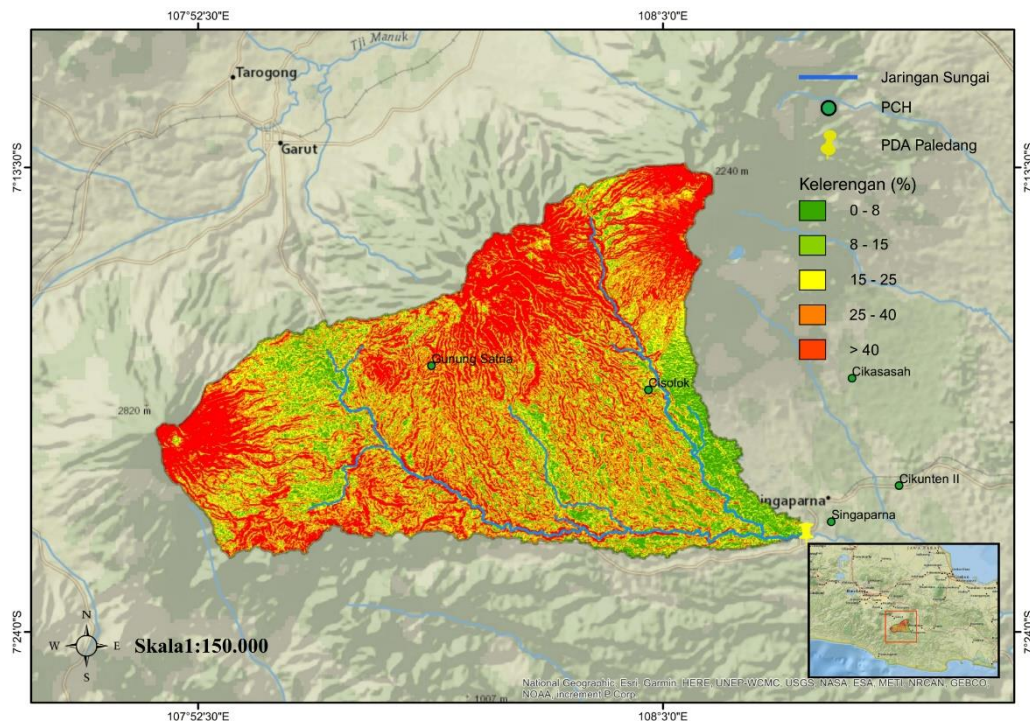


3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di DAS Ciwulan hulu dengan PDA Paledang sebagai titik pengamatan. Secara administratif, sebagian besar wilayah sungai berada di Kabupaten Ciamis, Kabupaten Tasikmalaya, dan Kabupaten Garut. Area penelitian berfokus pada titik *outlet* PDA Paledang yang terletak di Kecamatan Mangunreja, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis, PDA Paledang terletak pada koordinat $7^{\circ} 21' 50.677''$ LS dan $108^{\circ} 6' 11.088''$ BT. Lokasi penelitian ini menunjukkan berada di wilayah DAS Ciwulan bagian hulu, yaitu dengan luas tinjauan 25.276,42 ha.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan langkah awal untuk mendapatkan data yang valid sesuai dengan kebutuhan penelitian. Langkah ini dilakukan setelah melakukan identifikasi masalah, sehingga tersusun data apa saja yang akan dikumpulkan. Teknik pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan langsung oleh peneliti di lapangan. Penelitian ini tidak menggunakan data primer, yang diperlukan hanya berupa data sekunder. Penjelasan lebih lanjut mengenai jenis data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada sub-bab berikutnya.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dan dipublikasikan oleh pihak lain. Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan dari instansi terkait untuk memperoleh data-data yang dapat mendukung penelitian. Data sekunder yang diperlukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Digital Elevation Model* (DEM) berupa DEM Nasional yang digunakan berasal dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
2. Data curah hujan harian tahun 2019, 2020, 2021, dan 2022 pada PCH Cisolok, PCH Gunung Satria, dan PCH Singaparna yang diperoleh dari UPTD PSDA Wilayah Sungai Ciwulan – Cilaki.
3. Data debit sungai harian tahun 2019, 2020, 2021, dan 2022 pada PDA Paledang yang diperoleh dari UPTD PSDA Wilayah Sungai Ciwulan – Cilaki.
4. Data jenis tanah di DAS Ciwulan Hulu PDA Paledang bersumber dari *Digital Soil Map of the World* (DSMW) yang diterbitkan oleh Food and Agriculture Organization (FAO).
5. Data tutupan lahan di DAS Ciwulan Hulu PDA Paledang menggunakan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) tahun 2019 yang berasal dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
6. Data klimatologi dalam skala waktu harian dari data reanalisis ERA-5 Land yang diproduksi oleh European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

Berikut ditunjukkan pada Tabel 3.1 daftar data yang dibutuhkan dilengkapi dengan keterangan.

Tabel 3.1 Jenis Data, Sumber Data, dan Kegunaannya

No	Data	Sumber	Keterangan
1	<i>Digital Elevation Model</i> Nasional (DEMNAS)	Badan Informasi Geospasial (BIG)	Analisis delineasi DAS dalam pemodelan sungai menggunakan SWAT.
2	Data Curah Hujan Harian	UPTD PSDA Wilayah Sungai Ciwulan – Cilaki	Analisis hidrologi.
3	Data Debit Sungai	UPTD PSDA Wilayah Sungai Ciwulan – Cilaki	Analisis validasi hasil simulasi debit sungai dari model SWAT.
4	Data Jenis Tanah	Food and Agriculture Organization (FAO)	Masukan data dalam pemodelan berdasarkan karakteristik infiltrasi tanah menggunakan SWAT.
5	Data Tutupan Lahan	Badan Informasi Geospasial (BIG)	Analisis penggunaan lahan dalam pemodelan debit sungai menggunakan SWAT.
6	Data Klimatologi	ECMWF (ERA-5 Land) via Copernicus	Masukan data dalam pemodelan debit sungai menggunakan SWAT.

3.3 Alat Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa jenis alat penelitian, termasuk perangkat keras dan perangkat lunak untuk mendukung proses pengumpulan data, pengolahan data geospasial, pembangunan model hidrologi, hingga analisis statistik dan visualisasi hasil. Perangkat keras yang digunakan meliputi satu unit media

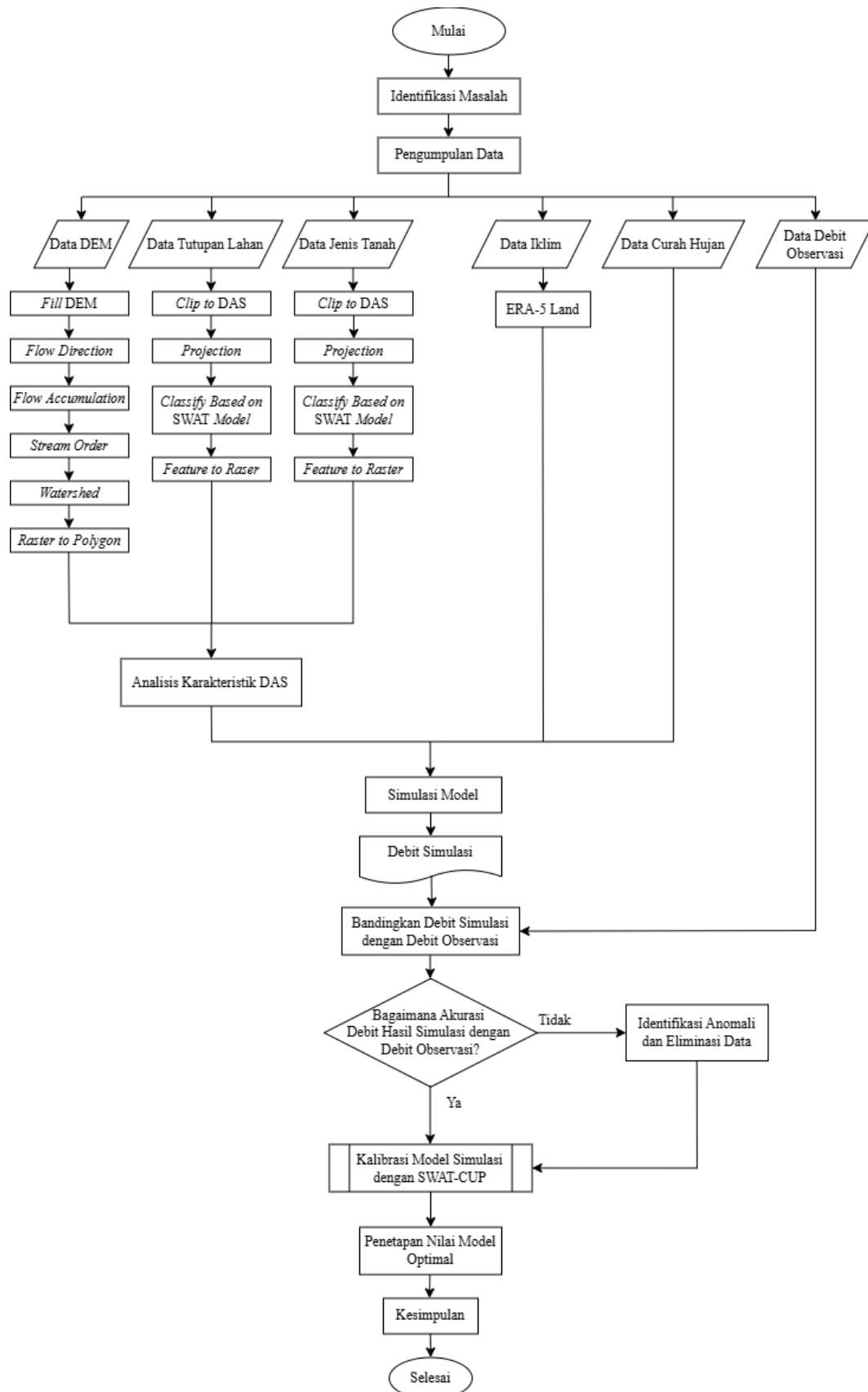
laptop dan akses internet. Media laptop digunakan sebagai stasiun kerja utama untuk menjalankan perangkat lunak pemodelan serta sebagai perangkat penyimpanan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Akses internet diperlukan untuk proses pengunduhan perangkat lunak, data spasial dan data iklim, serta untuk kebutuhan pencarian sumber literatur dan referensi yang berkaitan dengan penelitian ini.

Perangkat lunak sebagai alat bantu utama dalam penelitian ini digunakan untuk pemodelan dan analisis data. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, Microsoft Word, Microsoft Excel, QGIS 3.44.3, SWAT 2.0.1, dan SWAT-CUP. Microsoft Word digunakan untuk penulisan laporan, interpretasi hasil, serta dokumentasi penelitian. Microsoft Excel digunakan sebagai media pengolahan data analisis hidrologi, perhitungan statistik kinerja model, dan penyusunan data masukan model.

QGIS digunakan untuk mengolah manajemen data spasial dan analisis karakteristik wilayah secara umum, serta sebagai antarmuka grafis utama untuk menjalankan *plugin* QSWAT. QSWAT digunakan untuk membentuk *Hydrologic Response Unit* (HRU), masukan parameter spasial dan klimatologi, serta melakukan simulasi debit sungai. SWAT-CUP digunakan untuk kalibrasi serta proses optimasi parameter hidrologi pada model debit simulasi.

3.4 Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan untuk mentransformasikan sekumpulan data spasial dan temporal menjadi sebuah model hidrologi yang representatif bagi DAS Ciwulan. Analisis data diawali dengan pengolahan karakteristik fisik DAS guna menjamin kualitas data masukan sebelum diintegrasikan ke dalam sistem pemodelan SWAT. Inti dari analisis data dalam penelitian ini tidak hanya berhenti pada simulasi debit, melainkan berlanjut pada pengujian keandalan model yang melibatkan optimasi parameter CN2 dan ESCO. Urutan analisis data pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Analisis Karakteristik DAS

Analisis karakteristik DAS dilakukan untuk menentukan karakteristik yang akan digunakan pada penelitian. Analisis ini dilakukan dengan perangkat lunak ArcMap, di mana data yang digunakan adalah data DEM, data tutupan lahan, dan data jenis tanah. Analisis ini dilakukan untuk mengolah data spasial dan menganalisis karakteristik fisik wilayah penelitian. ArcMap digunakan untuk memastikan semua data yang dibutuhkan berada dalam suatu sistem koordinat yang seragam, sehingga tidak terjadi pergeseran atau kesalahan spasial dalam pemrosesan lebih lanjut.

3.4.2 Analisis Debit Simulasi

Analisis simulasi debit sungai dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model hidrologi berbasis perangkat lunak, yaitu QSWAT. Simulasi dengan perangkat lunak ini dilakukan untuk memodelkan debit aliran sungai pada DAS berdasarkan data-data yang dimasukkan. Adapun tahapan analisis debit simulasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Data

Persiapan data dimaksudkan untuk mengumpulkan dan pemrosesan masukan data yang diperlukan oleh model SWAT. Data yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Data DEM

Data DEM diperoleh dari DEMNAS Geospasial Tanah Air Indonesia berdasarkan tinjauan DAS Ciwulan Hulu yang dapat diakses melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/demnas>. Data DEM yang akan digunakan disesuaikan dengan proyeksi WGS84 UTM49S.

b. Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan berupa data curah hujan dalam skala waktu harian pada PCH Cisolok, Gunung Satria, dan Singaparna tahun 2019, 2020, 2021, dan 2022. Data curah hujan harian ini diperoleh dari UPTD PSDA Wilayah Sungai Ciwulan – Cilaki.

c. Data Debit Observasi

Data debit observasi yang digunakan berupa data debit dalam skala waktu harian pada PDA Paledang untuk tahun 2019, 2020, 2021, dan 2022. Data debit observasi ini diperoleh dari UPTD PSDA Wilayah Sungai Ciwulan – Cilaki.

d. Data Jenis Tanah

Data jenis tanah untuk DAS Ciwulan PDA Paledang diklasifikasikan berdasarkan peta jenis tanah yang diperoleh dari FAO, kemudian disesuaikan dengan kode SWAT.

e. Data Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan yang digunakan berupa peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) diperoleh dari Geospasial Tanah Air Indonesia. Peta tutupan lahan ini dapat diunduh melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/rbi-wilayah>. Peta tutupan lahan yang telah diunduh harus disesuaikan berdasarkan kode SWAT.

f. Data Klimatologi

Data klimatologi yang digunakan yaitu di antaranya data kelembapan relatif udara, data suhu, data kecepatan angin, dan data radiasi matahari. Data yang digunakan bersumber dari ERA-5 Land dalam skala waktu harian untuk tahun 2019, 2020, 2021, dan 2022.

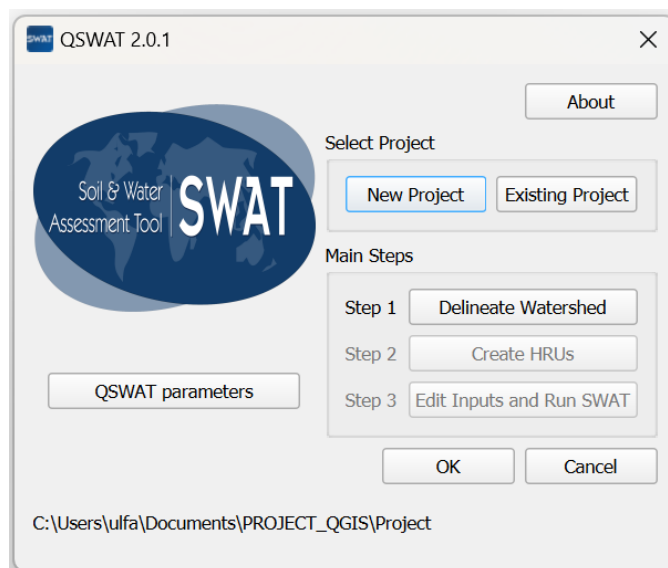
2. Pengolahan Model SWAT

a. Membuat *Project* Baru

Langkah awal dalam pengolahan model SWAT adalah membuat *project* baru pada antarmuka SWAT. Penyimpanan *project* sebaiknya dilakukan di dalam *hard disk C* untuk memudahkan akses *database*. Saat pembuatan *project* baru, sistem akan secara otomatis menambahkan *database* ke dalam folder yang dipilih.

Gambar 3.3 *New Project* SWAT

Setelah membuat *new project* SWAT akan menampilkan jendela dengan langkah-langkah yang harus dikerjakan untuk melakukan pemodelan, tampilannya disajikan seperti pada Gambar 3.4 di bawah ini.

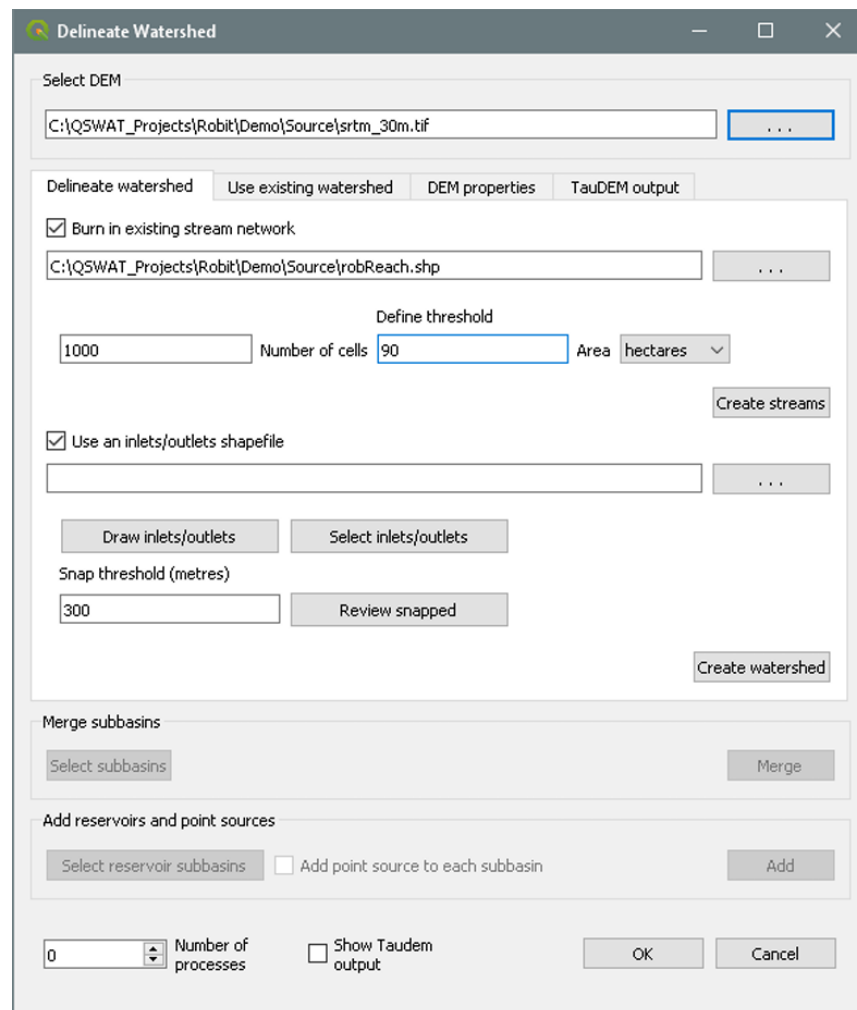


Gambar 3.4 Tampilan Langkah-langkah Pemodelan SWAT

b. *Delineate Watershed*

Delineate Watershed adalah proses menentukan batas-batas wilayah tangkapan air dan membaginya menjadi sub-DAS berdasarkan kondisi topografi. Tujuannya yaitu untuk mengidentifikasi area yang

mengalirkan air hujan ke satu titik *outlet* yang lokasinya disesuaikan dengan posisi stasiun pengamatan debit untuk memastikan wilayah simulasi sesuai dengan wilayah observasi. Hasil akhir dari proses ini merupakan pembagian DAS menjadi beberapa sub-DAS yang lebih kecil, berguna untuk menangkap variabilitas karakteristik hidrologi di seluruh area observasi.

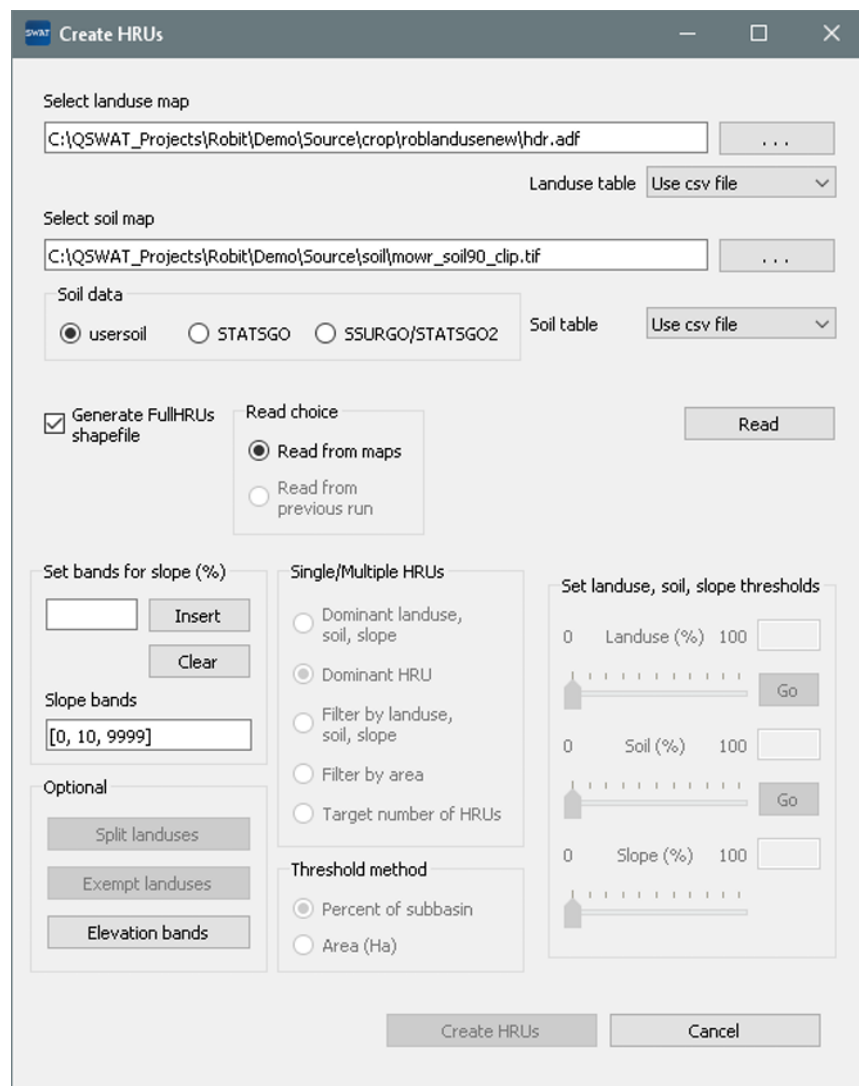


Gambar 3.5 *Delineate Watershed* pada SWAT

c. *Create HRU*

Setelah menyelesaikan tahapan delinasi, langkah selanjutnya adalah pembentukan HRU yang merupakan proses pemodelan hidrologi, di mana DAS dibagi menjadi unit-unit terkecil dengan karakteristik hidrologi yang homogen. HRU yang terbentuk ini merupakan kombinasi dari penggunaan lahan (*land use*), jenis tanah (*soil type*), dan

kemiringan lereng (*slope*) di dalam suatu sub-DAS. HRU merepresentasikan unit terkecil dalam DAS yang memiliki respon hidrologi sama terhadap faktor-faktor curah hujan, evaporasi, infiltrasi, dan aliran permukaan. Pada tahap ini, dilakukan juga penentuan *threshold* sebagai bentuk dalam menentukan ambang batas (%) untuk membuat pengecualian pada kelas penggunaan lahan atau jenis tanah dengan luas yang sangat kecil dalam suatu sub-DAS.

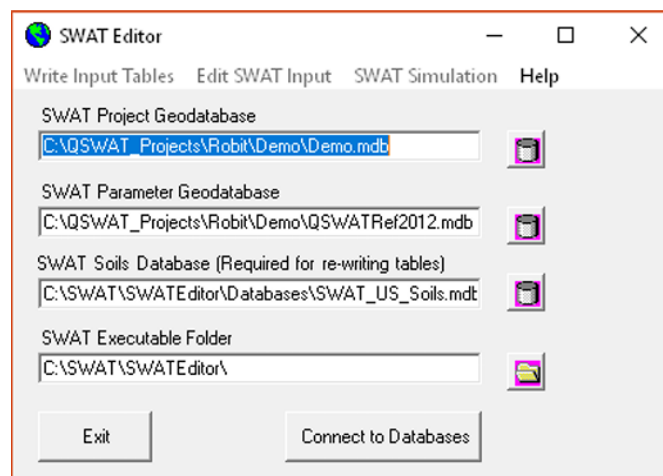


Gambar 3.6 *Create HRU* pada SWAT

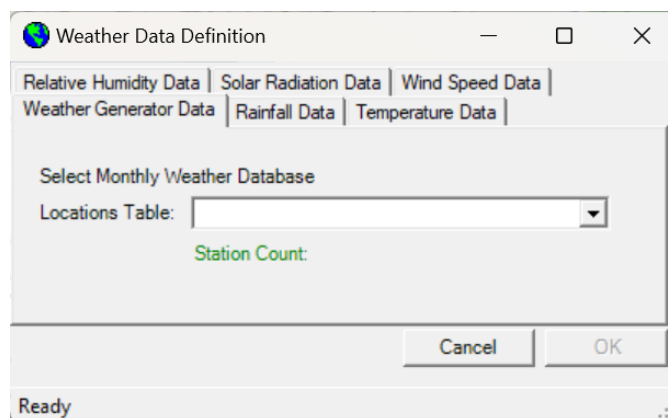
d. Masukan Data Klimatologi

Masukan data klimatologi dilakukan setelah proses *create HRU*, di mana data klimatologi ini merupakan penggerak utama siklus hidrologi dalam model. Data klimatologi dalam SWAT digunakan untuk

menyimulasikan proses hidrologi DAS, memperkirakan perubahan iklim, dan mengukur kinerja DAS. Proses ini dilakukan dengan menghubungkan *database* terlebih dahulu, kemudian input data dilakukan melalui menu *Weather Data Definition* pada antarmuka SWAT. Untuk memasukkan data ke dalam SWAT, data klimatologi harus disusun dalam format teks (.txt) yang terpisah untuk masing-masing parameter meteorologi serta PCH sesuai dengan spesifikasi parameter yang telah ditentukan.



Gambar 3.7 *Connect to Database* SWAT

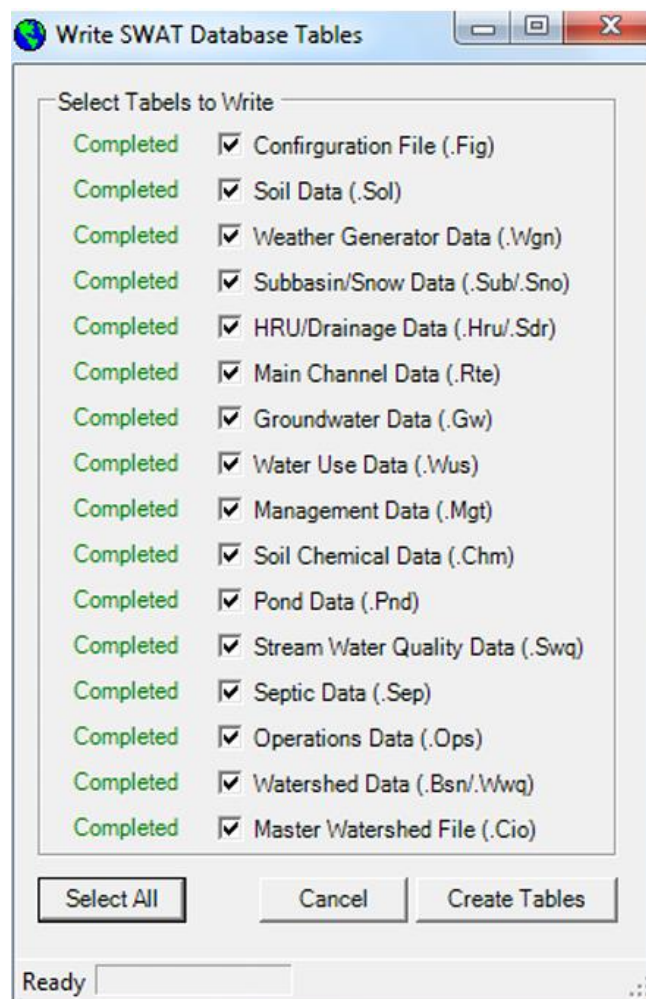


Gambar 3.8 *Weather Data Definition* SWAT

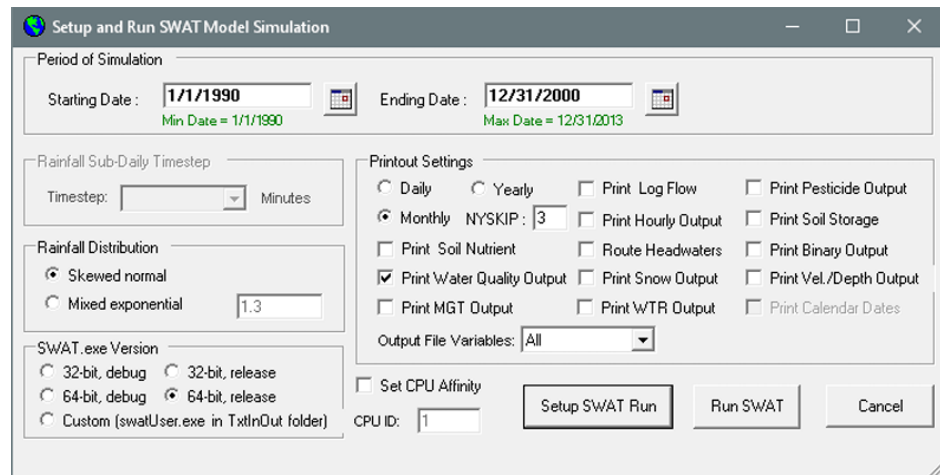
e. Pengaturan dan *Run* Model Simulasi SWAT

Sebelum memulai simulasi model, dilakukan pemilihan masukan data yang telah dipastikan tersimpan dan berstatus lengkap di dalam basis data untuk menjamin validitas hasil. Pengaturan periode waktu simulasi dilakukan dengan menyesuaikan rentang waktu ketersediaan data

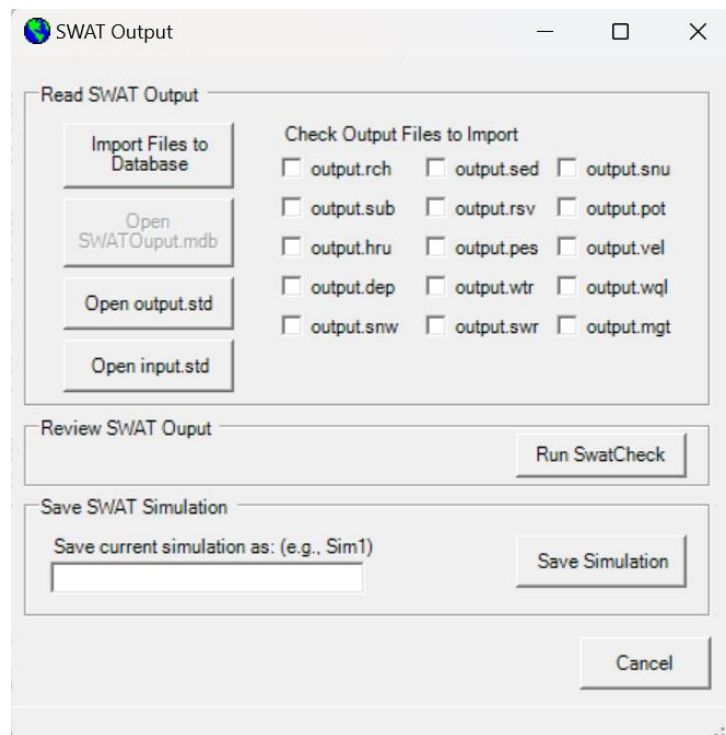
klimatologi serta menentukan periode waktu *output* yang diinginkan. *Output* SWAT dapat dipilih secara spesifik berdasarkan kebutuhan data penelitian dengan cara mengimpor file hasil ke dalam basis data utama. Seluruh hasil simulasi akhir dapat diakses pada folder SWAT yang telah dibuat, khususnya pada file *scenario* dan basis data output Microsoft Access yang nantinya dapat diolah kembali menggunakan Microsoft Excel.



Gambar 3.9 *Write SWAT Database Tables*



Gambar 3.10 *Setup and Run SWAT Model Simulation*



Gambar 3.11 *SWAT Output*

f. Visualisasi SWAT

Visualisasi hasil merupakan tahap akhir untuk menyajikan data keluaran model dalam bentuk yang lebih informatif, termasuk menampilkan animasi pergerakan air pada DAS. Pada proses visualisasi ini, dapat dilakukan penyesuaian parameter berdasarkan periode waktu simulasi yang telah dijalankan untuk memastikan representasi data yang akurat.

Visualise Results

Choose scenario: Default

Choose SWAT output table:

Choose period:

Start date: 1 January 2019

Finish date: 31 December 2022

Static maps | Animated maps | Plots

Choose results shapefile:

Choose variables:

Choose summary: Totals

Add

All

Del

Clear

Create

Print:

☒ Landscape ☐ Portrait

Number of maps: 1

Print

Close

Gambar 3.12 *Visualise Results*

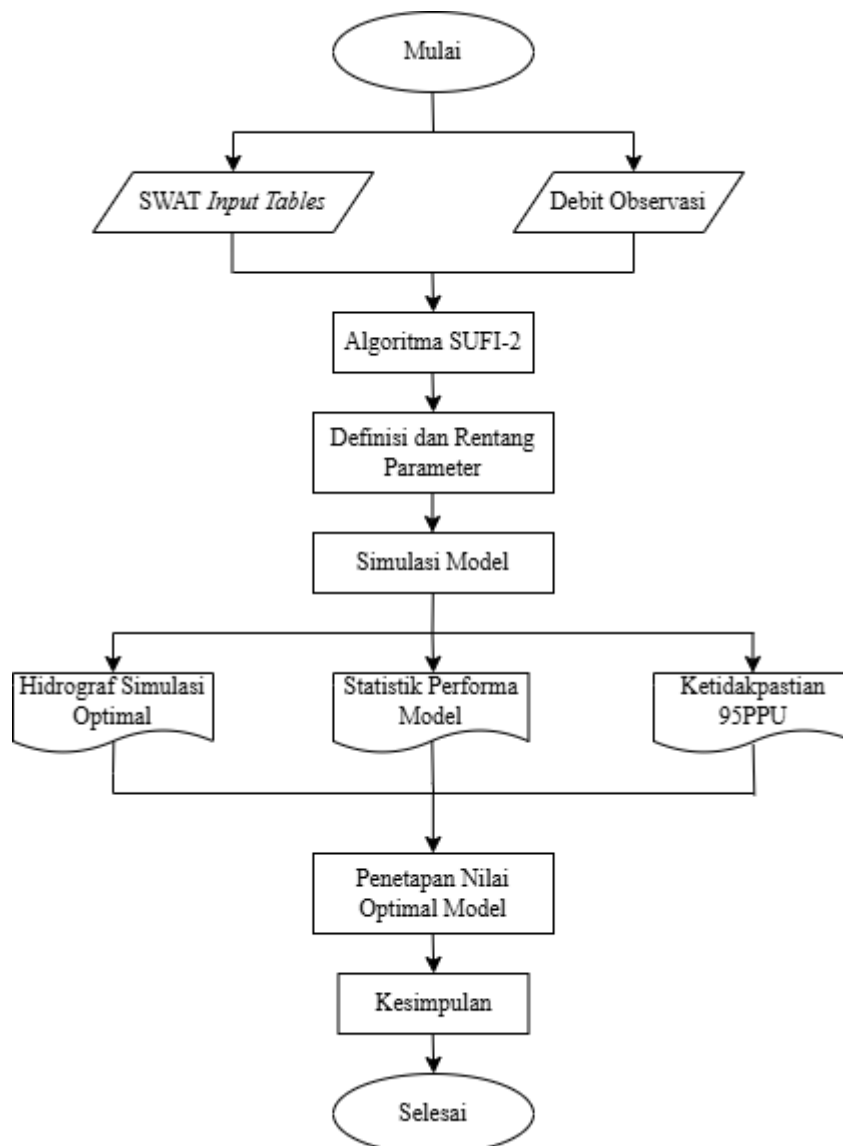
Simulasi yang telah berhasil dijalankan pada perangkat lunak QSWAT akan menghasilkan debit simulasi berdasarkan pada data-data yang telah dimasukkan sebelumnya. Tujuan utama dari tahapan ini adalah untuk mengevaluasi tingkat keandalan dan akurasi model dalam meniru perilaku hidrologi aktual di wilayah penelitian sebelum dilakukan intervensi kalibrasi. Proses evaluasi dilakukan dengan komparasi antara debit hasil simulai berdasarkan proses pemodelan SWAT terhadap debit observasi lapangan di DAS Ciwulan. Analisis perbandingan dilakukan dengan melakukan evaluasi kuantitatif dengan menghitung parameter statistik NSE dan PBIAS.

3.4.3 Analisis Optimasi Model

Pada penelitian ini, analisis optimasi model dilakukan dengan kalibrasi model dengan menggunakan perangkat lunak SWAT-CUP. Analisis optimasi model bertujuan untuk menyesuaikan nilai parameter agar model dapat mereplikasi perilaku debit terukur di DAS Ciwulan. Kalibrasi model dilakukan setelah rangkaian data debit observasi harian melalui proses penyaringan data. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya anomali data, seperti lonjakan ekstrem yang tidak disertai dengan kejadian hujan. Data debit observasi yang telah melalui proses penyaringan data akan menjadi data masukan pada proses kalibrasi model sebagai debit acuan.

Dalam perangkat lunak SWAT-CUP, proses kalibrasi diawali dengan mengimpor *project* SWAT yang sudah selesai dikerjakan sebelumnya ke dalam antarmuka program. Langkah selanjutnya dilakukan dengan mengatur definisi dan rentang parameter yang digunakan pada penelitian ini, yaitu CN2 dan ESCO. Proses pencarian nilai parameter terbaik dilakukan secara otomatis menggunakan algoritma SUFI-2 yang melakukan iterasi berulang. Penyesuaian ini difokuskan pada upaya meminimalkan selisih antara debit simulasi dengan debit terukur selama periode waktu tertentu yang telah ditetapkan sebagai masa kalibrasi.

Algoritma SUFI-2 dapat dijalankan setelah persiapan data selesai, di mana proses algoritma ini menentukan jumlah simulasi per iterasi untuk mengeksplorasi ruang parameter secara luas. Selama proses *running*, SWAT-CUP secara otomatis dapat melakukan modifikasi nilai parameter SWAT, menjalankan simulasi, dan membandingkan hasilnya dengan data observasi menggunakan fungsi tujuan yang ditentukan. Hasil akhir dari proses ini adalah nilai parameter baru yang lebih optimal serta visualisasi ketidakpastian model. Alur dari analisis ini dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Diagram Alir Analisis Sensitivitas dan Optimasi Parameter pada SWAT-CUP