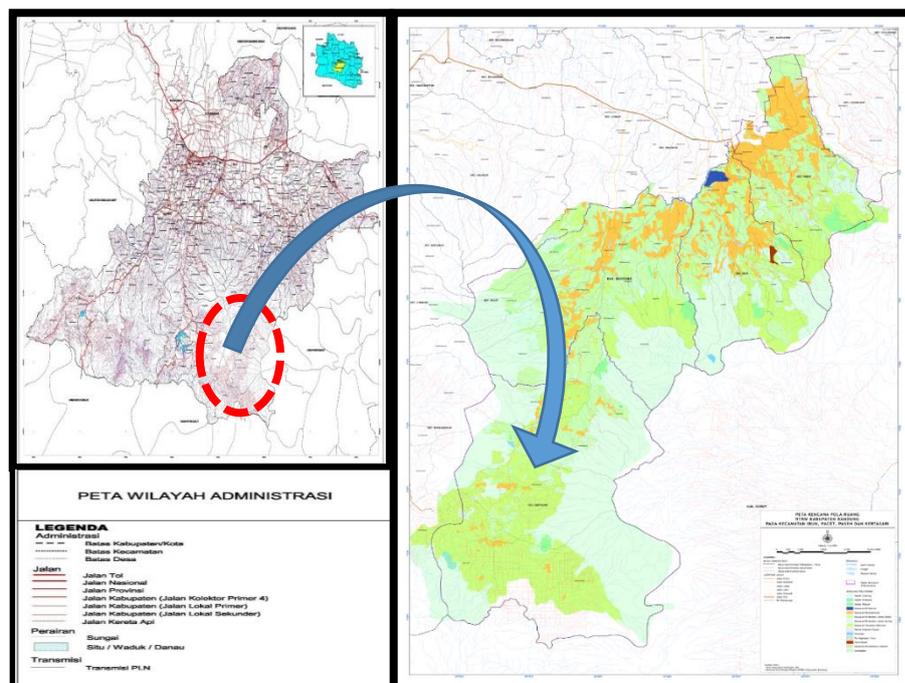


### 3 METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

DAS Citarum Hulu yang berada di 4 (empat) kecamatan yaitu Kecamatan Pacet, Kecamatan Ibum, Kecamatan Kertasari, dan Kecamatan Paseh. Secara administrasi, ke 4 (empat) kecamatan tersebut berada di Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat (Rencana Tata Ruang Hulu Sungai Citarum 2013). DAS Citarum Hulu merupakan DAS yang membentuk cekungan dengan dataran bekas danau (*lacustrine Plain*) sebagai dasar dan dikelilingi oleh perbukitan dan pegunungan. DAS Citarum Hulu terletak pada ketinggian antara 600 mdpl sampai 2.600 mdpl.

Begitu luasnya DAS Citarum Hulu yang secara administrasi terletak di 4 (empat) kecamatan, maka kawasan yang menjadi fokus lokasi penelitian yaitu DAS Citarum Hulu yang berada di Kecamatan Kertasari. Mengacu pada Rencana Tata Ruang Hulu Sungai Citarum (2013), alasan yang menjadi pertimbangan yaitu di Kecamatan Kertasari terdapat Situ Cisanti sebagai hulu dari Sungai Citarum, selain itu telah banyak berkembang berbagai kegiatan seperti permukiman, dan pertanian yang terus mendesak di sekitar Situ Cisanti.



Gambar 3 Lokasi Penelitian

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan melakukan observasi dan wawancara dengan *stakeholders* yang berpengaruh dalam perencanaan tata ruang di DAS Citarum Hulu. Data sekunder di peroleh dari literatur, hasil penelitian dan dokumen ilmiah dari instansi terkait. Adapun jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian, dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 12 Jenis dan Sumber Data Penelitian

No	Jenis Data	Unit	Sumber Data	Kegunaan	Analisis
1	2	3	4	5	6
<b>A. Peta dasar DAS Citarum Hulu</b>					
1.	RTRW Provinsi Jawa Barat	Dokumen	Bappeda	Kesesuaian pemanfaatan ruang eksisting dengan RTRW	Evaluasi pemanfaatan ruang
2.	Kemiringan Lereng	Peta Dasar	Inderaja	Penentuan Fungsi Kawasan	SIG
3.	Jenis Tanah				
4.	Intensitas Curah Hujan				
<b>B. Biofisik</b>					
1.	Tutupan Vegetasi Lahan (PV)	Ha	BPN, BIG, Bappeda, BAPLAN Kemenhut	Parameter	Sistem Dinamik (SD)
2.	Kualitas, Kuantitas dan Kontinuitas Air				
	a. Koefisien Rezim Aliran (KRA)	m <sup>3</sup>	BPDAS, PU, BMKG, BBWS		
	▪ Daerah Basah	m <sup>3</sup>			
	▪ Daerah Kering	m <sup>3</sup>			
	b. Koefisien Aliran Tahunan (KAT)	mm	BPDAS, PU, BBWS, BMKG, BPSDA		

1	2	3	4	5	6
	c. Muatan Sedimen	ton/ha/th	BPDAS, PU, BBWS, BPSDA	Parameter	Sistem Dinamik (SD)
	d. Banjir	kali/tahun	BPBD, PU, BBWS, PEMDA, BPDAS		
	e. Indeks Penggunaan Air	m <sup>3</sup>	BPSDA, PU, BBWS, Pertanian, Pemda		
3.	Curah Hujan	mm/tahun	BPSDA, BMKG		
<b>C. Sosial</b>					
1.	Jumlah Penduduk	jiwa	BPS, Bappeda	Parameter	Sistem Dinamik (SD)
2.	Laju Kelahiran dan Kematian	%/tahun			
3.	Emigrasi dan Imigrasi	%/tahun			
4.	Tekanan Penduduk terhadap Lahan	ha/kk	BPDAS, BPS, BPN		
<b>D. Ekonomi</b>					
	Tingkat Kesejahteraan Penduduk	kk	BPDAS, BPS, Bappeda	Parameter	Sistem Dinamik (SD)

### 3.3 Tahapan Penelitian dan Analisis

Beberapa tahapan penelitian dan analisis yang digunakan, dapat dilihat pada paparan sebagai berikut.

#### 3.3.1 Analisis Kesesuaian antara Rencana Tata Ruang dengan Pemanfaatan Ruang Eksisting DAS Citarum Hulu

Pendekatan yang digunakan dalam melakukan analisis pada bagian ini adalah pendekatan deskriptif. Analisis deskriptif menjawab pertanyaan-pertanyaan dasar. Fokus dalam proses analisis data kualitatif datang dari evaluasi pertanyaan-pertanyaan yang timbul pada permulaan proses penyelidikan, selama konseptual,

pertanyaan yang berfokus pada fase studi (Patton 1990). Peneliti kualitatif menganalisis data dengan mengorganisasikan data ke dalam kategori-kategori berdasarkan tema, konsep, atau bagian-bagian yang terkemuka (Neuman 2000). Pendekatan deskriptif pada penelitian ini, dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Pasal 1 dan 17 Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 menjelaskan, rencana tata ruang adalah hasil perencanaan tata ruang. Muatan rencana tata ruang mencakup rencana struktur ruang dan rencana pola ruang. Rencana struktur ruang meliputi rencana sistem pusat permukiman dan rencana sistem jaringan prasarana. Rencana pola ruang meliputi peruntukan kawasan lindung dan kawasan budi daya. Untuk itu, pada bagian ini akan dideskripsikan rencana struktur ruang dan pola ruang kawasan DAS Citarum Hulu dengan berpedoman pada Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Barat.
- b. Mengidentifikasi pemanfaatan ruang eksisting kawasan DAS Citarum Hulu. Identifikasi dilakukan untuk mendapatkan gambaran, baik kondisi eksisting maupun masalah-masalah yang terjadi pada pemanfaatan ruang DAS Citarum Hulu. Analisis dilakukan dengan mengumpulkan data, dan informasi dari hasil kajian literatur dan observasi lapangan.
- c. Melakukan perbandingan antara rencana tata ruang berdasarkan RTRW Provinsi Jawa Barat, dengan pemanfaatan ruang eksisting DAS Citarum Hulu. Sesuai perbandingan tersebut, akan deskripsikan baik pemanfaatan ruang yang sesuai maupun yang tidak sesuai dengan Rencana Tata Ruang Provinsi Jawa Barat.

### **3.3.2 Perencanaan Tata Ruang Optimal DAS Citarum Hulu dengan Pendekatan yang Memperhitungkan Dimensi Temporal dan Spasial**

Analisis pada bagian ini dilakukan dengan pendekatan Spasial Dinamik, merupakan pendekatan yang menggabungkan antara pendekatan Sistem Dinamik (SD) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Untuk itu, tahapan pendekatan studi dan analisis dibagi dalam 3 (tiga) tahap.

#### **3.3.2.1 Tahapan Pendekatan Sistem Informasi Geografis**

Terdapat tiga kriteria biofisik yang menjadi dasar pertimbangan dalam penentuan suatu wilayah sebagai kawasan lindung, yaitu faktor kelereng

lapangan, faktor jenis tanah menurut kepekaan terhadap erosi, dan faktor rata-rata intensitas hujan harian (Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat, dan Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB 2012). Sesuai Keputusan Menteri Pertanian Nomor: 837/Kpts/Um/11/1980, Nomor: 683/Kpts/Um/8/1981, dan Keputusan Presiden Nomor: 48/1983, kriteria penentuan fungsi kawasan dapat dilihat pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13 Kriteria Penentuan Fungsi Kawasan

Kriteria	Klasifikasi	Kelas	Nilai Skor
<b>1. Kemiringan Lereng</b>			
0% – 8%	Datar	1	20
8% – 15%	Landai	2	40
15% – 25%	Bergelombang	3	60
25% – 45%	Curam	4	80
45% atau lebih	Sangat Curam	5	100
<b>2. Intensitas Curah Hujan</b>			
0 – 13,6 mm/hari	Sangat Rendah	1	10
13,6 – 20,7 mm/hari	Rendah	2	20
20,7 – 27,7 mm/hari	Sedang	3	30
27,7 – 34,8 mm/hari	Tinggi	4	40
> 34,8 mm/hari	Sangat Tinggi	5	50
<b>3. Jenis Tanah</b>			
Aluvial, Tanah Glei, Planosol, Hidromorf, Kelabu, Lateril Air Tanah	Tidak Peka	1	15
Latosol	Agak Peka	2	30
Non Clasic, Mediteran	Kurang Peka	3	45
Andosol, Grumosol, Pedsolic	Peka	4	60
Regosol, Litosol, Organosol, Renzina	Sangat Peka	5	75

Baja (2012) menjelaskan, penetapan penggunaan lahan setiap unit lahan ke kedalam suatu kawasan dilakukan melalui berbagai pertimbangan. Jika mengacu

pada skor, jenis fungsi kawasan ditentukan dengan menjumlahkan skor ketiga kriteria serta memperhatikan pula keadaan lainnya sebagaimana diuraikan dalam ketentuan kebijakan di atas. Pembagian kawasan-kawasan tersebut mengikuti ketentuan skor sebagai berikut :

- Skor  $> 175$  : Kawasan Lindung
- Skor  $125 - 174$  : Kawasan Penyangga
- Skor  $< 125$  : Kawasan Budidaya

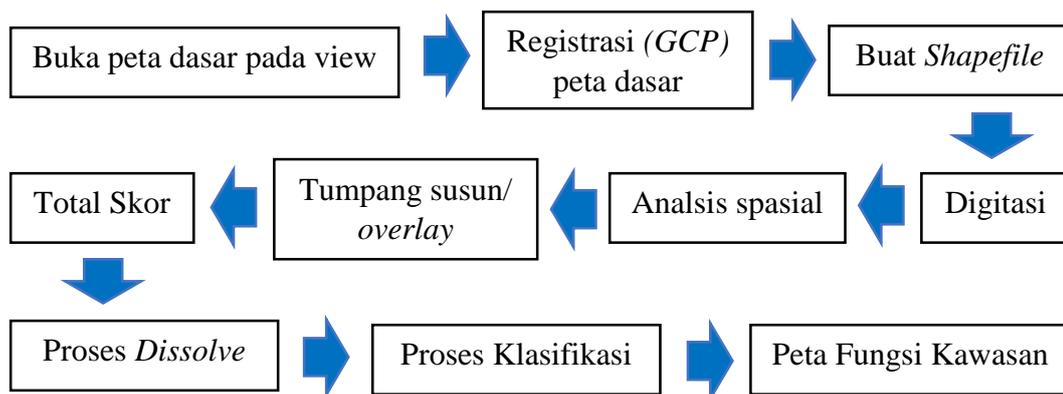
Penelitian ini dalam melakukan analisis *overlay* menggunakan ArcGIS 10. Baja (2012) menguraikan, Gambar 4 berikut ini menunjukkan suatu ilustrasi analisis spasial *overlay* dengan menggunakan GIS, untuk menghasilkan peta fungsi kawasan melalui penjumlahan skor pada masing-masing lembar data. Tahap yang dilalui adalah sebagai berikut:

- a. Digitasi lembar data lereng, jenis tanah dan intensitas curah hujan, termasuk registrasi dan rektifikasi pada sistem koordinat yang baku.
- b. Pemberian skor masing-masing lembar data dengan nilai sebagaimana dimuat pada tabel di atas.
- c. *Overlay* dan gunakan operasi penjumlahan sehingga nilai yang ada pada setiap unit yang ada dalam database diakumulasikan.
- d. Reklasifikasi ke dalam angka  $> 175$ ,  $125 - 174$ , dan  $< 125$ , dan beri nama fungsi masing-masing unit baru.

Gambar 4 Ilustrasi Analisis *Overlay* Poligon untuk Menetapkan Fungsi Kawasan

Sebelum analisis spasial dilakukan dengan menggunakan pendekatan SIG, tahapan yang terlebih dahulu dilakukan adalah pembuatan peta digital dengan

langkah-langkah menurut Budiyanto (2010) yaitu: Peta yang diperoleh dari citra satelit sebagai dasar pembuatan peta, merupakan sebuah data raster. Kemudian dilakukan registrasi (*Ground Control Point/GCP*) untuk mendapatkan titik kontrol koordinat lapangan, agar data raster pada peta dasar dapat digunakan sebagai dasar digitasi atau digunakan dalam pembuatan data vektor. Membuat *shapefile* yaitu file yang menyimpan data vektor dalam Arcview. Digitasi merupakan proses pembentukan data vektor. Dalam pembuatan peta digital, data grafis harus disimpan di dalam sebuah *shapefile (file.shp)*. Oleh karena itu proses digitasi didahului dengan pembuatan sebuah *shapefile* kosong. Dalam sistem informasi geografis dan pemetaan digital, data vektor banyak digunakan sebagai dasar analisis dan berbagai proses. Setelah pemberian skor pada masing-masing peta, selanjutnya dilakukan klasifikasi.



Gambar 5 Diagram Alir Sistem Informasi Geografis Penentuan Peta Kawasan Lindung

### 3.3.2.2 Tahapan Pendekatan Sistem Dinamik

Dalam pendekatan sistem umumnya ditandai oleh dua hal, yaitu (1) mencari semua faktor-faktor penting yang ada dalam mendapatkan solusi yang baik untuk menyelesaikan masalah, dan (2) dibuat suatu unsur model kuantitatif untuk membantu keputusan secara rasional. Untuk itu, pendekatan sistem pada prinsipnya melalui tahapan-tahapan yang terdiri dari: analisis kebutuhan, formulasi permasalahan, identifikasi sistem, pemodelan sistem, dan implementasi (Eriyatno 2012). Sementara itu, berdasarkan pendapat Forrester (1971), Sterman (2004), Muhammadi dkk (2007), Trilestari dan Almamalik (2008), dan Karuniasa (2012),

Soesilo dan Karuniasa (2014) menstrukturkan adanya 7 (tujuh) langkah *system dynamics* yang perlu dilakukan yaitu: penyusunan struktur permasalahan, pembuatan model, validasi model, simulasi model skenario *business as usual*, simulasi model skenario intervensi, interpretasi dan penggunaan hasil simulasi model. Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan, maka dalam penelitian ini tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pendekatan *system dynamics* dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### **a. Analisis Kebutuhan**

Analisis kebutuhan merupakan permulaan pengkajian dari suatu sistem. Dalam melakukan analisis kebutuhan ini dinyatakan kebutuhan-kebutuhan yang ada, baru kemudian dilakukan tahap pengembangan terhadap kebutuhan-kebutuhan yang dideskripsikan. Analisis ini dapat meliputi hasil suatu survei, pendapat seorang ahli, diskusi, observasi lapangan dan sebagainya (Eriyatno 2012).

Tahap ini dinyatakan kebutuhan-kebutuhan dari masing-masing pelaku (*stakeholders*) yang terlibat dalam perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu. Untuk mengetahui kebutuhan masing-masing *stakeholders*, dilakukan dengan kegiatan wawancara baik dari pihak pemerintah, masyarakat, maupun swasta yang terkait dengan perencanaan tata ruang optimal DAS Citarum Hulu. Penentuan responden dari masing-masing *stakeholders* tersebut dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. Responden dari masing-masing *stakeholders* yang terkait dalam perencanaan tata ruang optimal DAS Citarum Hulu yaitu:

- 1) Pemerintah, meliputi institusi pemerintah daerah dan pemerintah pusat yang berdasarkan kewenangan yang dimiliki, institusi tersebut terlibat dalam pengelolaan DAS Citarum Hulu.
- 2) Masyarakat yaitu masyarakat lokal yang bermukim dan bekerja di Kawasan DAS Citarum Hulu.
- 3) Swasta yaitu pihak yang melakukan aktivitas usaha di Kawasan DAS Citarum Hulu.

#### **b. Formulasi Permasalahan**

Hartrisari (2007) mengemukakan, kebutuhan yang saling kontradiktif dapat menimbulkan permasalahan antar *stakeholders*. Secara umum, kebutuhan yang saling kontradiktif dapat dikenali berdasarkan dua hal, yaitu kelangkaan sumber

daya (*lack of resources*) dan perbedaan kepentingan (*conflict of interest*). Sementara itu, Soesilo dan Karuniasa (2014) menjelaskan, struktur permasalahan sistem adalah deskripsi antara kinerja sistem saat ini dengan kinerja seharusnya atau yang diharapkan. *Gap* yang diketahui antara fakta kinerja sistem dan sistem yang diharapkan, menjadi permasalahan sistem. Fakta kinerja sistem diperoleh melalui serangkaian data indikator kinerja sistem (*time series data*), sedangkan kinerja sistem yang diinginkan atau yang diharapkan adalah pencapaian indikator kinerja sistem pada tingkat tertentu, agar kinerja sistem mampu mendukung sistem lainnya dalam kerangka sistem yang lebih besar, atau semata-mata adalah tingkat kinerja sistem yang ingin dicapai oleh pemodel.

Berdasarkan perbedaan kepentingan masing-masing *stakeholders* pada perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu dari hasil identifikasi analisis kebutuhan, maka dideskripsikan formulasi permasalahan. Demikian pula, formulasi permasalahan diperoleh dari kesenjangan antara :

- 1) Data tahun 2007–2016 (*time series data*) kinerja parameter unsur biofisik, sosial, dan ekonomi dari perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu;
- 2) Kinerja parameter unsur biofisik, sosial, dan ekonomi dari perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu, agar DAS Citarum Hulu sesuai RTRW Provinsi Jawa Barat dapat berfungsi sebagai kawasan konservasi.

### **c. Identifikasi Sistem**

Menurut Eriyatno (2012), identifikasi sistem merupakan suatu rantai hubungan antara pernyataan kebutuhan dengan pernyataan masalah yang harus dipecahkan, untuk mencukupi kebutuhan-kebutuhan tersebut. Hal ini sering digambarkan dalam bentuk diagram lingkaran sebab-akibat (*Causal-Loop Diagram/CLD*) yang selanjutnya diinterpretasikan ke dalam konsep kotak hitam (*Black Box*).

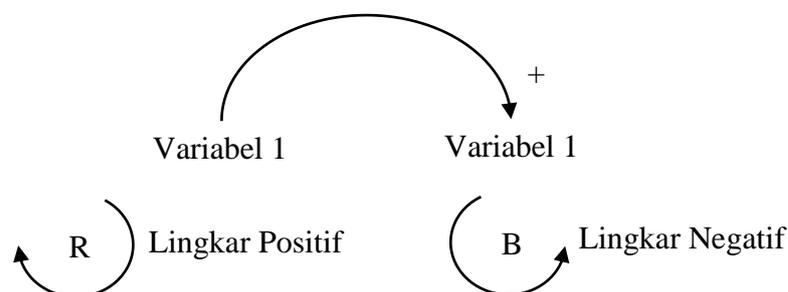
#### 1) Diagram Lingkaran Sebab Akibat (*Causal Loop Diagram*)

Diagram lingkaran sebab akibat (*Causal Loop Diagrams/CLD*) adalah suatu alat visual bagi pemikir sistem umpan balik. Keseluruhan diagram lingkaran sebab akibat dibangun dari unsur-unsur dasar yang sama: kata (*words*), frase (*Phrase*), hubungan dan lingkaran (*links and loops*)—dengan kaidah khusus untuk penamaan variabel dan penggambaran polaritas hubungan dan lingkaran (Neuwirth *et al.* 2014).

*Causal loop diagram* yaitu pemetaan sebab dan dampak hubungan antara variabel-variabel sistem individu, ketika dihubungkan, bentuk lingkaran tertutup (*closed loops*) (Radzicki dan Taylor 1997). Lebih lanjut Hartrisari (2007)) menjelaskan, diagram lingkaran sebab akibat menggambarkan hubungan antar elemen yang terlibat dalam sistem yang dikaji. Diagram terdiri dari variabel-variabel yang menunjukkan bahwa variabel satu dengan variabel lainnya dihubungkan dengan tanda panah dengan tanda positif (+) atau negatif (-).

Umpan balik dikatakan positif (+) jika peningkatan dalam suatu variabel, menyebabkan peningkatan yang sama pada variabel selanjutnya. Umpan balik positif ditemukan dalam penggabungan, penguatan kembali, atau memperkuat sistem yang menghasilkan perilaku eksponensial. Disisi lain, umpan balik merupakan negatif (-) jika peningkatan dalam variabel akhirnya mengarah pada penurunan variabel. Umpan balik negatif menggerakkan keseimbangan atau kestabilan sistem yang menghasilkan perilaku asimtotik atau beresilasi (Martin 1997c).

Lingkar umpan balik (*Feedback loops*) dapat berupa memperkuat (*reinforcing*) atau menyeimbangkan (*balancing*) (Morecroft 1997). Lingkar positif digambarkan dengan putaran searah jarum jam yang dilengkapi dengan huruf R (*reinforcing*) atau tanda positif (+), sedangkan lingkaran negatif digambarkan dengan putaran arah kebalikan jarum jam dilengkapi dengan huruf B (*balancing*) atau tanda negative (-). Adapapun tata cara penggambaran diagram lingkaran sebab akibat seperti pada gambar di bawah ini (Hartrisari, 2007)



Gambar 6 Tata Cara Penggambaran Diagram Lingkaran Sebab Akibat

Biofisik, sosial, dan ekonomi merupakan unsur-unsur dalam perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu. Unsur biofisik terdiri dari parameter: kondisi tutupan vegetasi lahan DAS; curah hujan; dan tata air yang meliputi: kualitas,

kuantitas, dan kontinuitas aliran dari DAS. Unsur sosial meliputi parameter: jumlah penduduk, laju kelahiran dan kematian, emigrasi dan imigrasi, dan tekanan penduduk terhadap lahan. Unsur ekonomi terdiri dari parameter: tingkat kesejahteraan penduduk. Masing-masing parameter tersebut dihubungkan dengan tanda panah dengan lingkaran umpan balik positif (+) atau negatif (-). Lingkaran umpan balik positif digambarkan searah jarum jam karena masing-masing parameter saling memperkuat, sedangkan lingkaran umpan balik negatif digambarkan berlawanan jarum jam karena peningkatan suatu parameter berdampak pada penurunan parameter lain.

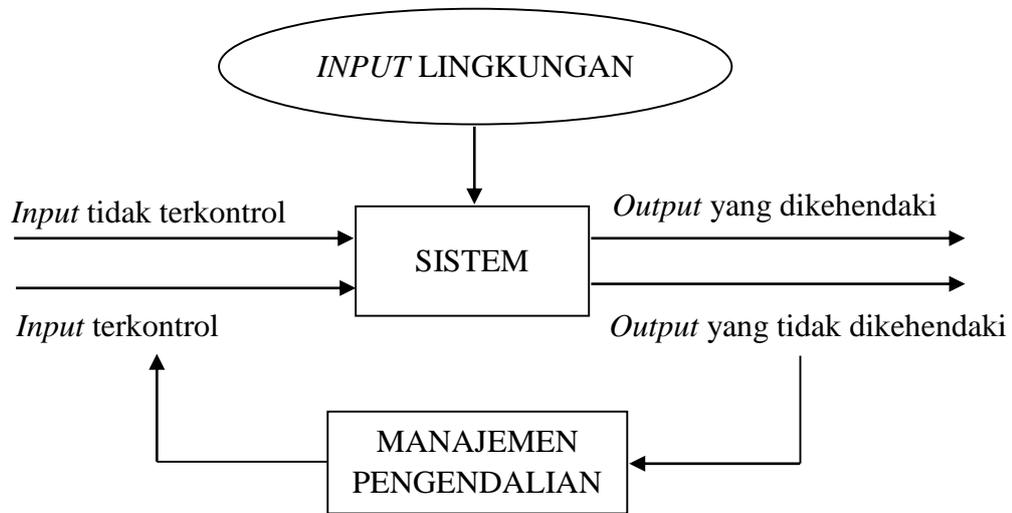
## 2) Diagram Kotak Hitam (*Black Box*)

Perihal menyusun kotak hitam, perlu diketahui informasi yang dikategorikan atas peubah input dan peubah output. Konstruksi diagram kotak hitam sebagaimana pada gambar 8 (Eriyatno 2012)

Diagram input-output menggambarkan hubungan antara output yang akan dihasilkan dengan input berdasarkan tahapan analisis kebutuhan dan formulasi permasalahan. Diagram ini disebut juga diagram kotak hitam (*black box*) karena diagram tidak menjelaskan bagaimana proses yang akan dialami input menjadi output yang diinginkan (Hartrisari 2007).

*Output* merupakan tujuan kajian sistem. *Output* dapat dikategorikan sebagai *output* yang diinginkan (*desired output*) dan *output* yang tidak diinginkan (*undesired output*). *Output* yang tidak diinginkan kadang diidentifikasi sebagai pengaruh negatif bagi kinerja sistem, dan perlu ditindak lanjuti melalui umpan balik. *Input* merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja sistem yang dapat digolongkan pada *input* langsung dan tak langsung. *Input* langsung adalah semua faktor yang mempengaruhi kinerja sistem secara langsung. *Input* langsung terdiri dari *input* terkendali dan *input* tidak terkendali. Input yang terkendali (*controlled input*) adalah input yang secara langsung mempengaruhi kinerja sistem dan bersifat dapat dikendalikan, sedangkan input tidak terkendali (*uncontrolled input*) merupakan input yang diperlukan agar sistem dapat berfungsi dengan baik namun tidak dapat dikendalikan atau berada di luar kendali kita. Input tidak langsung merupakan elemen-elemen yang mempengaruhi sistem secara tidak langsung

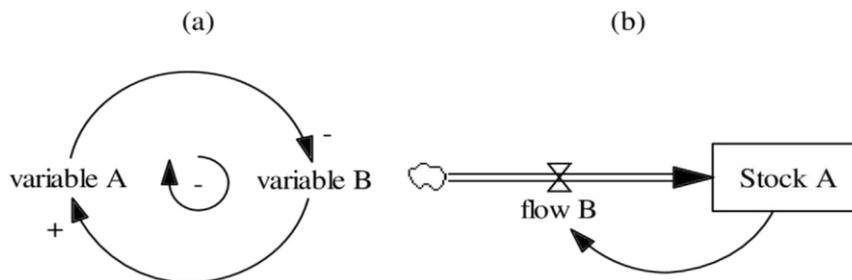
dalam pencapaian tujuan, dan berada di luar batasan sistem sehingga sering disebut sebagai input lingkungan (Hartrisari 2007).



Gambar 8 Diagram Kotak Hitam

#### d. Pemodelan Sistem

Neuwirth *et al.* (2014) berpendapat, konseptual diagram lingkaran sebab akibat (*causal loop diagram*) berfungsi sebagai cetak biru untuk implementasi pelaksanaan model *stock* dan *flow* (gambar 9).



Gambar 9 Lingkaran Sebab Akibat, Model *Stock* dan *Flow*

*Stock Flow Diagram (SFD)* adalah model sistem yang terdiri atas komponen *stock*, *flow*, *auxiliary*, dan konstanta, yang masing-masing memiliki nilai, *unit of measure*, aliran informasi dan operasi matematis antar komponennya, yang dapat disimulasikan untuk menirukan kinerja sistem yang sebenarnya (Soesilo dan Karuniasa 2014).

Menurut Radzicki dan Taylor (1997), panduan yang dapat digunakan untuk dapat membantu mengidentifikasi *stocks* dan *flows*:

- *Stocks* biasanya menunjukkan kata benda dan *flows* menunjukkan kata kerja

- *Stocks* tidak muncul jika waktu (secara hipotetik) dihentikan (yaitu jika *snapshot* diambil dari sistem); *flows* tidak muncul jika waktu (secara hipotetik) dihentikan
- *Stock* mengirim sinyal keluar (informasi mengenai keadaan sistem) ke seluruh sistem
- Empat karakteristik *stocks* yaitu mempunyai memori, merubah bentuk waktu *flows*, memisahkan *flows*, dan membuat penundaan (*delays*).

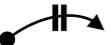
*Stock* adalah suatu akumulasi yang berubah terhadap waktu oleh aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*). *Stock* sepenuhnya menguraikan kondisi sistem pada setiap titik waktu. Lebih jauh lagi, *stock* tidak berubah seketika; *stock* berubah secara bertahap terhadap periode waktu. *Flow* melakukan perubahan. *Flow* meningkatkan dan menurunkan *stock* tidak hanya sekali, tetapi setiap satuan (unit) waktu (Martin 1997b).

*Level* adalah suatu akumulasi, atau integrasi, atau stok, untuk memilih terminologi dari berbagai bidang. *Rate* adalah suatu aliran yang merubah jumlah dalam *level*. *Rate* didefinisikan dengan suatu pernyataan kebijakan yang menginformasikan bagaimana *rate* dikontrol oleh nilai *level* dalam perbandingannya dengan tujuan. *Level* hanya dikontrol oleh *rate of flow*, *rate of flow* hanya dikontrol oleh *level*. Pada titik dimana *rate of flow* ditentukan, kondisi dari sistem, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *level*, dibandingkan dengan tujuan untuk menentukan *control of the flow* (Forrester 1996).

*Stock* adalah akumulasi dari sesuatu, dan *flow* adalah pergerakan/perpindahan atau aliran sesuatu dari satu stok ke stok lainnya. Stok sebagai keterwakilan kesatuan fisik yang dapat terakumulasi (Kirkwood 2013). *Converter* merupakan konstanta dan fungsi logika/matematika untuk pengoperasian sistem. *Connector* (ditunjukkan dengan panah) menghubungkan berbagai unsur model yaitu *converter*, *flows*, dan *stock* untuk menunjukkan hubungan dan pengaruh (Ahmad dan Simonovic 2004).

Blok bangunan utama model sistem dinamik adalah objek untuk membuat variabel (*levels*, *auxiliaries*, *constants*) dan objek untuk menghubungkan variabel (*flows dan Link*). Tabel daftar berikut ini berbagai objek model yang digunakan dalam diagram (Modell Data, 1994).

Tabel 14 Objek Model dalam Sistem Dinamik

Simbol	Objek	Simbol	Objek
	<i>Level</i>		<i>Link</i>
	<i>Auxiliary</i>		<i>Delayed link</i>
	<i>Constant</i>		<i>Initialization link</i>
	<i>Source/Sink</i>		<i>Flow</i>

Sumber : Model Data, 1994

Penelitian ini dalam membangun SFD menggunakan perangkat lunak (*software*) simulator SFD yang disebut *Powersim Constructor 2.5*.

#### e. Validasi Model

Validasi model merupakan suatu tahap sangat penting dalam *system dynamics* (Barlas 1996). Suatu model dinyatakan valid apabila model terbukti secara ilmiah mampu menirukan kinerja sistem. Pernyataan validitas suatu model didasarkan pada uji validitas. Terdapat dua metode uji validitas yaitu, validasi visual, dan validasi statistik. Validitas statistik dimaksudkan untuk membuktikan bahwa kinerja model tidak berbeda dengan kinerja sistem yang sebenarnya (Soesilo dan Karuniasa 2014). Validitas statistik yang digunakan yaitu statistik uji perbandingan rata-rata (*comparing the means*) (Barlas, 1996). Model dianggap valid apabila hasil perhitungan validitas statistik adalah  $\leq 0.30$  (Soesilo dan Karuniasa, 2014).

$$E = \frac{(\bar{S} - \bar{A})}{\bar{A}}$$

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \quad \bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i$$

E = Persen *Error*

S = Nilai variabel hasil simulasi

A = Nilai variabel berdasarkan data sebenarnya

#### f. Simulasi Model Prediksi Kinerja Sistem

Prediksi kinerja sistem memberikan gambaran kinerja rencana tata ruang DAS Citarum Hulu, sehingga DAS Citarum Hulu dapat berfungsi sebagai kawasan konservasi pada periode waktu dimasa yang akan datang, baik tanpa intervensi

maupun dengan intervensi. Soesilo dan Karuniasa (2014) menjelaskan, simulasi model untuk prediksi kinerja sistem diuraikan sebagai berikut:

1) Penentuan nilai awal stok

Periode waktu simulasi dalam prediksi umumnya dimulai dengan akhir waktu data yang terkumpul, sehingga nilai awal stok yang digunakan dalam simulasi model adalah nilai stok hasil simulasi akhir tahun data terkumpul. Dalam penelitian ini data *time series* yang digunakan adalah 2007–2016. Untuk itu, nilai awal stok adalah nilai stok hasil simulasi tahun 2016.

2) Penetapan periode waktu prediksi

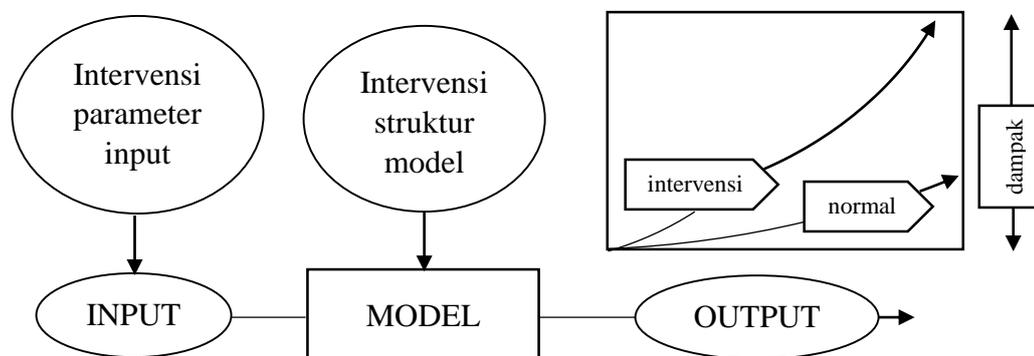
Simulasi model untuk tujuan prediksi kinerja sistem, membutuhkan informasi periode waktu prediksi. Untuk itu, periode waktu prediksi kinerja DAS Citarum Hulu sebagai fungsi kawasan konservasi adalah 20 tahun (2016–2036). Hal ini berdasarkan pada penjelasan Undang-undang Nomor 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang, bahwa jangka waktu rencana tata ruang adalah 20 tahun.

3) Sensitivitas model

Sensitivitas model adalah respon model terhadap suatu stimulus. Respon ditunjukkan dengan perubahan kinerja model. Stimulus diberikan dengan memberikan perlakuan tertentu pada unsur atau struktur model. Perlakuan tersebut disebut uji sensitivitas. Hasil uji sensitivitas, dalam bentuk perubahan kinerja model, digunakan untuk menganalisis efek intervensi terhadap model. Efek dari intervensi tersebut terhadap perubahan kinerja sistem diamati melalui perbedaannya dengan nilai kinerja sistem yang sebenarnya.

Ringkasnya uji sensitivitas yaitu intervensi parameter input model dan/atau struktur model untuk melihat seberapa jauh kepekaannya terhadap perubahan output model. Sehingga dapat diamati bagaimana efek atau dampak suatu intervensi terhadap kinerja model secara keseluruhan, sebagaimana dapat terlihat pada gambar 10 berikut ini. Dalam penelitian ini, kategori uji sensitivitas yang digunakan yaitu intervensi fungsional yaitu intervensi terhadap parameter tertentu atau kombinasi parameter tertentu dari model dengan menggunakan fasilitas dari perangkat lunak (*powersim*) yang cocok atau mewakili perubahan keputusan, kejadian dan keadaan tertentu. Beberapa fasilitas uji sensitivitas parameter input yang penting dengan

menggunakan perangkat lunak *powersim* yaitu, sinus, setengah sinus, *trend*, *ramp*, *pulsa*, *random*, dan *forecast*.



Gambar 10 Tipe Intervensi Model  
(parameter input dan struktur model)

Sesuai dengan intervensi fungsional, kemudian dibuat penyusunan alternatif skenario yang disimulasikan melalui *stock flow diagram* (SFD).

#### g. Optimasi Model

Soesilo dan Karuniasa (2014) menjelaskan, optimasi menjadi tujuan akhir ketika pemodel dihadapkan pada kinerja sistem yang tidak sesuai harapan, atau adanya kebutuhan untuk memperbaiki kinerja sistem terdapat 4 (empat) tahap dalam metode optimasi menggunakan simulasi SFD, yaitu (1) membuat skenario intervensi, (2) menetapkan batas minimal atau maksimal dari kondisi yang ingin dicapai, (3) melakukan prediksi masing-masing skenario, dan (4) memilih skenario intervensi yang berada pada kondisi wilayah yang diinginkan.

- Membuat skenario intervensi

Pembuatan skenario intervensi dapat dilakukan baik melalui intervensi fungsional maupun intervensi struktural. Selanjutnya skenario intervensi tersebut disimulasikan melalui *stock flow diagram* (SFD) untuk memilih skenario yang terbaik.

- Menetapkan batas minimal atau maksimal dari kondisi yang ingin dicapai

Pada bagian ini, ditentukan batas minimal dan maksimal kondisi yang diinginkan untuk optimasi model berdasarkan klasifikasi nilai yang telah ditentukan.

- Melakukan prediksi masing-masing skenario

Sesuai batas minimal dan maksimal kondisi yang diinginkan, maka dilakukan prediksi masing-masing skenario.

- Memilih skenario intervensi

Kondisi optimal dicapai dengan melakukan pemilihan alternatif terbaik dari berbagai skenario intervensi terhadap *leverage* sistem. *Leverage* adalah bagian sistem yang dengan upaya perubahan yang lebih kecil dapat menyebabkan perubahan besar. *Leverage* diperoleh dengan menggunakan uji sensitivitas terhadap variabel-variabel dalam model. Variabel yang paling sensitif yaitu variabel yang apabila dilakukan perubahan akan memberikan perubahan paling besar terhadap kinerja model sistem, dibandingkan dengan variabel lainnya.

Skenario terbaik atau skenario yang menghasilkan kinerja sistem yang optimal adalah skenario yang berada pada kondisi optimal yang ditetapkan dengan kriteria tertentu. Pada studi ini, skenario terbaik yaitu skenario yang menghasilkan kinerja rencana tata ruang DAS Citarum Hulu dengan fungsi DAS Citarum Hulu sebagai kawasan konservasi, sesuai dengan kriteria parameter yang diukur sesuai unsur biofisik, sosial, dan ekonomi. Unsur biofisik terdiri dari parameter: tutupan vegetasi lahan, koefisien rezim aliran, koefisien aliran tahunan, muatan sedimen, banjir, indeks penggunaan air, dan curah hujan. Parameter unsur sosial yaitu tekanan penduduk terhadap lahan, dan parameter unsur ekonomi berupa tingkat kesejahteraan penduduk.

### **3.3.2.3 Tahapan Pendekatan Spasial Dinamik**

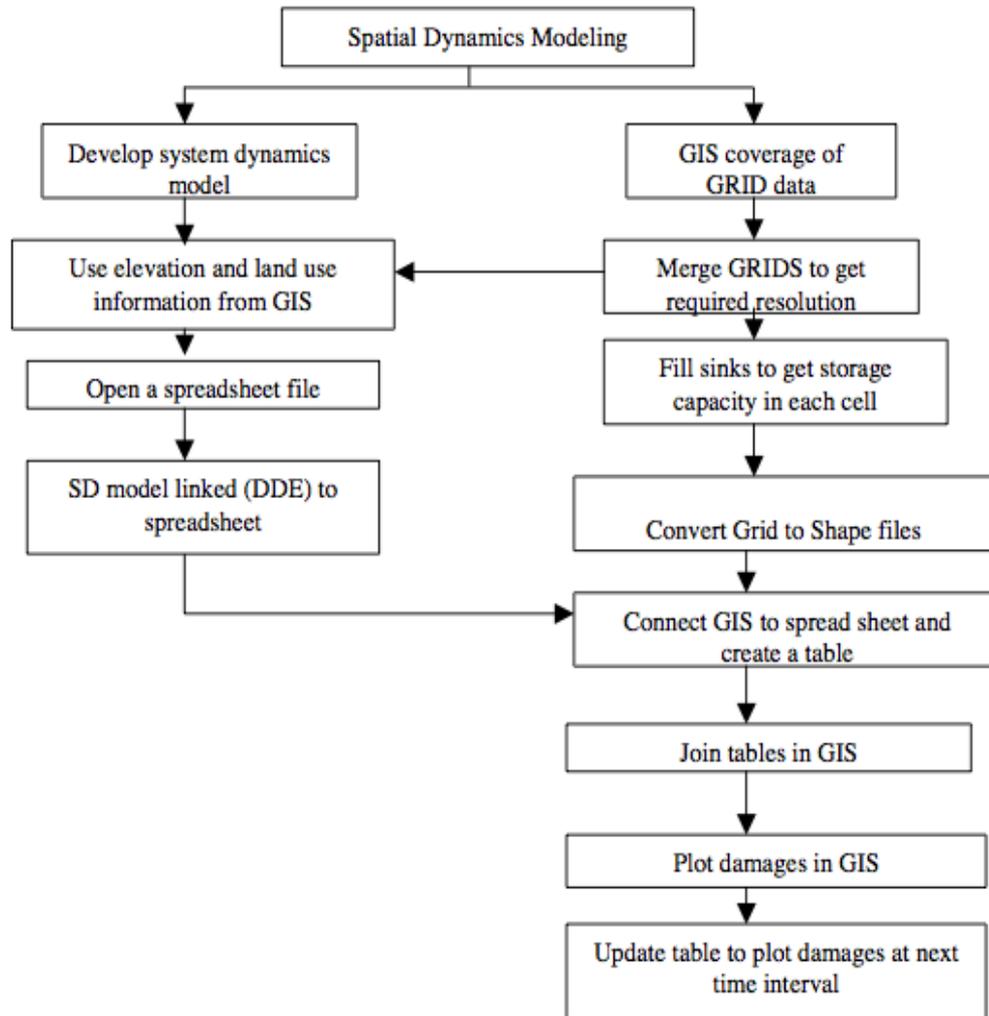
Dalam penelitian ini, upaya yang dilakukan untuk menambah dimensi spasial pada model *system dynamics* adalah berdasarkan pada kategori, menerjemahkan persamaan model *system dynamics* (SD) untuk dijalankan dalam *geographic information system* (GIS). Pendekatan pada kategori ini menurut Ahmad dan Simonovic (2004), pekerjaan difokuskan pada pemodelan spasial (penekanan pada GIS) dan SD digunakan untuk membawa kemampuan pemodelan dinamik (aspek temporal) ke lingkungan GIS. Karena persamaan model SD diterjemahkan untuk dijalankan dengan GIS, kelemahan dari pendekatan ini adalah hilangnya daya interaktif dari SD (perubahan tidak dapat dilakukan selama simulasi). Mulanya, GIS menyediakan informasi spasial pada model SD. Model

SD, melalui pemodelan dinamik, mengidentifikasi perubahan fitur spasial dengan waktu dan mengkomunikasikannya kembali pada GIS. Area yang menjadi perhatian penelitian dibagi ke dalam sel. Kemudian, model sistem dinamik dikembangkan untuk setiap sel yang berkomunikasi dengan sel tetangganya. Persiapan, analisis, dan penyajian sejumlah besar data spasial yang diperlukan untuk pemodelan secara spasial didistribusikan proses dinamik. Aliran data dan informasi pada proses pemodelan menggunakan pendekatan *spatial system dynamics* sebagaimana pada gambar 11.

Penggabungan SD pada GIS untuk simulasi, digunakan pendekatan penggabungan *tight*. Aplikasi penggabungan *tight* dicirikan oleh operasi sinkronisasi pada sistem, yang memungkinkan komunikasi langsung antar-sistem selama program eksekusi. Hal ini dicapai dengan menerapkan perintah dari keduanya yaitu SD dan GIS dalam satu *script*. Asosiasi data dicapai dengan melewati data dari SD ke GIS melalui *spreadsheet*, menggunakan protokol pertukaran data dinamis (DDE). Namun, pendekatan penggabungan ini tidak memungkinkan *update* otomatis dari hasil GIS (Neuwirth 2014).

Asosiasi data dicapai dengan pertukaran data dinamis (DDE) melalui Excel, yang merupakan pertukaran dua arah data dan informasi antara SD dan GIS (Gambar 2). Awalnya, GIS menyediakan informasi spasial pada model SD melalui Excel. Model SD, melalui pemodelan dinamis, mengidentifikasi perubahan fitur spasial dengan waktu dan mengembalikannya (fitur spasial) ke GIS melalui Excel. Dengan demikian, data dapat dianalisis dan diproses dalam waktu dan ruang secara terpadu dengan asosiasi SD dan GIS (Ahmad dan Simonovic 2001). Melalui pembentukan hubungan SD dan GIS, ketika Model SD sedang berjalan, model SD akan menghitung nilai dari variabel tingkat di setiap sel, kemudian melalui pertukaran data dinamis (DDE), nilai variabel tingkat di setiap sel dapat ditampilkan, dianalisis dan dihitung dalam GIS (Zhang 2007 dalam Zhang 2008).

Lo dan Yeung (2007) dalam Sahin (2011) menjelaskan, model data raster paling baik digunakan untuk menunjukkan fenomena spasial yang kontinu (*countinous*) pada area berukuran besar. Contoh, model data raster menggunakan *grid* teratur untuk penutupan ruang; nilai dalam tiap-tiap sel menunjukkan, karakteristik fenomena spasial pada lokasi sel. Pada perhitungan algoritma, data



Gambar 11 Diagram Alir Data Proses Pemodelan Menggunakan Pendekatan *Spatial System Dynamics*



*Dynamics Data Exchange*

Gambar 12 Hubungan data SD dan GIS

raster diperlakukan sebagai sebuah matriks dengan baris (y-kordinat) dan kolom (x-kordinat), dan nilainya dapat disimpan dalam susunan 2 (dua) dimensi. Oleh karena karakteristik itu maka integrasi SD dan GIS lebih mudah, khususnya karena SD dapat lebih mudah menggunakan susunan variabel untuk analisis, agregasi, dan manipulasi data. Lebih lanjut Lo dan Yeung (2007) dalam Sahin (2011) mengemukakan, model data raster banyak digunakan secara luas dengan beberapa alasan praktis sebagai berikut :

- a. Model data raster sesuai dengan berbagai tipe perbedaan komponen-komponen *hardware* pada output dan cakupan data;
- b. Model data raster sesuai dengan konsep dan metode gambar *bit-mapped* dalam grafik komputer;
- c. Model data raster sesuai dengan sistem koordinat yang berorientasi grid.

Ukuran sel menentukan resolusi model raster (Sahin 2011). Umumnya, resolusi data raster dipilih kira-kira sama atau lebih besar dari obyek yang dikaji. Penggunaan resolusi yang kurang tepat (terlalu kasar) dapat menyebabkan kehilangan informasi akibat penggambaran obyek dalam grid yang tidak cukup detail. Semakin kecil ukuran (grid/sel/piksel), semakin tinggi resolusi dan semakin detail peta yang dihasilkan tetapi membutuhkan volume penyimpanan yang lebih besar, pengolahan data lambat, dan membutuhkan biaya mahal (Indarto dan Faisal 2012).

Mengacu pada uraian yang telah dikemukakan di atas, maka tahapan-tahapan pendekatan *spatial system dynamics* yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

- a. Peta fungsi kawasan lindung yang dihasilkan pada pendekatan analisis GIS diubah dari tipe data vektor menjadi raster;
- b. Menentukan ukuran sel area studi sesuai resolusi data raster yang dibutuhkan;
- c. Luas area kawasan lindung direpresentasikan dalam setiap ukuran sel yang mempunyai lebar dan panjang yang sama;
- d. Menjalankan model GIS;
- e. Mengembangkan sel dengan perubahan kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan sesuai dengan periode waktu dalam model *System dynamics*;
- f. Menjalankan model simulasi SD;
- g. Mengubah grid ke *shape file*;
- h. Menggunakan *dynamics data exchange* (DDE) melalui *excel*, menghubungkan hasil model SD ke dalam GIS sebagai input GIS;
- i. Plot parameter dari unsur biofisik, sosial, dan ekonomi rencana tata ruang DAS Citarum Hulu dalam GIS;
- j. Mengubah vektor menjadi raster;
- k. Analisis hasil model dengan output berupa grafik (SD) dan peta visualisasi (GIS) perencanaan tata ruang optimal DAS Citarum Hulu.

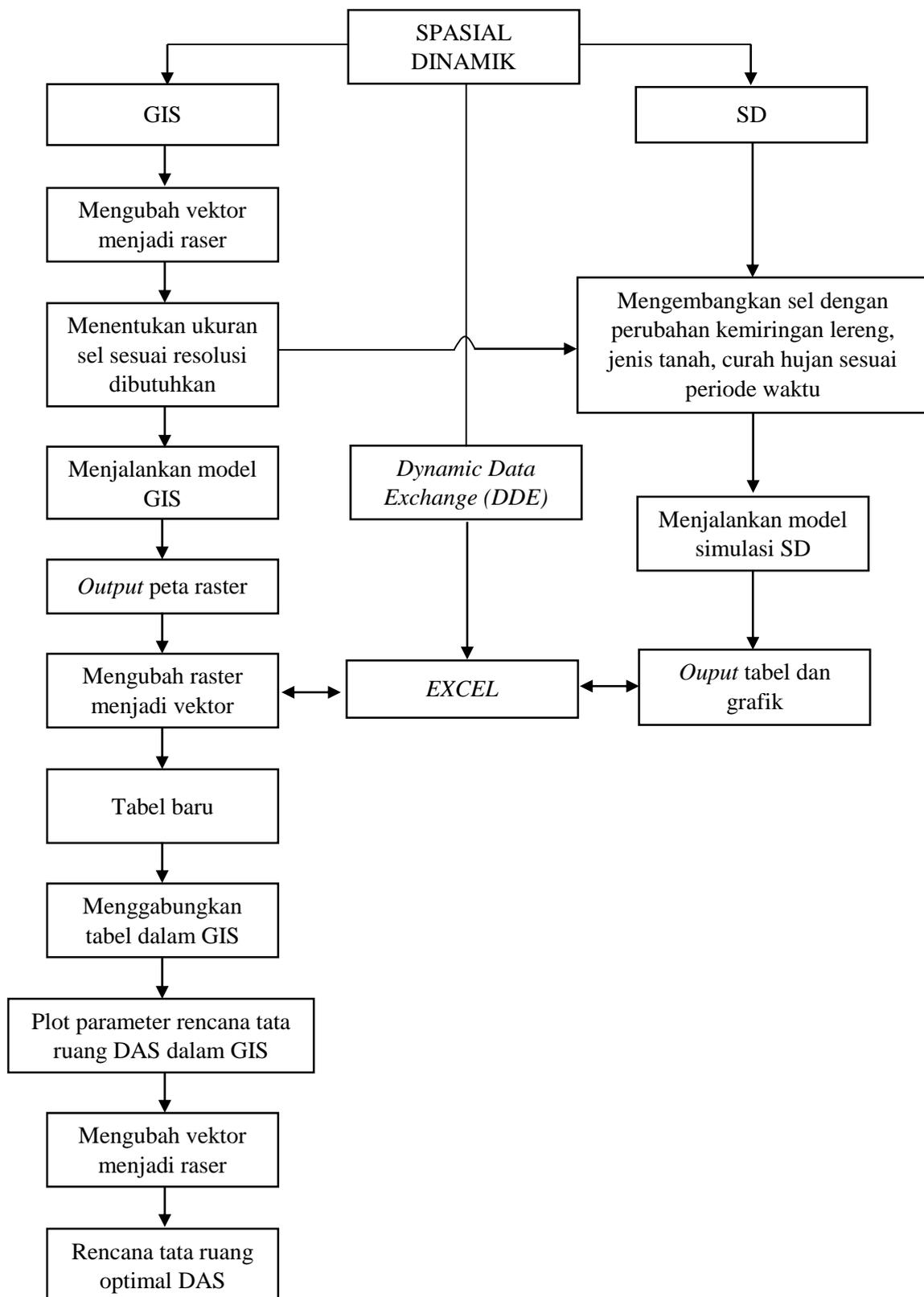
Adapun tahapan-tahapan spasial dinamik dalam penelitian ini, dapat dilihat pada gambar 13.

### **3.3.3 Analisis Perumusan Kebijakan Alternatif Perencanaan Tata Ruang DAS Citarum Hulu**

Kebijakan adalah suatu upaya atau tindakan untuk mempengaruhi sistem mencapai tujuan yang diinginkan. Oleh karena sasaran kebijakan adalah mempengaruhi sistem, maka tindakan tersebut bersifat strategis, yaitu yang bersifat jangka panjang dan menyeluruh. Dalam rangka mempengaruhi sistem tersebut, digunakan pilihan yang sistemnya tetap. Jika sistemnya tetap, maka analisis terhadap langkah-langkah yang diambil menghasilkan alternatif langkah yang mempengaruhi fungsi dari unsur sistem atau disebut sebagai kebijakan fungsional. Pengambilan langkah kebijakan fungsional dalam perkiraan lingkungan yang tetap adalah suatu tindakan yang bersifat aktif. Pengambilan langkah kebijakan fungsional dalam lingkungan sistem yang berubah cepat adalah suatu tindakan yang bersifat reaktif, demikian pula harus mempertimbangkan sejauh mana kontinuitas sistem yang lama tetap bertahan dalam perubahan lingkungan sistem ke depan (Soesilo dan Karuniasa 2014).

Tahapan yang dilakukan dalam merumuskan kebijakan terdiri dari :

- Sesuai skenario terpilih, dirumuskan kebijakan fungsional;
- Kebijakan dirumuskan berdasarkan parameter-parameter yang mempengaruhi perencanaan tata ruang optimal di DAS Citarum Hulu, dengan memperhatikan struktur ruang dan pola ruang DAS Citarum Hulu, agar dapat berfungsi sebagai kawasan lindung.



Gambar 13 Diagram Alir Data dan Informasi Rencana Tata Ruang DAS Citarum Hulu dengan Menggunakan Spasial Dinamik