

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Studi ini dilakukan di Sub-DAS Pengarengan yang terletak di Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur. DAS Pengarengan ini sendiri terletak di Hulu dari DAS Bedadung dengan koordinat $8.03^{\circ} - 8.15^{\circ}$ LS dan $113.67^{\circ} - 113.72^{\circ}$ BT. Kondisi geografis, iklim, dan dinamika penggunaan lahan tersebut menjadikan Sub-DAS Pengarengan relevan sebagai lokasi penelitian untuk mengkaji pengaruh ketelitian batas DAS terhadap hasil analisis hidrograf satuan.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Berikut terdapat tabel 3.1 yang berisi penjelasan data yang digunakan untuk penelitian ini

Tabel 3.1 Pengumpulan Data Penelitian

Data	Jenis Data	Deskripsi
Data Spasial	SRTM	SRTM merupakan salah satu produk citra satelit berupa data elevasi yang memiliki resolusi 30 meter.

Data	Jenis Data	Deskripsi
	COPERNICUS	Copernicus DEM merupakan produk elevasi global, produk ini tersedia dalam beberapa resolusi, antara lain 10 m dan 30 m, serta dikembangkan dari data TanDEM-X. Data ini dapat diunduh pada web resmi ESA Copernicus.
	NASADEM	NASADEM merupakan salah satu produk citra satelit berupa data elevasi yang memiliki resolusi 30 meter. Data ini dapat diunduh pada web resmi USGS EarthExplorer.
Data Lapangan	(Tracking) menggunakan GPS Garmin 78s	Data empiris yang diperoleh langsung dari hasil observasi di lokasi studi. Dalam penelitian ini, data primer berupa rekam jejak lintasan koordinat (tracking) menggunakan GPS Garmin 78s. Proses tracking dilakukan dengan menyusuri langsung alur sungai

Data	Jenis Data	Deskripsi
		utama dan beberapa titik punggung pemisah air di Sub-DAS Pengarengan. Data rekam jejak ini akan menjadi standar kebenaran lapangan (ground truth) untuk mengukur deviasi atau kesalahan posisi dari hasil delineasi.
	Data Tinggi Muka	Data Tinggi Muka
	Air	Air yang diambil dari UPT Pengairan.
	Data Hujan	Data Hujan diambil dari UPT pengairan.

3.3 Tahapan Penelitian

1. Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian merupakan cara pandang yang digunakan oleh peneliti untuk menyusun, melaksanakan, dan menganalisis sebuah penelitian. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang dipadukan dengan analisis spasial dan pemodelan hidrologi empiris. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan tujuan utama penelitian, yaitu untuk menilai secara objektif dan terukur seberapa besar pengaruh ketelitian batas Daerah Aliran Sungai (DAS) dari berbagai citra satelit terhadap hasil perhitungan hidrograf limpasan di DAS Pengarengan.

a. Pendekatan Kuantitatif

Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik. Data seperti luas DAS, panjang sungai utama, debit puncak (Q_p), waktu ke puncak (T_p), dan volume limpasan dihitung dan dianalisis menggunakan rumus-rumus matematis.

Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mendapatkan hasil yang bersifat

objektif, dapat diukur, dan dapat dibandingkan antar berbagai versi batas DAS.

b. Pendekatan Spasial

Pendekatan spasial diterapkan karena penelitian ini melibatkan data dan informasi geografis yang diproses menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Penggunaan pendekatan spasial memungkinkan peneliti untuk menilai tidak hanya luas DAS, tetapi juga bentuk, lokasi, dan kesesuaian posisi batas DAS yang dihasilkan dari tiap citra satelit. Analisis ini penting karena kesalahan spasial dalam batas DAS dapat menyebabkan perbedaan signifikan dalam estimasi limpasan.

c. Pendekatan Hidrologi Empiris

Pendekatan hidrologi empiris digunakan karena penelitian ini juga bertujuan untuk menyimulasikan limpasan hujan dalam bentuk hidrograf. Model hidrologi yang digunakan adalah metode Nakayasu, yang merupakan metode empiris untuk menyusun hidrograf satuan berdasarkan parameter fisik DAS dan data hujan efektif.

Metode Nakayasu dipilih karena praktis digunakan pada wilayah yang tidak memiliki data aliran harian lengkap, namun tetap membutuhkan estimasi debit banjir yang dapat diandalkan untuk keperluan analisis. Dengan pendekatan ini, output hidrograf dari masing-masing delineasi DAS dapat dihitung dan dibandingkan secara sistematis.

Melalui penggabungan ketiga pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan hasil yang bersifat numerik, tetapi juga menyajikan analisis yang komprehensif, mulai dari pemrosesan data spasial, perhitungan debit limpasan, hingga interpretasi pengaruh ketelitian batas DAS terhadap keluaran hidrograf yang dihasilkan.

2. Pengolahan dan Delineasi Batas DAS dari Citra Satelit

Delineasi batas Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan proses awal yang sangat penting dalam penelitian ini karena hasilnya akan menjadi dasar untuk seluruh analisis berikutnya, termasuk simulasi limpasan dan perbandingan terhadap data referensi. Dalam konteks penelitian ini, delineasi dilakukan dengan

menggunakan data model elevasi digital (Digital Elevation Model/DEM) dari tiga sumber citra satelit, yaitu SRTM, NASADEM, dan COPENICUS.

Setiap citra satelit memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari segi resolusi spasial, metode pengukuran elevasi, maupun kualitas data. Oleh karena itu, proses delineasi dilakukan secara hati-hati dan sistematis agar hasil dari masing-masing citra dapat dibandingkan secara adil dan objektif.

a. Tujuan Delineasi

Tujuan dari proses delineasi adalah untuk membentuk batas wilayah tangkapan hujan (catchment area) dari DAS Pengarengan berdasarkan permukaan topografi. Wilayah ini merupakan area yang seluruh alirannya bermuara ke satu titik tertentu (outlet), dan luas serta bentuknya akan sangat memengaruhi perhitungan limpasan.

b. Perangkat Lunak dan Alat yang Digunakan

- a) Sistem Informasi Geografis (SIG): digunakan untuk memproses DEM, menganalisis aliran, dan membentuk batas DAS.
- b) *Hydrology Tools*: untuk membuat flow direction, flow accumulation, dan delineasi otomatis.

c. Tahapan Proses Delineasi

a) Pra-pemrosesan DEM

Setiap DEM (SRTM dan Copernicus) terlebih dahulu dipersiapkan dengan cara mengisi depresi atau cekungan palsu (sink filling) untuk memastikan arah aliran air dapat dibentuk dengan benar.

b) Analisis Arah dan Akumulasi Aliran

- *Flow Direction*: digunakan untuk menentukan arah aliran dari setiap piksel DEM berdasarkan nilai elevasinya.
- *Flow Accumulation*: digunakan untuk menghitung berapa banyak aliran yang terakumulasi di setiap sel, sehingga dapat diketahui jalur utama aliran sungai.

c) Penentuan Titik Outlet DAS

Titik *outlet* (*pour point*) ditentukan secara manual berdasarkan lokasi hilir DAS Pengarengan yang dapat dilihat dari peta sungai atau data

topografi. Titik ini menjadi acuan untuk menentukan batas wilayah tangkapan.

d) Pembuatan Batas DAS

Menggunakan perintah “*Watershed*” atau “Basin” dalam perangkat lunak SIG, dibuat batas wilayah DAS berdasarkan arah dan akumulasi aliran menuju outlet.

e) Koreksi Visual

Setelah batas otomatis terbentuk, dilakukan pengecekan secara visual untuk memastikan bahwa batas DAS sejajar dengan kenampakan alami seperti punggung, lereng, dan garis aliran sungai yang terlihat jelas secara spasial.

3. Analisis Ketelitian Spasial Menggunakan RMSE

Tahapan ini adalah langkah penting dalam memverifikasi dan memvalidasi hasil dari pengolahan perangkat lunak. Garis batas Daerah Aliran Sungai (DAS) dan saluran sungai yang diperoleh dari proses delineasi otomatis untuk sembilan skenario *Digital Elevation Model* (DEM) (tiga tipe DEM dengan resolusi asli dan hasil *resampling* 10m, 20m, dan 30m) ditumpangkan pada titik atau garis koordinat yang diambil dari rekaman GPS Garmin 78s di lokasi. Pergeseran letak (deviasi posisi) dievaluasi menggunakan analisis statistik *Root Mean Square Error* Horizontal (RMSE_h) dan *Root Mean Square Error* Vertikal (RMSE_v). Model DEM yang menunjukkan nilai RMSE_h dan RMSE_v terendah akan dipilih sebagai representasi topografi yang paling tepat dan mencerminkan kondisi nyata di lapangan.

4. Parameter Morfometri Sub-DAS

Sebelum melakukan simulasi hidrograf, perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik fisik dari masing-masing versi DAS. Parameter-parameter ini sangat penting karena digunakan dalam rumus-rumus metode Nakayasu untuk menghitung debit banjir. Nantinya Setiap parameter dihitung untuk masing-masing versi batas DAS (SRTM, NASADEM, COPERNICUS) agar simulasi limpasan pada tahap berikutnya bisa dilakukan secara konsisten dan adil. Beberapa parameter utama yang dihitung antara lain:

- a. Luas DAS (A): dihitung otomatis dalam GIS, satuan km².
- b. Panjang alur sungai utama (L): diukur dari titik hulu hingga *outlet* DAS.
- c. Kemiringan rata-rata (S): dihitung dari data elevasi, sebagai indikator kecepatan aliran.
- d. Koefisien limpasan (C): ditentukan berdasarkan jenis tutupan lahan. Misalnya, kawasan hutan memiliki nilai C rendah, sedangkan kawasan terbangun memiliki nilai lebih tinggi.

5. Pengolahan Data Curah Hujan

Pengolahan data curah hujan dilakukan untuk memperoleh input hujan yang representatif terhadap respon hidrologi Sub-DAS Pengarengan. Tahapan pengolahan data curah hujan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Data curah hujan dikumpulkan dari beberapa stasiun hujan yang berada di sekitar wilayah Sub-DAS Pengarengan. Pemilihan stasiun hujan didasarkan pada ketersediaan data yang lengkap serta kedekatan lokasi terhadap wilayah DAS. Stasiun-stasiun yang digunakan merupakan stasiun yang secara spasial dapat merepresentasikan kondisi curah hujan di dalam dan sekitar daerah tangkapan.
- b. Perhitungan hujan wilayah dilakukan menggunakan metode poligon Thiessen. Metode ini digunakan karena stasiun hujan memiliki sebaran spasial yang tidak merata, sehingga setiap stasiun perlu diberi bobot berdasarkan luas wilayah pengaruhnya. Pembuatan poligon Thiessen dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan mengacu pada batas DAS yang telah dipilih berdasarkan hasil validasi spasial. Hasil dari proses ini berupa pembagian wilayah pengaruh masing-masing stasiun hujan dan nilai bobot yang digunakan dalam perhitungan hujan wilayah.
- c. Penentuan kejadian hujan dilakukan dengan meninjau data hujan harian dan mencocokkannya dengan tanggal kejadian banjir. Kejadian hujan yang dipilih merupakan kejadian yang menunjukkan respon kenaikan debit secara jelas pada data debit, sehingga hubungan antara hujan dan debit dapat dianalisis pada kejadian yang sama. Pendekatan ini digunakan karena penelitian berfokus pada analisis hidrograf berbasis kejadian (*event-based*).

- d. Data curah hujan dari setiap stasiun pada kejadian yang telah ditentukan kemudian dikalikan dengan bobot Thiessen untuk memperoleh hujan wilayah. Nilai ini digunakan sebagai representasi curah hujan harian pada kejadian yang dianalisis.
- e. Data hujan wilayah yang masih berbentuk harian selanjutnya didistribusikan menjadi hujan jam-jaman menggunakan metode Mononobe. Durasi hujan ditentukan dengan mempertimbangkan waktu konsentrasi Sub-DAS yang diperoleh dari parameter panjang sungai utama dan kemiringan sungai utama hasil delineasi. Total hujan hasil distribusi disesuaikan agar tetap sama dengan hujan wilayah awal.
- f. Hujan jam-jaman hasil distribusi kemudian digunakan untuk menghitung hujan efektif. Perhitungan hujan efektif dilakukan dengan mengalikan hujan jam-jaman dengan koefisien limpasan (C) yang ditentukan berdasarkan tata guna lahan Sub-DAS Pengarengan mengacu pada Kodoatie dan Sjarief (2005). Hujan efektif ini merepresentasikan bagian hujan yang berkontribusi menjadi limpasan langsung.
- g. Hujan efektif jam-jaman yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai input dalam pembentukan hidrograf limpasan sintetik metode Nakayasu. Hidrograf limpasan tersebut kemudian digunakan untuk menggambarkan respon aliran terhadap kejadian hujan yang dianalisis.

6. Perhitungan HSS Nakayasu dan Pembentukan Hidrograf Limpasan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dan pembentukan hidrograf limpasan sintetik. Perhitungan HSS Nakayasu terlebih dahulu dilakukan menggunakan hujan satuan sebesar 1 mm untuk memperoleh karakteristik dasar respon hidrograf dari masing-masing skenario DEM dan resolusi. Selanjutnya, HSS Nakayasu tersebut dikembangkan menjadi hidrograf limpasan dengan menggunakan hujan jam-jaman hasil distribusi Mononobe. Tahapan perhitungan dilakukan sebagai berikut.

- a. Menyiapkan data parameter morfometri Sub-DAS meliputi, luas Sub-DAS (A), panjang alur sungai utama (MSL), dan kemiringan sungai (MSS).

- b. Menentukan parameter hidrologi yang diperlukan dalam metode Nakayasu, meliputi, waktu kelambatan (*time lag*/Tg), waktu puncak (Tp), waktu resesi atau waktu penurunan hidrograf (T0,3/TLL), dan debit puncak (Qp). Nilai parameter tersebut dihitung berdasarkan karakteristik morfometri dari masing-masing hasil delineasi, sehingga setiap DEM dan resolusi menghasilkan parameter HSS yang berbeda.
- c. Menyusun HSS Nakayasu dengan hujan satuan sebesar 1 mm. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dasar hidrograf satuan, meliputi bagian naik (*rising limb*) dan bagian turun (*recession limb*). Hasil HSS satuan digunakan untuk membandingkan pengaruh parameter morfometri terhadap respon dasar hidrograf.
- d. Membentuk hidrograf limpasan sintetik dengan menerapkan distribusi hujan jam-jaman hasil Mononobe terhadap HSS Nakayasu. Pada tahap ini, HSS satuan dikembangkan menjadi hidrograf limpasan yang merepresentasikan respon DAS terhadap kejadian hujan aktual yang dianalisis.
- e. Melakukan plot hidrograf untuk masing-masing skenario DEM dan resolusi. Grafik hidrograf digunakan untuk melihat perbedaan bentuk hidrograf, waktu puncak, debit puncak, serta pola resesi yang dihasilkan dari variasi sumber DEM dan resolusi.
- f. Hidrograf limpasan sintetik yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam tahap validasi dan evaluasi terhadap hidrograf limpasan langsung hasil pengolahan data debit puncak.

7. Analisis Variasi Output Hidrograf Akibat Variasi Citra Satelit

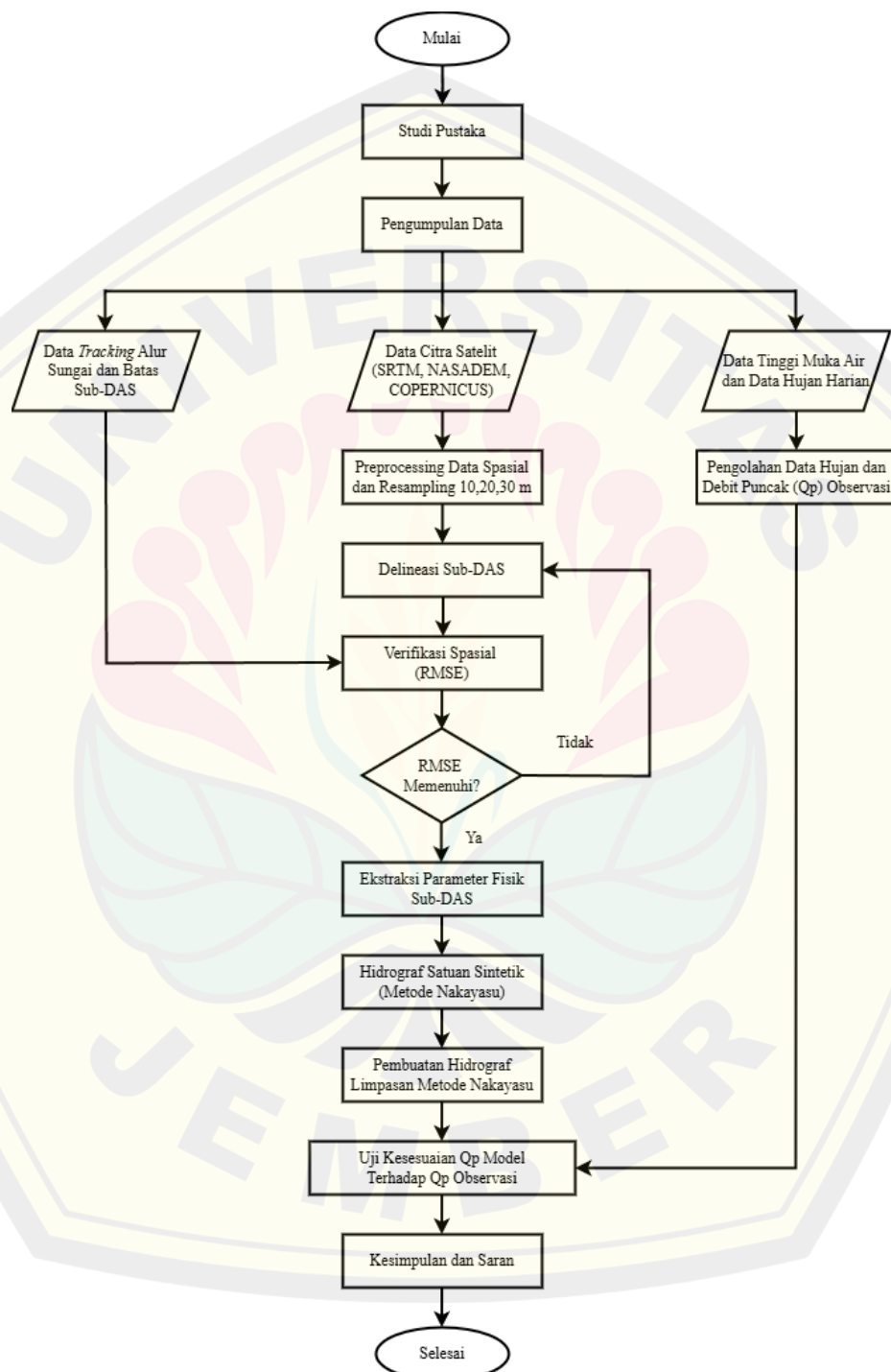
Tahap terakhir adalah analisis perbandingan untuk menilai pentingnya efek pemilihan data DEM terhadap hasil hidrologi. Pada fase ini, kurva hidrograf dari semua variasi DEM digambarkan secara bersamaan untuk mengamati variasi perbedaan (sensitivitas) debit puncak (Qp) dan waktu kelambatan. Temuan dari fase ini akan memberikan kesimpulan yang jelas tentang sejauh mana ketepatan geometri suatu DEM berpengaruh pada akurasi perhitungan debit limpasan dalam desain infrastruktur air.

8. Uji Kesesuaian Q_p Model Terhadap Q_p Observasi

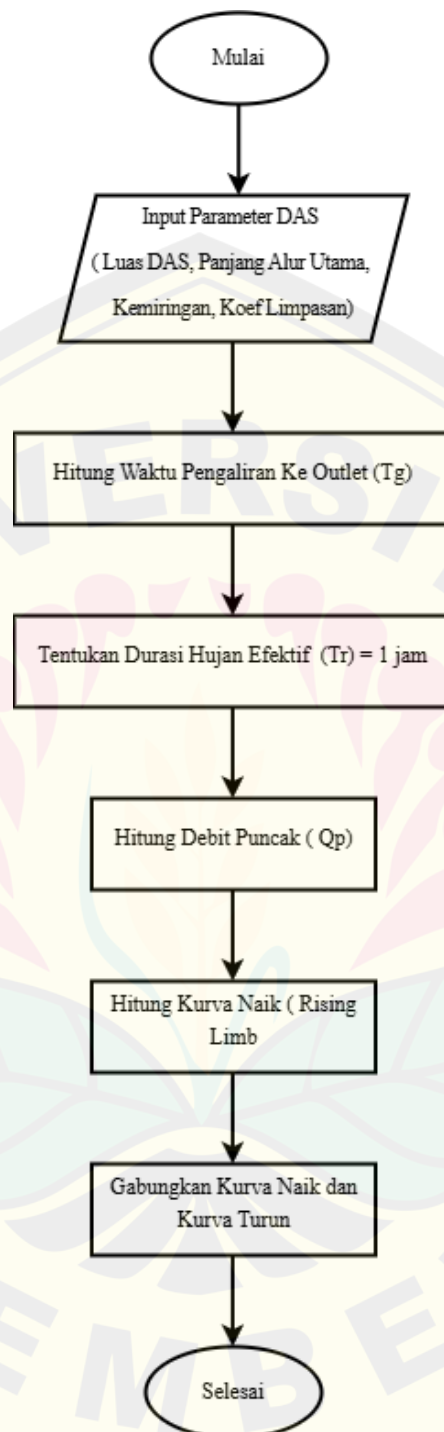
Pada tahap ini dilakukan uji kesesuaian debit puncak (Q_p) yang dihasilkan permodelan terhadap debit puncak (Q_p) observasi. Uji kesesuaian dilakukan dengan metode *Percentage Error in Peak Flow* (PEPF), untuk mengkuantifikasi persentase penyimpangan (kesalahan relatif) antara debit puncak hasil pemodelan terhadap debit puncak observasi.

9. Kesimpulan dan Saran

Penyusunan kesimpulan dan saran dilakukan setelah seluruh hasil analisis spasial, perhitungan HSS Nakayasu, pembentukan hidrograf limpasan, serta evaluasi terhadap data debit puncak selesai dilakukan. Kesimpulan disusun berdasarkan rumusan masalah dan hasil analisis, sedangkan saran diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan HSS Nakayasu

3.4 Jadwal Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Tahun 2026																							
		Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tahapan Persiapan																									
1	Konsultasi Topik Penelitian																								
2	Studi Pustaka																								
3	Pengumpulan Data (Data DEM SRTM, COPERNICUS, NASADEM)																								
Tahapan Persiapan																									
1	Pengumpulan Data Lapangan (Trancking GPS, Debit Observasi)																								
Olah Data																									
1	Preprocessing Data Spasial																								
2	Overlay Data																								
3	Delineasi Sub-DAS																								
4	Validasi Spasial Menggunakan RMSE																								
5	Perhitungan parameter fisik Sub-DAS																								
6	Pembuatan HSS Metode Nakayasu																								
7	Pengolahan Data Hujan dan Simulasi Hidrograf Limpasan Nakayasu																								
8	Uji Kesesuaian Debit Model Terhadap Debit Observasi																								
9	Kesimpulan dan Saran																								

Gambar 3.4 Jadwal Penelitian