use; SCS CN

PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang sering terjadi di wilayah tropis, dipicu oleh kombinasi curah hujan ekstrem akibat perubahan iklim dan perubahan tata guna lahan (land use/land cover, LULC) [5], [6]. Aktivitas manusia dan pertumbuhan kawasan urban memperluas area kedap air, meningkatkan volume limpasan permukaan dan risiko banjir [6], [9]. Penelitian global menunjukkan bahwa pemodelan hidrologi berbasis perubahan LULC penting untuk memahami dinamika respon daerah aliran sungai (DAS) [6], [8], [13].

Fenomena ini semakin relevan di Indonesia, salah satunya di Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan (Bolsel), Sulawesi Utara, yang pada 1 Agustus 2020 mengalami banjir bandang. Peristiwa ini merendam 29 rumah, merusak 1 jembatan, dan menimbulkan kerugian material yang signifikan [4]. DAS Molibagu, sebagai DAS utama di wilayah tersebut, rentan terhadap banjir tahunan akibat kombinasi curah hujan ekstrem, topografi bergelombang, dan perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi permukiman maupun lahan terbuka [6]. Namun, kajian ilmiah mengenai interaksi antara perubahan LULC dan respon hidrologi di DAS ini masih terbatas.

Model hidrologi seperti HEC-HMS telah terbukti efektif untuk mensimulasikan aliran permukaan dan mengevaluasi dampak perubahan LULC terhadap debit banjir di wilayah tropis [1], [11], [12]. Selain itu, validasi model dengan indikator kinerja seperti NSE, RMSE, dan PBIAS telah menjadi standar evaluasi yang diakui untuk memastikan reliabilitas hasil simulasi [14], [15]. Meski demikian, sebagian besar studi berfokus pada DAS besar atau kawasan urban utama, sedangkan konteks lokal skala menengah seperti DAS Molibagu belum banyak diteliti.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan LULC dan curah hujan rencana terhadap debit banjir di DAS Molibagu menggunakan HEC-HMS berbasis metode SCS-CN, dengan kalibrasi model berdasarkan indikator kinerja (NSE, RMSE, PBIAS). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam memahami interaksi antara perubahan LULC dan respon hidrologi di DAS tropis menengah, sekaligus menjadi acuan bagi perencanaan tata ruang dan strategi pengendalian banjir di wilayah rawan

Cakupan Rencana Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisis hidrologi DAS Molibagu dengan menilai pengaruh perubahan tata guna lahan (LULC) terhadap debit puncak banjir. Perubahan LULC pada tahun 2011 dan 2020 diidentifikasi menggunakan citra satelit, sedangkan data curah hujan historis diolah untuk menentukan hujan wilayah dan hujan rencana melalui distribusi probabilitas. Simulasi hidrologi dilakukan menggunakan HEC-HMS berbasis metode SCS Curve Number (CN) dan dikalibrasi dengan data observasi debit, dievaluasi menggunakan indikator NSE, RMSE, dan PBIAS untuk memastikan representasi hidrologi DAS Molibagu yang andal. Hasil simulasi antartahun dibandingkan untuk mengevaluasi kontribusi perubahan LULC dan variasi hujan terhadap kenaikan debit puncak

banjir, sehingga memberikan pemahaman kuantitatif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi risiko banjir di wilayah tersebut.

Kajian Karakteristik Hidrologi

Kajian karakteristik hidrologi dilakukan untuk menghitung debit banjir maksimum akibat hujan ekstrem di DAS Molibagu. Data curah hujan historis diolah menjadi hujan wilayah dengan metode Poligon Thiessen [1], kemudian dianalisis menjadi hujan rencana menggunakan distribusi probabilitas (Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log Pearson Type III) [2], [3]. Uji kesesuaian distribusi dilakukan dengan metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Kuadrat guna menentukan distribusi terbaik [3], [7].

Limpasan permukaan dihitung dengan metode Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) yang mempertimbangkan tata guna lahan, jenis tanah, dan kapasitas infiltrasi [10]. Perubahan tata guna lahan dari interpretasi citra satelit tahun 2011 dan 2020 digunakan untuk menentukan nilai CN [9]. Selanjutnya, debit banjir rencana dimodelkan dengan HEC-HMS v4.6.1 berbasis metode SCS-CN [11], [13].

Model yang dibangun kemudian dikalibrasi dengan data debit observasi lapangan, dan kinerjanya dievaluasi menggunakan indikator Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Percent Bias (PBIAS) [14], [15]. Evaluasi ini bertujuan memastikan keandalan model dalam merepresentasikan respon hidrologi DAS. Hasil pemodelan antarperiode dibandingkan untuk menilai kontribusi perubahan tata guna lahan terhadap peningkatan debit puncak banjir [6], [8].

METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan hidrologi berbasis **HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System)**. Pemodelan dilakukan untuk menganalisis dampak perubahan tata guna lahan (land use/land cover, LULC) terhadap debit banjir pada **DAS Molibagu, Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan**. Data masukan berupa curah hujan, peta penggunaan lahan, soil hydrologic group, serta data debit observasi digunakan untuk mengkalibrasi, memvalidasi, dan mensimulasikan debit banjir pada beberapa periode (2011 dan 2020).

Bagan Alir dan Detail Tahapan Penelitian Pengumpulan Data

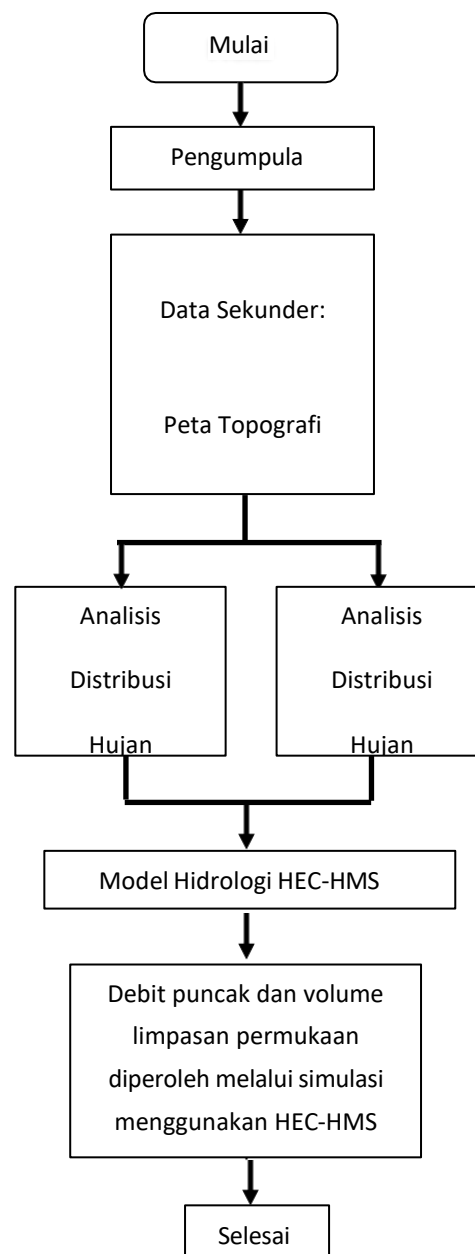
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari instansi pemerintah dan sumber resmi. Data curah hujan harian periode 2011–2020 dikumpulkan dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I (BWSS I) untuk dianalisis menjadi hujan wilayah dengan metode Poligon Thiessen serta digunakan dalam analisis frekuensi hujan rencana. Data debit sungai periode yang sama diperoleh dari stasiun hidrometri BWSS I di Sungai Molibagu, yang selanjutnya digunakan untuk proses kalibrasi (2011 dan 2020) model hidrologi HEC-HMS. Informasi spasial berupa peta topografi dan geologi diperoleh dari Badan Informasi

Geospasial (BIG) dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) untuk menganalisis kontur, elevasi, dan kondisi geologi DAS. Data tata guna lahan tahun 2011 dan 2020 diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Bappelitbangda, serta platform GISTARU milik ATR/BPN. Data ini digunakan dalam penentuan nilai *Curve Number* (CN) dengan mempertimbangkan kondisi LULC dan jenis tanah. Selain itu, data geospasial tambahan seperti batas DAS, luas area, dan titik koordinat diperoleh dari sistem SIG nasional dan daerah. Seluruh data yang terkumpul digunakan sebagai dasar analisis hidrologi dan pemodelan debit banjir dengan perangkat lunak HEC-HMS versi 4.6.1 menggunakan metode *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS-CN).

Tabel 1. Jenis dan sumber data

No.	Jenis Data	Deskripsi Penggunaan	Sumber Data
1	Data curah hujan dan debit sungai	Digunakan untuk menghitung hujan efektif, debit banjir rencana, dan kalibrasi model	Balai Wilayah Sungai Sulawesi I (BWSS I)
2	Peta topografi dan geologi	Menganalisis kontur, kelerengan, dan karakteristik tanah di wil	Badan Informasi Geospasial (BIG), Kementerian ESDM, Bappelitbangda
3	Peta tata guna lahan dan RTRW	Mengkaji perubahan penggunaan lahan dan kesesuaian tata ruang wilayah	KLHK, BIG, GISTARU (ATR/BPN), Bappelitbangda, Pemerintah Daerah
4	Data geospasial wilayah	Menyediakan informasi spasial seperti batas DAS, luas area, dan koordinat	BIG, Sistem Informasi Geospasial nasional dan daerah

Alur Metodologi dan Data Pendukung



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana di DAS Molibagu dilakukan melalui analisis frekuensi dengan menguji beberapa distribusi probabilitas, yaitu Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III. Uji kesesuaian dilakukan menggunakan metode Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorov untuk menilai kecocokan data observasi terhadap distribusi. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi Log-Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III memenuhi kriteria uji, sedangkan distribusi Normal tidak sesuai. Dari ketiga distribusi yang lolos, distribusi Gumbel dipilih karena menghasilkan nilai statistik uji yang paling mendekati batas kritis ($\chi^2 = 5,991$ pada $\alpha = 0,05$), sehingga dianggap paling representatif terhadap karakteristik data hujan setempat. Oleh karena itu, distribusi Gumbel digunakan sebagai dasar penentuan curah hujan rencana

untuk periode ulang yang dianalisis.

Tabel 2. Distribusi Curah Hujan Rancangan Metode Gumbel

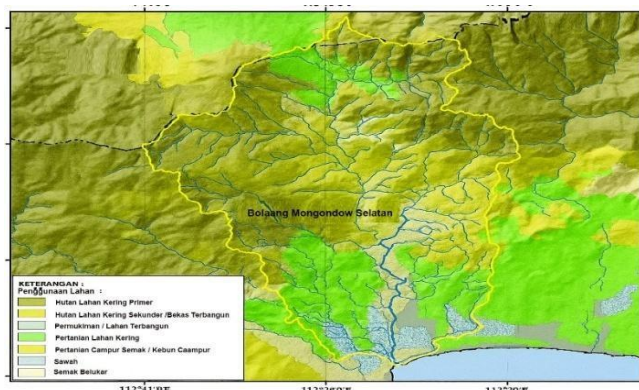
No	Periode Ulang	Hujan Rencana (mm)
1	2	111.28
2	5	151.02
3	10	177.33
4	25	210.57
5	50	235.23
6	100	259.71

Analisis Parameter Hidrologi

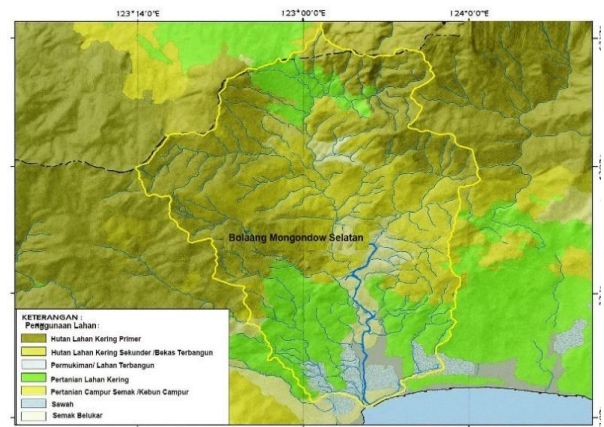
Analisis parameter hidrologi dilakukan untuk menilai perubahan respon limpasan akibat perubahan tata guna lahan. Nilai koefisien aliran (C) dihitung berdasarkan kondisi penggunaan lahan, jenis tanah, dan topografi, dengan hasil menunjukkan peningkatan nilai C pada tahun 2020 dibandingkan 2011, seiring bertambahnya area kedap air. Selanjutnya, nilai Curve Number (CN) ditentukan menggunakan metode SCS berdasarkan peta LULC dan jenis tanah DAS. Hasil analisis memperlihatkan kenaikan CN rata-rata dari tahun 2011 ke 2020, yang menunjukkan peningkatan potensi hujan menjadi aliran permukaan. Analisis perubahan LULC berbasis citra satelit dan RTRW juga menunjukkan penurunan luas hutan dan peningkatan lahan permukiman serta lahan terbuka. Secara keseluruhan, perubahan ini berkontribusi signifikan terhadap peningkatan limpasan permukaan dan risiko banjir di DAS Molibagu.

Karakteristik (C) Berdasarkan Tata Guna Lahan DAS

Tata guna lahan di DAS Molibagu bersifat heterogen, meliputi hutan, lahan pertanian, permukiman, serta area terbuka. Untuk itu, nilai koefisien aliran (C) ditentukan menggunakan pendekatan rata-rata tertimbang sesuai proporsi luas masing-masing penggunaan lahan. Nilai C selanjutnya dikaitkan dengan kondisi curah hujan, karena besarnya limpasan tidak hanya ditentukan oleh karakteristik LULC, tetapi juga oleh intensitas hujan rencana. Oleh karena itu, perhitungan dilakukan dengan mengintegrasikan kedua faktor utama tersebut, sehingga dapat menggambarkan kontribusi relatif perubahan penggunaan lahan terhadap peningkatan limpasan permukaan di DAS Molibagu.



Gambar 2. Tata guna lahan Eksisting DAS Molibagu 2011
Sumber : BIG Prov Sulut



Gambar 3. Tata guna lahan Eksisting DAS Molibagu 2020
Sumber : BIG Prov Sulut

Tabel 3. Perhitungan koefisien pengaliran C DAS Molibagu Tahun 2011 Berdasarkan Tata Guna Lahan

Jenis Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)	Nilai Koefisien Limpasan	
			C	Ci.Ai/A
Hutan lahan kering primer	7.15	14.14	0.03	0.0042
Hutan lahan kering sekunder / bekas terbangun	16.70	33.02	0.5	0.1651
Permukiman / Lahan terbangun	0.61	1.21	0.45	0.0054
Pertanian lahan kering	10.37	20.5	0.5	0.1025
Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur	8.78	17.37	0.7	0.1216
Sawah	1.96	3.89	0.15	0.0058
Semak belukar	4.99	9.87	0.07	0.0069
Total	50.58	100	C	0.412

Tabel 4. Perhitungan koefisien pengaliran C DAS Molibagu Tahun 2020 berdasarkan tata guna lahan

Jenis Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)	Nilai Koefisien Limpasan	
			C	Ci.Ai/A
Hutan lahan kering primer	7.15	14.14	0.03	0.0042
Hutan lahan kering sekunder / bekas tebangan	16.70	33.02	0.5	0.1651
Permukiman / Lahan terbangun	1.04	2.07	0.45	0.0093
Pertanian lahan kering	10.37	20.49	0.5	0.1024
Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur	8.78	17.37	0.7	0.1216
Sawah	1.89	3.76	0.15	0.0056
Semak belukar	4.62	9.15	0.07	0.0064
Total	50.58	100	C	0.415

Karakteristik CN Berdasarkan Tata Guna Lahan DAS Nilai Curve Number (CN) dipengaruhi oleh kombinasi antara jenis tanah dan kondisi penggunaan lahan. Semakin tinggi nilai CN, maka potensi limpasan permukaan (runoff) juga semakin besar, yang secara langsung berdampak pada peningkatan debit aliran. Tabel berikut menyajikan klasifikasi penggunaan lahan yang terdapat di wilayah DAS Molibagu, yang digunakan sebagai dasar dalam penentuan nilai CN pada masing- masing unit lahan.

Tabel 5. Nilai CN Berdasarkan Tata Guna Lahan Eksisting DAS Tahun 2011

Jenis Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)	Curver Number	
			CN Tiap Lahan	CN
Hutan lahan kering primer	7.15	14.14	32	452.43

Jenis Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)	Curver Number	
			CN Tiap Lahan	CN
Hutan lahan kering sekunder / bekas tebangan	16.70	33.02	36	1188.76
Permukiman / Lahan terbangun	0.61	1.21	59	71.24

Tabel 6. Nilai CN Berdasarkan Tata Guna Lahan Eksisting DAS Tahun 2020

Jenis Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)	Curver Number	
			CN Tiap Lahan	CN
Hutan lahan kering primer	7.15	14.14	32	452.43
Hutan lahan kering sekunder / bekas tebangan	16.70	33.02	36	1188.76
Permukiman / Lahan terbangun	1.04	2.07	59	122.32
Pertanian lahan kering	10.36	20.49	40	819.59
Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur	8.78	17.37	62	1076.8
Sawah	1.89	3.76	59	221.62
Semak belukar	4.62	9.15	37	338.67
Total	50.58	100	CN Tiap Lahan	42.2

Kajian Perubahan Penggunaan Lahan

Analisis perubahan tata guna lahan (LULC) di DAS Molibagu dilakukan untuk mengevaluasi dinamika pemanfaatan lahan dalam kurun waktu 2011–2020. Klasifikasi LULC diperoleh melalui interpretasi citra satelit yang diverifikasi dengan ground check point (GCP), kemudian diproses menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data pendukung diintegrasikan dengan dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) untuk memastikan konsistensi dengan kondisi aktual di

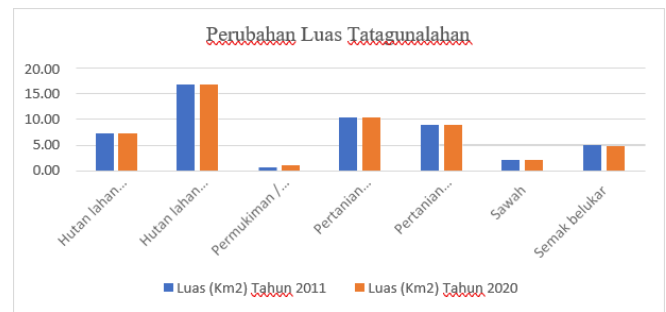
lapangan. Perbandingan hasil klasifikasi menunjukkan adanya konversi lahan hutan dan semak belukar menjadi permukiman, lahan terbuka, serta area pertanian. Perubahan ini berimplikasi langsung terhadap peningkatan nilai Curve Number (CN) dan koefisien aliran, yang pada gilirannya memperbesar potensi limpasan permukaan dan debit banjir. Ringkasan perubahan penggunaan lahan antara tahun 2011 dan 2020 ditampilkan pada Tabel berikut.

Tabel 7. Perubahan lahan tahun 2011 dan tahun 2020 DAS Molibagu

No	Tutupan Lahan	Luas (Km2)		Perubahan	
		Tahun 2011	Tahun 2020	(Ha)	(%)
1	Hutan lahan kering	7,15	7,15	0	0
2	Hutan lahan kering sekunder / bekas tebangan	16,70	16,70	0	0
3	Permukiman / Lahan	0,61	1,04	-0,44	-0,87
4	Pertanian lahan kering	10,37	10,36	0,01	0,01
5	Pertanian lahan kering campur semak / kebun campur	8,78	8,78	0	0
6	Sawah	1,97	1,89	0,07	0,14
7	Semak belukar	4,99	4,62	0,36	0,72
Total		50,58	50,58	0	0

Sumber : Analisis dengan Aplikasi Gis Menggunakan Peta RTRW Prov Sulut

Berdasarkan hasil analisis perubahan penggunaan lahan di DAS Molibagu periode 2011–2020, terjadi peningkatan luas lahan permukiman sebesar 0,44 hektar. Sebaliknya, kategori lahan pertanian kering, sawah, dan semak belukar mengalami penurunan masing-masing sebesar 0,01 hektar, 0,07 hektar, dan 0,36 hektar. Pergeseran fungsi lahan ini menunjukkan adanya konversi dari lahan vegetasi dan budidaya menuju lahan terbangun. Perubahan tersebut memiliki implikasi terhadap kondisi hidrologi DAS, khususnya dalam peningkatan limpasan permukaan yang berpotensi memengaruhi risiko banjir.



Grafik 1. Perubahan Luas Tata Guna Lahan Tahun 2011 Dan 2020



Grafik 2. Perubahan Luas Tata Guna Lahan Tahun 2011 dan 2020

Pemodelan HEC-HMS

Evaluasi Curah Hujan Berdasarkan Interval Waktu Jam-jaman evaluasi distribusi curah hujan jam-jaman dalam penelitian ini mengacu pada hasil kajian Reynaldo C. Kairupan et al. (2017) yang menganalisis karakteristik hujan di Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. Kajian tersebut menunjukkan bahwa pola hujan dominan berlangsung selama 7 jam, dengan intensitas yang terdistribusi berdasarkan bobot pada tiap jam. Pola ini digunakan sebagai dasar dalam simulasi hidrologi untuk merepresentasikan distribusi temporal hujan sesuai kondisi lokal wilayah studi.

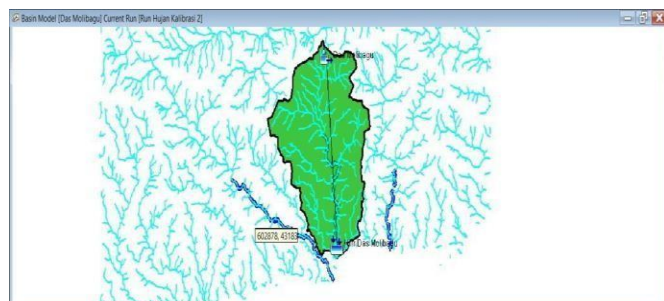
Tabel 8. Sebaran Hujan Jam-Jaman di Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan dan Area

Jam Ke-	1	2	3	4	5	6	7
% Distribusi Hujan	21	28	16	13	8	7	7
% Distribusi Hujan Kumulatif	21	49	65	78	86	93	100

Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nisbah hujan jam-jaman, dengan cara mengalikan distribusi relatif terhadap hujan efektif (R_n) yang telah ditentukan berdasarkan periode ulang tertentu.

Pemodelan dan Kalibrasi Hidrograf Debit Banjir DAS Molibagu

Kalibrasi model HEC-HMS dilakukan dengan menggunakan parameter awal yang diturunkan dari kondisi fisik DAS, seperti nilai Curve Number (CN), koefisien resesi aliran dasar, serta parameter penyimpanan dan waktu konsentrasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan debit hasil simulasi terhadap debit observasi pada hidrograf banjir aktual. Evaluasi kesesuaian dilakukan menggunakan indikator statistik, antara lain Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Coefficient of Determination (R^2). Jika nilai NSE mendekati 1, R^2 tinggi, dan RMSE rendah, maka model dianggap terkalibrasi dengan baik. Apabila hasil belum memenuhi kriteria, parameter disesuaikan secara bertahap hingga diperoleh kecocokan optimal. Setelah model tervalidasi, simulasi dilanjutkan untuk menghasilkan hidrograf banjir rancangan berdasarkan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu, yang diperoleh dari hasil analisis distribusi hujan dan penyusunan hietograf



Gambar 4. Ba Hasil Pemodelan Hidrologi Tahun 2011

Menggunakan HEC-HMSSin Model DAS Molibagu



Gambar 5. Hasil Global Summary



Gambar 6. Hasil Graph for Subbasin

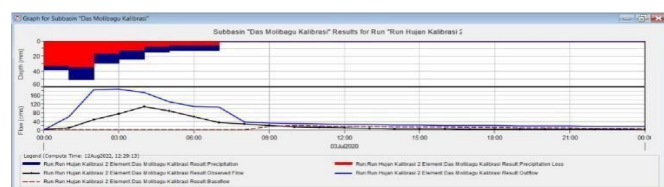


Gambar 7. Hasil Summary Result For Subbasin

Hasil Pemodelan Hidrologi Tahun 2020 Menggunakan HEC- HMS



Gambar 8. Hasil Global Summary



Gambar 9. Hasil Graph for Subbasin



Gambar 10. Hasil Summary Result For Subbasin

Hasil simulasi awal menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara debit model dengan debit observasi, terutama pada nilai puncak hidrograf. Untuk meningkatkan akurasi, dilakukan proses kalibrasi menggunakan fitur Optimization Trial pada HEC-HMS dengan penyesuaian parameter hidrologi utama, seperti Curve Number (CN), Initial Abstraction (Ia), Baseflow Recession Constant, dan Time of Concentration. Kalibrasi dilakukan secara bertahap melalui tujuh siklus percobaan hingga diperoleh kecocokan yang lebih baik antara debit hasil simulasi dan data observasi. Perbaikan terlihat terutama pada kesesuaian puncak debit dan bentuk rising limb hidrograf. Hasil perbandingan grafik setelah proses optimasi menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan kondisi aktual DAS Molibagu dengan tingkat kesalahan yang lebih rendah.

Hasil Kalibrasi Pemodelan Hidrologi Tahun 2011 Menggunakan HEC-HMS



Gambar 11. Hasil *Objective Function Summary*

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Das Molibagu Kalibrasi	Recession - Initial Discharge	M3/S	1.853	10.0000
Das Molibagu Kalibrasi	Recession - Ratio to Peak		0.18	1.00000
Das Molibagu Kalibrasi	Recession - Recession Constant		0.185	0.18000
Das Molibagu Kalibrasi	SCS Curve Number - Curve Number		42.04	42.000
Das Molibagu Kalibrasi	SCS Curve Number - Initial Abstraction	MM	70	68.000
Das Molibagu Kalibrasi	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	33.04	33.000

Gambar 12. Hasil *Optimized Parameter*

Computed Results	Observed Flow Data
Peak Discharge: 113.578 (M3/S)	Peak Discharge: 108.980 (M3/S)
Recession Volume: 286.000 (MM)	Recession Volume: 286.000 (MM)
Loss Volume: 146.286 (MM)	Loss Volume: 146.286 (MM)
Baseflow Volume: 6.460 (MM)	Baseflow Volume: 6.460 (MM)
Discharge Volume: 60.739 (MM)	Discharge Volume: 60.739 (MM)

Gambar 13. Hasil Summary Tabel DAS Molibagu

Tabel 9. Hasil Kalibrasi Parameter Hidrologi Model HEC-HMS Tahun 2011 di DAS Molibagu

Model	Sebelum Kalibrasi	Sesudah Kalibrasi
1 Initial Abstraction	70 mm	68 mm
2 Curve Number	42,04	42
3 Lag Time	33,04	33
4 Recession Constant	0,185	0,180
5 Ratio to Peak	0,18	0,11
6 Initial Discharge	1,85	10,1

Hasil Kalibrasi Pemodelan Hidrologi Tahun 2020 Menggunakan HEC-HMS.

Parameter	Value
Storage Area (MM)	30.38
Peak Discharge (M3/S)	108.980
Time of Peak	03Jul2020, 03:00
Volume (MM)	108.980

Gambar 14. Hasil *Objective Function Summary*

Measure	Simulated	Observed	Difference	Percent Difference
Volume (MM)	69.225	40.284	28.941	71.842
Peak Flow (M3/S)	134.823	108.980	25.843	23.713
Time of Peak	03Jul2020, 04:00	03Jul2020, 04:00		

Gambar 15. Hasil *Optimized Parameter*

Computed Results	Observed Flow Data
Peak Discharge: 113.578 (M3/S)	Peak Discharge: 108.980 (M3/S)
Recession Volume: 286.000 (MM)	Recession Volume: 286.000 (MM)
Loss Volume: 146.286 (MM)	Loss Volume: 146.286 (MM)
Baseflow Volume: 6.460 (MM)	Baseflow Volume: 6.460 (MM)
Discharge Volume: 60.739 (MM)	Discharge Volume: 60.739 (MM)

Gambar 16. Hasil *Summary* Tabel DAS Molibagu

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa hidrograf simulasi (garis biru) telah mendekati hidrograf observasi (garis hitam), terutama pada nilai puncak debit dan bentuk rising limb. Hal ini mengindikasikan bahwa parameter hasil optimasi mampu merepresentasikan kondisi hidrologi DAS Molibagu dengan baik. Model dinilai layak digunakan untuk analisis selanjutnya karena telah memenuhi kriteria kesesuaian. Oleh karena itu, parameter hasil kalibrasi dijadikan acuan dalam simulasi HEC-HMS untuk berbagai skenario hujan rencana dan periode ulang.

Evaluasi Model Hidrologi menggunakan metrik NSE, R^2 , RMSE, dan PBIAS

Evaluasi kinerja model HEC-HMS dilakukan untuk menilai sejauh mana hasil simulasi debit (simulated discharge) mampu merepresentasikan kondisi aktual debit observasi (observed discharge) pada DAS Molibagu. Pengujian dilakukan melalui proses kalibrasi dengan menyesuaikan parameter hidrologi utama seperti Curve Number (CN), initial abstraction, lag time, dan baseflow recession constant menggunakan fitur Optimization Trial pada perangkat lunak HEC-HMS. Hasil kalibrasi kemudian dievaluasi menggunakan beberapa parameter statistik utama, yaitu Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Percent Bias (PBIAS). Ketiga parameter ini digunakan secara luas dalam penilaian performa model hidrologi karena mampu menggambarkan tingkat efisiensi, besar deviasi dan arah bias antara hasil simulasi dan observasi (Moriyas et al., 2007; 2015).[17][18]

Tabel 10. Hasil Evaluasi Model HEC-HMS DAS Molibagu

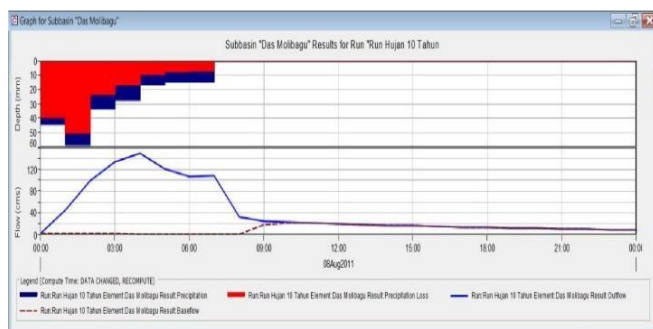
Tahun	Peak Discharge (Simulasi) (m ³ /s)	Peak Discharge (Observasi) (m ³ /s)	NSE	RMSE	PBIAS (%)	Kategori Kinerja
2011	93.08	98.86	0.812	0.434	26.46	Sangat Baik
2020	113.57	108.98	0.694	0.553	51.16	Baik

Perbandingan hasil pemodelan tahun 2011 dan 2020 menunjukkan perubahan respon hidrologi yang sejalan dengan dinamika tata guna lahan di DAS Molibagu. Nilai debit puncak simulasi mengalami peningkatan dari 93,08 m³/s (2011) menjadi 113,57 m³/s (2020), seiring dengan meningkatnya area terbangun dan berkurangnya vegetasi yang memperbesar limpasan permukaan. Kinerja model pada kedua periode menunjukkan hasil yang baik dengan nilai NSE sebesar 0,812 (2011) dan 0,694 (2020), serta RMSE masing-masing 0,434 dan 0,553. Nilai PBIAS sebesar 26,46% pada tahun 2011 dan 51,16% pada tahun 2020 menunjukkan kecenderungan model menghasilkan debit simulasi yang sedikit lebih tinggi dibanding observasi, namun masih dalam batas kelayakan untuk model hidrologi skala DAS tropis. Berdasarkan kriteria Moriasi et al. (2015) [18], nilai PBIAS $\leq \pm 55\%$ masih tergolong dapat diterima untuk model dengan kompleksitas spasial tinggi. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan karakteristik hidrologi DAS Molibagu dengan baik dan responsnya tetap stabil meskipun terjadi perubahan tata guna lahan.

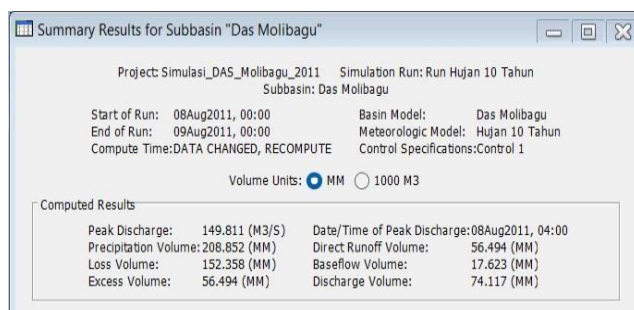
Simulasi Hidrologi sesudah memenuhi syarat Kalibrasi Hasil Simulasi Running HEC-HMS 2011



Gambar 17. Hasil Global Summary



Gambar 18. Hasil Graph for Subbasin



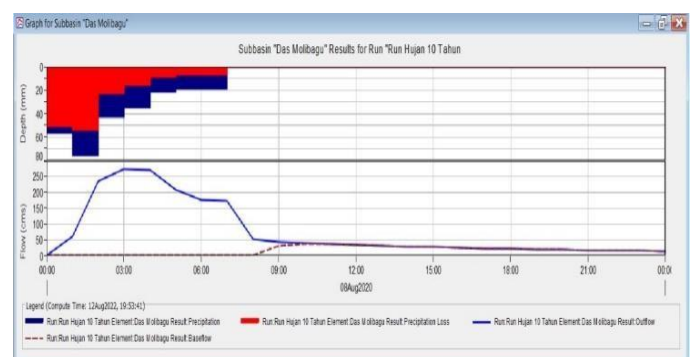
Gambar 19. Hasil Summary Result For Subbasin

Kala Ulang (Tahun)	Debit Puncak (m ³ /S)	Volum e Curah Hujan (mm)	Kehilanga n Volume (mm)	Kelebiha n Volume (mm)	Volume Limpasa n Langsun g (mm)	Alira n Dasa r (mm)	Volum e Debit (mm)
2	44,416	123,09	104,45	18,639	18,639	5,94	24,579
5	101,157	174,686	135,442	39,244	39,244	12,24	51,487
10	149,811	208,852	152,358	56,494	56,494	17,62	74,117
25	218,274	252,014	170,616	81,398	81,398	25,17	106,569
50	272,959	284,039	182,355	101,684	101,684	31,19	132,87
100	329,801	315,801	192,756	123,069	123,069	37,43	160,496

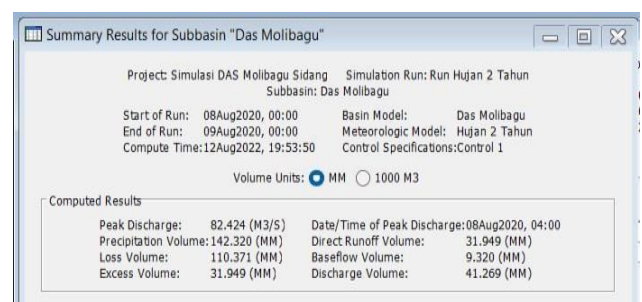
Hasil Simulasi Running HEC-HMS 2020



Gambar 20. Hasil Global Summary



Gambar 21. Hasil Graph for Subbasin



Gambar 22. Hasil Summary Result For Subbasin

Tabel 12. Hasil Kala Ulang model HEC-HMS Tahun 2020 pada DAS Molibagu

Kala Ulang (Thn)	Debit Puncak (m ³ /S)	Volume Curah Hujan (mm)	Kehilangan Volume (mm)	Kelebihan Volume (mm)	Volume Limpasan Langsung (mm)	Aliran Dasar (mm)	Volume Debit (mm)
2	82,424	142,32	110,371	31,949	31,949	9,32	41,269
5	189,628	218,8	146,974	71,826	71,826	20,14	91,966
10	275,534	269,44	165,818	103,622	103,622	28,78	132,397
25	403,352	333,43	185,334	148,096	148,096	41,55	189,642
50	505,416	380,89	197,447	183,443	183,443	51,71	235,151
100	611,474	428,01	207,914	220,096	220,096	62,24	282,333

Tabel 13. Faktor Estimasi Kontribusi terhadap Kenaikan Debit

Faktor	Perubahan	Estimasi Kontribusi terhadap Kenaikan Debit	Penjelasan
Hujan Rencana	Intensitas dan volume meningkat signifikan antara 2011–2020	±80%	Peningkatan hujan ekstrem memperbesar volume air masuk DAS
Tata Guna Lahan	CN & koefisien limpasan naik kecil (urbanisasi terbatas)	±20%	Kontribusi dari alih fungsi lahan ke permukiman

Hasil simulasi hidrologi tahun 2011 dan 2020 menunjukkan perubahan signifikan pada respon DAS terhadap hujan, dengan debit puncak meningkat dari 93,08 m³/s menjadi 113,57 m³/s. Kenaikan sebesar sekitar 22% ini menandakan peningkatan limpasan permukaan akibat kombinasi antara meningkatnya curah hujan dan perubahan tata guna lahan. Berdasarkan analisis, kontribusi terbesar berasal dari peningkatan intensitas dan volume hujan (±80%), sedangkan alih fungsi lahan ke area terbangun menyumbang sekitar ±20% terhadap kenaikan debit. Kinerja model secara umum tergolong baik, dengan nilai NSE 0,812 (2011) dan 0,694 (2020) yang menunjukkan tingkat kesesuaian hasil simulasi terhadap data observasi masih tinggi. Nilai RMSE meningkat dari 0,434 menjadi 0,553, menandakan sedikit peningkatan deviasi hasil simulasi, sementara PBIAS naik dari 26,46% menjadi 51,16%, menunjukkan model sedikit melebihi estimasi debit pada tahun 2020 akibat sensitivitas terhadap kondisi lahan dan curah hujan ekstrem. Secara keseluruhan, hasil kalibrasi dan validasi menunjukkan bahwa model hidrologi memiliki performa baik hingga sangat baik, dengan kemampuan representatif dalam menggambarkan respon DAS terhadap perubahan iklim dan penggunaan lahan. Peningkatan debit puncak dan nilai PBIAS yang lebih tinggi pada tahun 2020 menegaskan bahwa perubahan tata guna lahan dan intensitas hujan ekstrem telah meningkatkan limpasan serta risiko banjir di wilayah studi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis hidrologi pada DAS Molibagu untuk tahun 2011 dan 2020, diketahui bahwa terjadi perubahan respon hidrologi yang cukup signifikan dalam kurun waktu sembilan tahun. Debit puncak hasil simulasi meningkat dari 93,08 m³/s (2011) menjadi 113,57 m³/s (2020) atau mengalami kenaikan sekitar 22%, yang terutama disebabkan oleh kombinasi dua faktor utama, yaitu peningkatan intensitas dan volume hujan rencana (±80%) serta perubahan tata guna lahan (±20%) berupa berkurangnya area vegetasi alami dan meningkatnya area terbangun yang menyebabkan koefisien limpasan lebih tinggi. Dari sisi performa model, hasil kalibrasi menunjukkan nilai NSE sebesar 0,812 (2011) dan 0,694 (2020) yang tergolong sangat baik dan baik menurut kriteria Moriasi et al. (2007). Nilai RMSE sebesar 0,434 (2011) dan 0,553 (2020) menunjukkan deviasi antara hasil simulasi dan observasi relatif kecil, sedangkan PBIAS sebesar 26,46% (2011) dan 51,16% (2020) menunjukkan adanya sedikit kecenderungan model dalam melebihi estimasi debit, namun masih dalam batas kelayakan untuk studi hidrologi berskala DAS menengah. Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa model hidrologi yang digunakan layak dan representatif dalam menggambarkan respon DAS Molibagu terhadap variasi curah hujan dan perubahan tata guna lahan. Peningkatan debit puncak dan limpasan permukaan di DAS Molibagu lebih dominan dipengaruhi oleh perubahan intensitas hujan, sementara urbanisasi dan penurunan area resapan turut memperkuat potensi peningkatan debit puncak. Hal ini menegaskan pentingnya pengelolaan tata guna lahan dan konservasi daerah tangkapan air secara terpadu untuk menjaga stabilitas hidrologi dan mengurangi risiko banjir dimasa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bedient, P. B., Huber, W. C., & Vieux, B. E. (2019). *Hydrology and floodplain analysis* (7th ed.). Pearson.
- [2] Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill.
- [3] Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- [4] Detik News. (2025, September 29). Banjir bandang terjang Bolsel Sulut, 29 rumah hanyut, 1 jembatan rusak. Detik News. <https://news.detik.com/berita/d-5116670/banjir-bandang-terjang-bolsel-sulut-29-rumah-hanyut-1-jembatan-rusak>
- [5] Ficklin, D. L., Stewart, I. T., Maurer, E. P., & Pierce, D. W. (2012). Climate change impacts on streamflow and hydroclimatology in the western United States. *Journal of Hydrology*, 412–413, 228–245. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.037>
- [6] Kumar, S., & Singh, R. D. (2020). Land use/land cover changes and their impact on flood risk: A review. *Environmental Monitoring and*

- Assessment, 192, 1–15.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08211-7>
- [7] Maidment, D. R. (1993). Handbook of hydrology. McGraw-Hill.
- [8] Olsen, J. R., & Refsgaard, J. C. (2017). Assessing uncertainty in rainfall–runoff modelling for ungauged basins. *Hydrological Processes*, 31, 1234–1248. <https://doi.org/10.1002/hyp.11045>
- [9] Rahman, A., & Abdullah, M. (2021). Integrating GIS and remote sensing for flood risk analysis and management. *Journal of Environmental Management*, 293, 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112923>
- [10] SCS – Soil Conservation Service. (1972). National engineering handbook, Section 4: Hydrology. USDA Soil Conservation Service.
- [11] US Army Corps of Engineers. (2000). HEC-HMS hydrologic modeling system: Technical reference manual. Hydrologic Engineering Center.
- [12] US Army Corps of Engineers. (2016). HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual. Hydrologic Engineering Center.
- [13] Zhang, L., Wang, Y., & Liu, Y. (2022). Hydrological modeling under land use change: A case study using HEC- HMS. *Water*, 14(3), 345. <https://doi.org/10.3390/w14030345>.
- [14] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, dan T. L. Veith, “Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations,” *Transactions of the ASABE*, vol. 50, no. 3, hlm. 885–900, 2007. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- [15] D. R. Legates dan G. J. McCabe, “Evaluating the use of ‘goodness-of-fit’ measures in hydrologic and hydroclimatic model validation,” *Water Resources Research*, vol. 35, no. 1, hlm. 233–241, 1999. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
- [16] Kairupan, R. C., Limi, M. A., & Supit, S. (2017). Analisis Pola Distribusi Hujan Jam-jaman di Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 465–472.
- [17] Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- [18] Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763–1785.