

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Tata Ruang

Berikut ini beberapa pendapat tentang pengertian perencanaan tata ruang sebagaimana diuraikan oleh *Economic Commission for Europe (UNECE)* (2008). Perencanaan tata ruang berkaitan dengan persoalan koordinasi atau integrasi dimensi spasial kebijakan sektoral melalui strategi berbasis wilayah (Cullingworth dan Nadin 2006). Regulasi penggunaan lahan yang lebih sederhana, perencanaan tata ruang membahas tekanan dan kontradiksi antara kebijakan sektoral, misalnya konflik antara pengembangan ekonomi, lingkungan dan kebijakan kohesi sosial. Peran kunci perencanaan tata ruang adalah mengembangkan pengaturan aktivitas yang lebih rasional dan merekonsiliasi tujuan kebijakan. Ruang lingkup perencanaan sangat berbeda dari satu negara ke negara lain, tetapi kebanyakan memiliki sejumlah kesamaan. Di hampir semua negara, perencanaan tata ruang berkaitan dengan identifikasi strategi dan sasaran jangka panjang dan menengah pada suatu wilayah, berhubungan dengan penggunaan lahan dan pengembangan fisik sebagai suatu sektor berbeda dari kegiatan pemerintah, dan koordinasi kebijakan sektoral seperti transpor, pertanian dan lingkungan (Koresawa dan Konvitz 2001).

Di Inggris, pemerintah mendefinisikan perencanaan tata ruang sebagai perencanaan penggunaan lahan tradisional untuk integrasi kebijakan pada pengembangan dan penggunaan lahan dengan kebijakan dan program lainnya yang mempengaruhi baik sifat dan fungsi tempat. Hal ini mencakup kebijakan yang berdampak pada penggunaan lahan tetapi yang tidak mampu disampaikan semata-mata atau terutama melalui pemberian atau penolakan ijin perencanaan dan yang dapat diimplementasikan dengan cara lainnya (United Kingdom Office of the Deputy Prime Minister 2005). Di Slovenia, perencanaan tata ruang didefinisikan pada Undang-Undang Perencanaan Tata Ruang Tahun 2002 sebagai aktivitas antar disiplin yang melibatkan perencanaan penggunaan lahan, penentuan kondisi untuk pengembangan dan lokasi aktivitas, identifikasi langkah-langkah untuk memperbaiki struktur fisik eksisting dan penentuan kondisi untuk lokasi dan

eksekusi struktur fisik yang direncanakan (Slovenian Ministry of the Environment, Spatial Planning and Energy 2002).

Perencanaan tata ruang adalah proses pengalokasian, pembentukan, pengukuran dan harmonisasi ruang atau lahan untuk penggunaan yang multifungsi (Albrechts 2006). Aktivitas perencanaan tata ruang merupakan tanggungjawab badan-badan perencana pada tingkat pemerintahan dan yurisdiksi yang berbeda-beda. Perencanaan tata ruang membutuhkan input dari banyak disiplin, seperti perencana, ahli ekonomi, ahli sosiologi, administrator publik, analis transportasi dan ahli spesialis geo-informasi (Berke Godschalk 2006 dalam Sutanta 2012).

Menurut Sutanta (2012) tujuan perencanaan tata ruang adalah untuk mengembangkan suatu rencana yang memastikan keberlanjutan sumberdaya lahan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan generasi mendatang dalam hubungannya dengan aktivitas ekonomi, kemampuan hidup, perlindungan lingkungan dan kehidupan sosio-budaya. Banyak proses yang mempengaruhi hasil, mencakup penggunaan lahan eksisting, pertumbuhan populasi, pengembangan ekonomi, daya dukung lingkungan, infrastruktur, kebijakan transpor, aspek sosio-budaya dan kerusakan alam. Kerusakan alam merupakan aspek mendasar untuk memastikan bahwa pembangunan saat ini dan mendatang tidak akan diatur kembali oleh bencana alam dimasa mendatang. Lebih lanjut, kelompok-kelompok politik dan masyarakat bisnis juga berusaha untuk mempengaruhi pengembangan rencana ruang untuk mendapatkan manfaat keuntungan setinggi-tingginya.

Berke dan Godschalk (2006) dalam Sutanta (2012) berpendapat bahwa terdapat empat nilai inti yang akan dicapai perencanaan tata ruang yang berhasil yaitu perlindungan lingkungan, pemerataan, pengembangan ekonomi, dan kemampuan hidup. Nilai perlindungan lingkungan berhubungan dengan permasalahan penggunaan sumber daya lahan dan produksi sampah, dengan keberlanjutan lingkungan sebagai unsur utama. Nilai pemerataan bertujuan untuk mempertahankan harmonisasi keadaan sosial dan meningkatkan pemerataan distribusi sumber daya, pelayanan dan peluang. Perencanaan tata ruang membutuhkan pertimbangan manfaat manajemen lahan yang terbaik, karena lahan dan lokasi merupakan faktor penting dalam produksi dan investasi. Nilai lahan dan pasar lahan merupakan unsur yang mempengaruhi dan dipengaruhi oleh

pengalokasian penggunaan lahan. Prinsip umum ini dibutuhkan untuk memperoleh pengembangan rencana ruang yang berhasil; namun karakteristik khas pada tiap-tiap lokasi secara merata penting.

Perencanaan tata ruang akan selalu mengantisipasi konsekuensi tindakan yang direncanakan. Melalui antisipasi ketidakpastian maka konsekuensi kedepan dapat dikurangi dan dipercaya bahwa legitimasi masing-masing badan pembuat keputusan demokratis dapat ditingkatkan. Hal ini sangat relevan dalam kasus keputusan tentang pembangunan pada area berbahaya dimana kehidupan, properti dan nilai ekonomi beresiko. Kewenangan penataan ruang, yang bertugas membuat keputusan untuk area geografis tertentu, harus mempertimbangkan semua bahaya spasial yang relevan dan tidak dapat mengurangi fokusnya hanya pada satu atau dua bahaya seperti banjir dan tanah longsor. Alasannya adalah bahwa perencanaan tata ruang yang bertanggungjawab untuk area spasial tertentu (dimana jumlah dari bahaya mendefinisikan semua resiko spasial) dan bukan objek tertentu (seperti area, misalnya, institusi perencanaan sektoral seperti penyedia utilitas). Karena fakta ini, perencanaan tata ruang idealnya memilih pendekatan multi-bahaya atau multi-resiko untuk mampu menghadapi dengan tepat resiko dan bahaya dalam konteks spasial (Armonia 2007).

Menurut Verhaeghe dan Zondag (2009) tantangan saat ini pada implementasi efisiensi kerangka kerja perencanaan tata ruang yang mampu melindungi kepentingan pada 3 p's (manusia, planet, dan lingkungan).

Mengapa perencanaan tata ruang penting? *Economic Commission for Europe* (UNECE) (2008) memandang bahwa perencanaan tata ruang penting untuk memberikan manfaat ekonomi, sosial dan lingkungan dengan membuat kondisi lebih stabil dapat diprediksi bagi investasi dan pembangunan, dengan mengamankan manfaat masyarakat dari pembangunan, dan dengan mempromosikan penggunaan lahan dan sumber daya alam yang bijaksana untuk pembangunan. Perencanaan tata ruang dengan demikian merupakan pengungkit penting untuk mempromosikan pembangunan berkelanjutan dan meningkatkan kualitas hidup. Tumbuhnya komitmen pada pembangunan berkelanjutan di banyak negara dan meningkatkan kepentingan pada sistem dan kebijakan perencanaan tata ruang.

Manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan perencanaan tata ruang dapat diuraikan di bawah ini.

Manfaat ekonomi :

- Menyediakan kepercayaan dan stabilitas untuk investasi;
- Mengidentifikasi lahan pada lokasi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan pengembangan ekonomi;
- Memastikan lahan untuk pengembangan ditempat yang sesuai dalam hubungannya dengan jaringan transpor dan tenaga kerja;
- Mempromosikan kualitas lingkungan di area perkotaan dan perdesaan, yang dapat dibuat dengan kondisi lebih nyaman untuk investasi dan pembangunan;
- Mengidentifikasi pembangunan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat lokal;
- Mempromosikan regenerasi dan pembaharuan;
- Membuat keputusan dengan cara lebih efisien dan konsisten

Manfaat sosial :

- Mempertimbangkan kebutuhan masyarakat setempat dalam pengembangan kebijakan;
- Memperbaiki aksesibilitas lokasi pembangunan baru;
- Mendukung penyediaan fasilitas lokal pada tempat yang kurang;
- Mempromosikan penggunaan kembali lahan yang kosong dan terlantar, terutama yang berdampak pada kualitas hidup dan pengembangan potensi ekonomi;
- Membantu membuat dan mempertahankan lingkungan yang menyenangkan, sehat dan aman.

Manfaat lingkungan :

- Mempromosikan penggunaan lahan, bangunan dan infrastruktur yang tepat;
- Mempromosikan penggunaan lahan yang sebelumnya dikembangkan (*brownfield*) dan meminimumkan pengembangan lahan *greenfield*;
- Konservasi lingkungan, asset budaya dan sejarah;
- Mengatasi resiko lingkungan potensil (misalnya banjir, kualitas udara);
- Melindungi dan meningkatkan area untuk rekreasi dan warisan alam;
- Mempromosikan akses pada pengembangan semua moda transportasi (misalnya berjalan, bersepeda, dan angkutan umum), tidak hanya dengan mobil;

- Mendorong efisiensi energi dalam tata letak dan rancangan pembangunan.

Lebih lanjut Economic Commission for Europe (UNECE) (2008) menjelaskan bahwa perencanaan tata ruang mempunyai peran kunci dalam penyediaan kerangka kerja jangka panjang untuk pengembangan dan koordinasi kebijakan menurut sektor. Perencanaan tata ruang menyediakan visi dan arahan umum kebijakan dan program dan identifikasi prioritas untuk kebijakan, perencanaan tata ruang dapat membantu untuk mencegah duplikasi upaya oleh perbedaan departemen dan ruang pemerintah dan dapat membantu koordinasi kebijakan sektoral. Perencanaan tata ruang dapat juga membantu untuk mempromosikan pertumbuhan ekonomi dan investasi, serta panduan kebijakan untuk perlindungan lingkungan, dan mempromosikan lebih efisien penggunaan sumber daya.

Tujuan perencanaan tata ruang yaitu :

- a. Mengelola laju pertumbuhan, urbanisasi dan investasi skala besar;
- b. Menjamin kecukupan infrastruktur, penyediaan air bersih, dan sistem persampahan;
- c. Menghindari korupsi dan pembuatan keputusan untuk kepentingan kelompok tertentu;
- d. Mengurangi kerusakan lingkungan dan membatasi dampak bencana alam;
- e. Memastikan kecukupan ketersediaan lahan, perikanan dan kehutanan di masa mendatang;
- f. Meningkatkan dan melindungi sumber daya alam;
- g. Adaptasi dan persiapan perubahan iklim.

Food and Agriculture PBB (2015) menjelaskan, tiga prinsip kunci utama perencanaan tata ruang yaitu :

- a. Berdasarkan dialog

Bagian utama perencanaan tata ruang yaitu inisiasi dialog yang memungkinkan semua kelompok *stakeholders* dapat mengekspresikan kepentingan dan memungkinkan setuju pada penggunaan lahan, perikanan dan kehutanan dimasa datang yang menghormati semua posisi secara adil.

- b. Proses inklusif

Semua kelompok *stakeholders* terwakili : pengguna tidak langsung dan langsung lokal, pembuat keputusan, organisasi non pemerintah (*NGOs*), investor swasta,

partisipasi *stakeholders* secara langsung atau tidak langsung

c. Keterlibatan warga

Memastikan implementasi rencana ruang, partisipasi aktif populasi dalam proses perencanaan. Keseluruhan *stakeholders* terkait terlibat dalam proses perencanaan tata ruang, mencakup pengembangan proposal perencanaan tata ruang.

Berdasarkan ketiga prinsip di atas, orientasi perencanaan tata ruang (*Food and Agriculture* PBB 2015) yaitu:

a. Kondisi lokal

Tidak hanya isi suatu rencana yang mengadaptasi kondisi lokal, tetapi metode juga mempunyai ketepatan teknik, ekonomi dan kapasitas organisasi pada populasi lokal serta administrasi.

b. Pengetahuan lokal

Pengetahuan masyarakat harus dikaji dan dipolarisasi. Masyarakat atau kelompok perdesaan mempunyai kearifan lokal kompleks pada lingkungan alam. Untuk itu, masyarakat atau kelompok perdesaan dapat berkontribusi memberikan informasi berharga dan harus dimobilisasi selama proses perencanaan.

c. Strategi lokal

Masyarakat perdesaan tradisional mempunyai cara-cara yang mereka miliki mendekati persoalan dan menyelesaikan konflik penggunaan lahan, perikanan dan kehutanan. Dalam proses perencanaan tata ruang, mekanisme hendaknya telah dipahami dan dipertimbangkan

Menurut *Food and Agriculture* PBB (2015), fungsi perencanaan tata ruang yaitu

a. Fungsi pengembangan

Fungsi pengembangan mencakup pembuatan infrastruktur dan area perkotaan baru; eksploitasi sumber daya alam; regenerasi area industri, dan penyediaan pelayanan dasar.

b. Fungsi pengaturan atau pembatasan

Norma-norma dan pengaturannya adalah penting untuk mengontrol kepastian penggunaan lahan, perikanan dan kehutanan, untuk melindungi kepemilikan

publik dan swasta dan untuk menghindari eksternalitas negatif atau memfasilitasi eksternalitas positif kepastian penggunaan lahan.

c. Fungsi koordinasi

Tujuan dan upaya para aktor adalah bersama-sama menghindari konflik, mengurangi pengulangan, dan membuat sinergi, misalnya antara rencana pada adaptasi iklim dan rencana pada renovasi sistem drainase

Menurut Rustiadi *et al.* (2006), harus ada dua kondisi yang harus dipenuhi di dalam perencanaan tata ruang: pertama, kebutuhan masyarakat untuk melakukan perubahan atau upaya untuk mencegah terjadinya perubahan yang tidak diinginkan; kedua, adanya *political will* dan kemampuan untuk mengimplementasikan perencanaan yang disusun. Selanjutnya dijelaskan bahwa, sasaran utama dari perencanaan tata ruang adalah untuk menghasilkan penggunaan yang terbaik, namun biasanya dapat dikelompokkan atas tiga sasaran umum : (1) efisiensi, (2) keadilan dan akseptabilitas masyarakat, (3) keberlanjutan. Sasaran efisiensi merujuk pada manfaat ekonomi, dimana dalam konteks kepentingan publik, pemanfaatan ruang diarahkan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat (publik). Tata ruang harus merupakan perwujudan keadilan dan melibatkan partisipasi masyarakat, oleh karenanya yang disusun harus dapat diterima oleh masyarakat. Perencanaan tata ruang juga harus berorientasi pada keseimbangan fisik-lingkungan dan sosial sehingga menjamin peningkatan kesejahteraan secara berkelanjutan (*sustainable*).

2.2 Spasial Dinamik

Ahmad dan Slobodan (2004), Neuwirth dan Peck (2013) menggunakan istilah spasial dinamik dengan *Spatial System Dynamics* (SSD). Niazi *et al.* (2014) mengatakan, spasial dinamik menggabungkan kekuatan analisis temporal dan spasial, dicapai melalui sistem dinamik (SD) dan sistem informasi geografis (SIG). Penggabungan didefinisikan sebagai hubungan di antara dua sistem yang berdiri sendiri melalui transfer data (De Smith *et al* 2007). Dalam penelitian ini yang digabungkan melalui transfer data adalah sistem dinamik (SD) dan sistem informasi geografis (SIG).

Menurut Peck *et al.* (2014), kebutuhan untuk menggabungkan sistem dinamik dengan sistem informasi geografis muncul dari :

- a. Kebutuhan untuk menggunakan kembali struktur yang telah tersedia untuk memperoleh solusi yang dapat digunakan untuk lebih dari satu aplikasi spesifik.
- b. GIS merupakan alat analisis spasial, juga alat yang menyediakan model canggih untuk visualisasi dan manajemen data spasial.
- c. Kurangnya alat-alat terstandarisasi sesudah dan sebelum processing data.
- d. GIS mempunyai alat analisis spasial dan berbagai fungsi tersedia untuk digunakan, sehingga tidak dibutuhkan untuk melakukan program ulang keseluruhan fitur yang dipaketkan.
- e. Fakta bahwa menggabungkan sistem dinamik dengan GIS merupakan prosedur unik kerangka kerja berbasis komputer untuk pemodelan spatiotemporal.

Lebih lanjut Peck *et al.* (2014) mengatakan, terdapat beberapa hal yang perlu diperhitungkan ketika mengembangkan dan mengoperasikan penggabungan sistem dinamik dan sistem informasi geografis yaitu:

- Resolusi spasial data SIG;
- Kompleksitas model simulasi sistem dinamik;
- Variabel dalam model sistem dinamik tergantung secara spasial;
- Dibutuhkannya sejumlah analisis simulasi SIG;
- Penerimaan tingkat agregasi;
- Batas-batas spasial (baik fisik dan politik);
- Upaya komputasi;
- Ketersediaan sumber daya (bertujuan untuk mengintegrasikan ruang dalam model sistem dinamik. Terdapat kebutuhan bagi manusia, keuangan, teknologi dan waktu); dan
- Berpengalaman dalam program penggabungan sistem dinamik dan sistem informasi geografis.

Pemodelan spasial dinamik merupakan simulasi dinamik temporal dan spasial, sebagai perilaku non linear dari sistem yang sangat kompleks tidak dapat secara intuitif diperkirakan. Sistem dunia nyata sangat dinamis baik waktu dan spasial dan tidak dapat diantisipasi, bahkan perilaku kontra intuitif dapat terjadi dalam sistem kompleks (Forrester 1971), karena seringkali “sebab dan akibat adalah jelas dalam waktu dan ruang” (Sanders dan Sanders 2004). Untuk itu, agar perilaku simulasi lebih akurat mencakup dampak dan interaksi antara waktu dan

ruang. Ini pada akhirnya membantu efektivitas keputusan kebijakan dan membantu mengidentifikasi tindakan yang akan membantu pencapaian tujuan yang diinginkan (Neuwirth *et al.* 2014).

Mengingat kekuatan Sistem Dinamik (SD) dalam menunjukkan proses temporal dengan kemampuan pemodelan spasial yang terbatas, dan kemampuan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemodelan spasial dengan penggambaran terbatas aspek temporal, alternatif yang logis adalah integrasi SD dengan GIS pada model *System Spatial Dynamics* (SSD). Dengan pengintegrasian GIS dan SD, umpan balik berdasarkan proses dinamik dapat dimodelkan dalam ruang dan waktu. Upaya yang dilakukan untuk menambah dimensi spasial pada model Sistem Dinamik dapat dibagi dalam dua kategori: (1) memperkenalkan dimensi spasial dalam model Sistem Dinamik (pendekatan implisit); (2) menerjemahkan persamaan model Sistem Dinamik untuk dijalankan dalam GIS (Ahmad dan Simonovic 2004). Sementara itu, De Smith *et al.* (2007) menjelaskan, terdapat beberapa penggabungan yang dapat dibedakan yaitu *loose coupling*, *moderate coupling*, *tight* atau *close coupling*, dan *embedding*. Pada *loose coupling*: terdapat asinkronisasi pengoperasian fungsi pada SD dan GIS, melalui pertukaran data di antara SD dengan GIS dalam bentuk *files*. *Moderate Coupling*: kategori ini merupakan teknik yang merangkum antara *loose coupling* dengan *tight* atau *close coupling*. Terdapat pembagian akses *database* pada hubungan antara SD dengan GIS, yang memungkinkan komunikasi secara tidak langsung antara SD dan GIS. *Tight* atau *Close Coupling*: tipe ini dicirikan dengan pengoperasian simultan antara SD dengan GIS yang memungkinkan komunikasi secara langsung antara SD dengan GIS. *Embedding*: penggabungan dengan sistem dominan (SD atau GIS) menggunakan bahasa program utama.

Loose Coupling: LC biasanya melibatkan ketidak sinkronisasian pengoperasian fungsi pada tiap-tiap sistem, dengan pertukaran data antara sistem dalam bentuk *file*. Contoh, GIS dapat digunakan untuk menyiapkan input, kemudian diteruskan ke sistem s/m, dimana setelah eksekusi hasil pada model dikembalikan pada GIS untuk ditunjukkan dan dianalisis. Pendekatan ini membutuhkan GIS dan sistem s/m untuk memahami data format yang sama; jika tidak terdapat format umum, suatu tambahan *software* dibutuhkan untuk merubah

format pada keseluruhan perintah. Kadang—kadang, program khusus baru harus dikembangkan untuk melakukan modifikasi format.

Moderate Coupling: secara mendasar kategori ini merangkum teknik antara L dan T/C *Coupling*. Contoh, Westervelt (2002) menganjurkan *Remote Procedure Calls (RPCs)* dan membagi keterkaitan akses *database* antara GIS dan sistem s/m, memungkinkan komunikasi tidak langsung antara sistem. Tidak dapat dielakkan, ini mengurangi kecepatan eksekusi pengintegrasian sistem, dan menurunkan kemampuan eksekusi secara simultan komponen-komponen yang dimiliki pada *software* yang berbeda.

Tight atau Close Coupling: tipe keterkaitan ini dicirikan oleh pengoperasian secara bersamaan sistem yang memungkinkan komunikasi antar sistem selama program dijalankan. Contoh, standar seperti Microsoft's COM dan kerangka kerja NET yang memungkinkan skrip tunggal (*single script*) untuk memanggil perintah dari seluruh sistem (Ungerer dan Goodchild 2002). Suatu varian pendekatan ini memungkinkan komunikasi antar sistem dengan proses berbeda yang dapat dijalankan oleh lebih dari satu jaringan komputer (proses yang terdistribusi).

2.3 Sistem Dinamik

Di akhir 1950-an, Profesor Jay W. Forster di Sekolah Manajemen Sloan Institut Teknologi Massachusetts, mengembangkan metode sistem dinamik. Sejak itu, metode ini diaplikasikan secara luas pada permasalahan-permasalahan dan persoalan-persoalan baik pada sektor publik maupun swasta. Perusahaan besar dan instansi pemerintah menggunakannya untuk memperoleh wawasan dari bangunan model sistem dinamik dalam strategi dan rancangan kebijakannya, taktik dan pengoperasian pengambilan keputusan (Modell Data 1994).

Martin (1997a) menjelaskan, dalam lapangan sistem dinamik, sistem yaitu suatu kumpulan komponen-komponen yang secara terus-menerus berinteraksi terhadap waktu untuk membentuk satu kesatuan yang utuh. Hubungan utama dan hubungan komponen-komponen suatu sistem disebut struktur sistem. Kirkwood (1998) mengatakan, sistem yaitu suatu kumpulan komponen-komponen yang saling tergantung membentuk suatu kesatuan pola. Anderson dan Johnson (1997) berpendapat, sistem adalah suatu kumpulan komponen yang saling berinteraksi,

saling berhubungan, saling bergantung membentuk keseluruhan yang kompleks dan satu kesatuan. Sedangkan menurut Marimin (2007) sistem adalah suatu kesatuan usaha yang terdiri dari bagian-bagian yang berkaitan satu sama lain yang berusaha mencapai suatu tujuan dalam suatu lingkungan kompleks.

Sistem mempunyai beberapa karakteristik esensial (Anderson dan Johnson 1997) meliputi :

- a. Bagian-bagian sistem harus secara keseluruhan terdapat pada sistem untuk melakukan tujuannya secara optimal
Jika suatu komponen diambil atau ditambahkan tanpa mempengaruhi fungsi dan hubungannya, maka tetap hanya suatu kumpulan, bukan suatu sistem.
- b. Bagian-bagian sistem harus diatur dengan cara tertentu agar sistem melakukan tujuannya
Jika komponen-komponen penggabungan dikombinasikan dalam urutan acak, maka komponen-komponen tersebut tidak dapat membentuk sistem.
- c. Sistem mempunyai tujuan tertentu dalam sistem yang lebih besar
Semua sistem mempunyai tujuan tertentu dalam hubungannya dengan sistem yang lebih besar. Dua atau lebih sistem tidak bisa dipaksa bersama-sama dan mendapatkan sistem yang baru, tunggal dan lebih besar. Sistem tidak bisa dibagi dan secara otomatis berakhir dengan dua sistem berfungsi yang lebih kecil identik
- d. Sistem mempertahankan stabilitasnya melalui fluktuasi dan penyesuaian
Sistem mencapai stabilitas melalui interaksi, umpan balik, dan penyesuaian yang terus menerus berputar di antara bagian dan lingkungan sistem, dan antara sistem dan lingkungannya.
- e. Sistem mempunyai umpan balik (*feedback*)
Feedback adalah transmisi dan pengembalian informasi. Suatu sistem mempunyai umpan balik dalam sistem itu sendiri. Tetapi karena semua sistem adalah bagian dari sistem yang lebih besar, suatu sistem juga mempunyai umpan balik antara sistem itu sendiri dan sistem eksternal. Pada beberapa sistem, umpan balik dan proses penyesuaian terjadi sangat cepat yang relatif mudah bagi *observer* untuk mengikutinya. Pada sistem lain, sistem dapat berlangsung lama

sebelum umpan balik dikembalikan, sehingga *observer* akan mengalami masalah mengidentifikasi tindakan umpan balik yang tepat.

Menurut Martin (1997a), sistem dinamik yaitu suatu metodologi yang digunakan untuk memahami bagaimana sistem berubah terhadap waktu. Cara dimana unsur-unsur atau variabel-variabel penyusun suatu sistem bervariasi terhadap waktu disebut perilaku sistem. Salah satu ciri yang umum pada seluruh sistem adalah bahwa struktur sistem menentukan perilaku sistem. Sistem dinamik menghubungkan perilaku sistem berdasarkan struktur sistem. Sterman (2002) mengatakan, sistem dinamik adalah suatu metode untuk pengembangan dan pengujian formal model matematika dan simulasi komputer sistem dinamik nonlinear yang kompleks. Karena kita memberikan perhatian pada perilaku sistem kompleks, sistem dinamik didasarkan pada teori dinamik non linear dan kontrol umpan balik (*feedback*). Soesilo dan Karuniasa (2014) menjelaskan, kompleksitas, dinamika, non linieritas, dan *feedback* menjadi ciri-ciri sistem dinamik.

Kompleksitas. Kompleksitas didefinisikan dalam hubungannya dengan banyaknya komponen atau hubungan di antara komponen dalam suatu sistem, atau dimensionalitas ruang pencarian. Beberapa karakteristik sistem kompleks:

- Perubahan secara konstan (*constantly changing*). Apa yang terlihat tidak berubah adalah dalam jangka waktu yang lama, nampak bervariasi. Perubahan terjadi pada banyak skala waktu, dan perbedaan skala kadang-kadang saling berinteraksi.
- Digabungkan secara ketat (*tightly coupled*). Aktor dalam sistem saling berinteraksi kuat antara yang satu dengan lainnya dan dengan alam dunia. Sesuatu dihubungkan dengan sesuatu yang lainnya.
- Diatur oleh umpan balik (*governed by feedback*). Karena dipasangkan ketat diantara para aktor, tindakan kita merupakan umpan balik di antara para aktor. Keputusan kita merubah keadaan dunia, menyebabkan perubahan alam dan pemicu kepada yang lainnya untuk bertindak, sehingga menimbulkan suatu situasi baru, yang kemudian mempengaruhi keputusan kita berikutnya.
- Nonlinear. Efek jarang proporsional pada penyebab, dan apa yang terjadi secara lokal dalam sistem (dekat titik pengoperasian saat ini) seringkali tidak berlaku pada daerah yang jauh (negara-negara lain pada sistem). Nonlinearitas sering

timbul dari fisik dasar, juga dari faktor jamak saling interaksi dalam pembuatan keputusan.

- Ketergantungan sejarah (*history-dependent*). Banyak tindakan tidak dapat balik. *Stocks* dan *flows* (akumulasi) dan waktu tundaan yang lama sering bermakna melakukan dan tidak melakukan mempunyai perbedaan secara fundamental waktu konstan.
- Pengorganisasian sendiri (*self-organizing*). Dinamik dari sistem muncul secara spontan dari internalnya.
- Adaptif dan berkembang (*adaptive and evolving*). Kemampuan dan perilaku dari agen dalam sistem kompleks berubah terhadap waktu.
- Dicirikan oleh *trade-offs*. Waktu tunda (*time delay*) dalam saluran umpan balik (*feedback*) bermakna bahwa respon jangka panjang pada intervensi seringkali berbeda dari respon jangka pendek. Kebijakan dengan pengaruh rendah, seringkali menghasilkan peningkatan sementara sebelum persoalan tumbuh lebih buruk, sedangkan kebijakan berpengaruh tinggi, seringkali menyebabkan perilaku lebih baik sebelum lebih buruk.
- Berlawanan (*counter intuitive*). Dalam sistem kompleks, sebab dan akibat adalah jauh dalam ruang dan waktu, sedangkan kita cenderung untuk mencari penyebab, yang dekat dengan peristiwa yang kita berusaha untuk menjelaskan. Perhatian kita ditarik gejala yang sulit daripada penyebab utama. Kebijakan yang berpengaruh tinggi seringkali tidak jelas.
- Perlawanan kebijakan (*policy resistance*). Kompleksitas sistem dimana kita tertanam menguasai kemampuan untuk memahaminya. Hasilnya: banyak solusi yang nampaknya jelas pada persoalan-persoalan gagal atau secara aktual memperburuk situasi.

Sistem dicirikan nonlinear jika sistem mengandung perkalian atau pembagian variabel atau jika sistem mempunyai koefisien yang merupakan fungsi dari suatu variabel. Keseluruhan sistem sosial didominasi oleh perilaku nonlinear.

Sibernetik (*cybernetics*) sebagai nama lain dari proses umpan balik menjadi kata umum dalam ilmu biologi. Terdapat 4 (empat) dimensi atau karakteristik sistem umpan balik yaitu *order*, *direction of feedback*, *nonlinearity*, dan *loop multiplicity* (Forrester 1968). Struktur dasar dari suatu sistem umpan balik (*feed*

back) adalah *loop* dengan mana kondisi sistem menyediakan input untuk proses keputusan yang menghasilkan tindakan untuk memodifikasi kondisi sistem. Struktur dasar dari suatu sistem umpan balik adalah suatu proses perputaran yang terjadi secara terus menerus (Forrester 1968).

Feed back merupakan ciri sistem dinamik. Berdasarkan sudut pandang sistem dinamik, suatu sistem dapat diklasifikasikan atas terbuka dan tertutup. Sistem terbuka mempunyai output yang merespon, tetapi tidak mempunyai pengaruh terhadap input. Sistem tertutup, mempunyai output yang merespon, dan pengaruh terhadap input, dipengaruhi perilaku sebelumnya, sementara itu sistem terbuka tidak (Radzicki dan Taylor 1997).

Sistem dinamik adalah suatu pendekatan yang memikirkan dan mensimulasikan situasi dan organisasi pada semua jenis dan ukuran dengan memvisualisasikan bagaimana komponen-komponen sesuai bersama, berinteraksi dan berubah terhadap waktu (Morecroft 1997). Sistem dinamik adalah suatu pendekatan yang efektif untuk membantu menyatakan perilaku sistem yang kompleks. Tujuan utama model sistem dinamik yaitu memberikan wawasan pada perilaku sistem non linear dengan tujuan akhir membantu informasi pembuatan keputusan bagi *stakeholders* dan pembuat keputusan (Neuwirth *et al.* 2014).

Sistem dinamik adalah suatu metodologi dan teknik pemodelan simulasi komputer yang mampu untuk membentuk, memahami, dan mendiskusikan persoalan-persoalan dan permasalahan kompleks. Sistem dinamik pada awalnya dikembangkan untuk membantu manajer perusahaan mempertajam pemahamannya pada proses industri. Sistem dinamik saat ini digunakan pada sektor publik dan swasta untuk merancang dan menganalisis kebijakan (Radzicki dan Taylor 1997).

Tujuan sistem dinamik yaitu meningkatkan pemahaman kita tentang cara-cara di mana kinerja organisasi dihubungkan dengan struktur internal dan kebijakan pengoperasian, mencakup pelanggan, pesaing, dan penyuplai dan kemudian menggunakan pemahaman untuk merancang kebijakan untuk keberhasilan (Sterman 2000)

Sistem dinamik membutuhkan penggunaan data kualitatif yang intens dan penilaian manusia dalam keseluruhan tahap pengembangan model. Sebagian besar pendekatan pada inklusi formal data kualitatif telah dikembangkan dengan tujuan

memasukkan pengetahuan selama konseptualisasi atau tahap formulasi pengembangan model. Meskipun penting menggunakan penilaian ahli untuk menilai keabsahan model sistem dinamik juga diakui, pengembangan pendekatan untuk menggunakan berbagai jenis penilaian tidak berkembang dengan baik (Reyes *et al.*).

Paket perangkat lunak pemodelan sistem dinamik adalah fleksibel dan mengintegrasikan instrumen-instrumen pemodelan, yang dapat diaplikasikan pada berbagai persoalan (Niazi *et al.* 2014). Menurut Sterman (1992) model sistem dinamik sangat sesuai untuk mewakili yang melibatkan banyaknya hubungan saling ketergantungan. Lebih lanjut Sterman (2002) mengatakan sistem dinamik merupakan alat praktis bagi pembuat kebijakan yang dapat digunakan untuk membantu pembuat kebijakan memecahkan persoalan-persoalan penting.

Sistem dinamik (SD) mengkombinasikan simulasi matematik dan komputer untuk mengeksplor perilaku sistem dunia nyata, hubungan dan proses terhadap waktu. Pendekatan SD efektif untuk memformulasikan struktur (*structure*) sistem, memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pendorong perilaku (*behavior*) sistem dan mengkaji dinamik ke depan berdasarkan serangkaian asumsi. Dalam cara ini, pemodelan perilaku sistem terhadap waktu dapat memberikan wawasan pada hubungan yang signifikan, mengungkapkan pola, menunjukkan sumber daya perilaku sistem yang tidak diinginkan, dan membantu menghindari konsekuensi yang tidak terduga implementasi kebijakan dimasa depan. Dua sifat penting mencakup pendekatan sistem yaitu struktur model dan simulasi sistem (Neuwirth *et al.* 2014).

System dynamics digunakan untuk mempelajari sistem dengan 3 (tiga) tujuan, yaitu memahami sistem, mengoptimalkan kinerja sistem, dan memprediksi kinerja sistem. Memahami sistem berarti mengetahui unsur-unsur atau komponen sistem dan struktur sistem, termasuk hubungan, ketergantungan, dan interaksi antar komponen sistem, mengetahui perilaku sistem, dan mampu memandang sistem secara logis berdasarkan rasional yang dimiliki oleh sistem. Mengoptimasi kinerja sistem maksudnya adalah menciptakan kinerja sistem menggunakan skenario intervensi terhadap sistem untuk mengelola *feedback* yang mampu menghasilkan kinerja terbaik yang dapat dicapai oleh sistem. Memprediksi kinerja sistem adalah

melakukan simulasi sistem untuk menghasilkan kinerja sistem pada periode waktu dimasa mendatang, baik tanpa intervensi (*business as usual*) maupun dengan intervensi terhadap sistem (Soesilo dan Karuniasa 2014).

Sistem dinamik menggunakan model simulasi komputer untuk mengungkapkan bagaimana mengetahui struktur dan kebijakan yang dikenal sering menghasilkan perilaku yang tidak diperkirakan dan menyulitkan. Model komputer dibangun dari informasi deskriptif yang biasanya telah diketahui. Informasi yang berhubungan dengan mengusahakan untuk melakukan apa, dan apakah individu akan melakukan di bawah berbagai tekanan. Pendekatan yang sama membawa pada sistem bukan manusia dalam perubahan sifat dan fisik (Forrester, 1996). Berbagai macam *software* yang dapat dipakai untuk simulasi sistem dinamik seperti : *Dynamo*, *Vensim*, *Stella*, *I-Think*, *Ventana*, dan *Powersim* (Sterman 2002a, Jakapermana 2010).

Meskipun model-model SD dapat menggambarkan proses temporal sistem perilaku dinamis, tidak dapat cukup menggambarkan dan mensimulasikan unsur spasial dan keadaan dari sistem. Selain itu, hasil simulasi hanya dapat diungkapkan melalui grafik, tabel dan gaya sederhana lainnya dengan rendahnya tingkat visualisasi (Pei XB dan Zhao D. Zh 2000). Oleh karena itu, model SD sederhana adalah jelas jauh dari cukup untuk simulasi temporal dan spasial komprehensif sistem yang kompleks (Zhang 2008).

2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Geographic Information System (GIS) adalah suatu sistem manajemen *database* terpadu berbasis komputer yang menyimpan sejumlah besar data spasial beserta atribut atau data non-spasial yang ditangkap, disimpan, diambil, diolah dan dianalisis untuk memberikan jawaban atas permintaan geografis ketika diperlukan (Reddy *et al.* 2013). Menurut Longley *et al.* (2001), GIS adalah alat untuk melakukan pengoperasian data geografis yang tidak menarik atau mahal atau tidak akurat jika dilakukan dengan tangan. Sistem informasi geografis (SIG) merupakan suatu sistem (berbasis komputer) yang digunakan untuk menyimpan, dan menganalisis objek-objek dan fenomena-fenomena dimana lokasi geografis menjadi karakteristik yang penting untuk dianalisis. Murayama dan Estoque (2010),

mengatakan GIS yaitu suatu sistem yang dirancang untuk menyimpan, menganalisis, dan menunjukkan data spasial. GIS menggunakan perangkat keras, perangkat lunak, manusia, prosedur, dan data. Integrasi perangkat keras, perangkat lunak, dan data untuk menangkap, mengelola, menganalisis, dan menunjukkan keseluruhan informasi bereferensi secara geografis (ESRI, 2012). Suatu Sistem Informasi Geografis menggunakan data referensi geografis serta data non-spasial dan mencakup operasi yang mendukung analisis spasial. GIS secara garis besar dapat digambarkan sebagai suatu sistem perangkat keras, perangkat lunak dan prosedur yang dirancang untuk mendukung, menangkap, mengelola, memanipulasi, menganalisis, mengintegrasikan, mengambil, memperbaharui dan menampilkan data referensi secara spasial, untuk memecahkan problem-problem perencanaan dan manajemen yang kompleks (Tiwari *et al.* 2013). GIS adalah seperangkat alat yang mampu untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data spasial dan memberikan informasi yang berharga bagi manajer sumber daya alam. GIS menawarkan kemampuan analitik yang kuat dan model penyimpanan data yang melengkapi teknologi geospasial lainnya seperti penginderaan jauh (*remote sensing*) dan sistem penentuan geografik (*geographic positioning system/GPS*) (USAID, 2005). Nampak bahwa terdapat berbagai macam pengertian tentang GIS. Namun menurut Tiwari *et al.* (2013) definisi GIS meletakkan penekanan pada aspek teknis penanganan data spasial. Data spasial sejak zaman kuno dikumpulkan dan disajikan dalam bentuk peta.

Komponen-komponen GIS terdiri dari perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data, pengguna, dan metodologi. Perangkat keras meliputi komputer, *digitizer*, *scanner*, dan *plotter*. Perangkat lunak meliputi program dan *user interface* yang berfungsi untuk mengemudikan perangkat keras. Perangkat lunak sangat vital karena dapat menghasilkan, menyimpan, menganalisis, memanipulasi dan menampilkan informasi geografis atau data. Komponen GIS yang juga tak kalah pentingnya adalah data. GIS dapat mengintegrasikan data spasial dengan data tabular yang disimpan dalam DBMS (Reddy *et al.* 2013). DBMS (*Database Management System*) mencakup berbagai jenis kumpulan data spasial dan non-spasial yang berasal dari berbagai sumber (satelit, GPS, data berdasarkan peta dan lapangan, dan laporan) tentang daerah

aliran sungai seperti tanah, hidrologi, meteorologi, geologi, lahan dan vegetasi (Adinarayana *et al.* 2014). Pengguna merupakan orang-orang yang mengelola, mengembangkan, dan menggunakan GIS untuk membantu melakukan pekerjaan sehari-hari. Metodologi menekankan adanya rencana implementasi dan aturan-aturan bisnis yang dirancang dengan baik, agar pengoperasian GIS dapat meraih kesuksesan (Reddy *et al.* 2013).

Neuwirt dan Peck (2013) menjelaskan bahwa komponen GIS menyediakan tiga tujuan utama: (1) sebagai alat manajemen data spasial, (2) sebagai alat analisis spasial, dan (3) sebagai alat visualisasi berbasis peta.

Jenis-jenis data pada GIS yaitu *vektor*, *raster*, dan *attribute*. Pada model data vektor, fitur (*feature*) pada bumi digambarkan sebagai titik, garis, dan poligon. Dalam model data raster, fitur geografis seperti tutupan lahan digambarkan sebagai sel-sel persegi tunggal (*single square cells*). Nilai atribut dalam GIS disimpan sebagai tabel relasional data dasar, dan tiap-tiap fitur (titik, garis, poligon atau raster) dengan tiap *layer* GIS akan ditunjukkan sebagai suatu catatan dalam tabel (Murayama dan Estoque, 2010).

Menyangkut cara kerja GIS, Reddy *et al.* (2013) menjelaskan, terdapat dua metode yang secara luas digunakan untuk menyimpan data dalam GIS untuk keseluruhan jenis abstraksi referensi pemetaan—gambar raster dan vektor. Titik, garis, dan poligon dipetakan bereferensi lokasi atribut. Lokasi untuk fitur dilakukan dengan menggunakan sistem referensi lokasi, seperti bujur dan lintang, dan ketinggian. Setelah data dimasukkan ke dalam GIS, data dianalisis dengan perangkat lunak, selanjutnya diperoleh hasil yang dapat menjadi dasar dalam pembuatan keputusan.

Salah satu syarat GIS adalah data spasial yang dapat diperoleh dari beberapa sumber antara lain Peta Analog, Data Penginderaan Jauh, Data Hasil Pengukuran Lapangan, dan Data GPS (*Global Positioning System*). **Peta Analog.** Peta analog (antara lain peta topografi, peta tanah dan sebagainya) yaitu peta dalam bentuk cetak. Dalam tahapan SIG sebagai keperluan sumber data, peta analog dikonversi menjadi peta digital dengan cara perubahan format dari analog menjadi digital. Proses perubahannya dan input datanya dapat dengan cara manual menggunakan *digitizer*, maupun secara digital di layar monitor. **Data Penginderaan Jauh.** Data

Penginderaan Jauh (antara lain citra satelit, foto-udara dan sebagainya), merupakan sumber data yang terpenting bagi SIG karena ketersediaanya secara berkala dan mencakup area tertentu. Data ini biasanya direpresentasikan dalam format raster.

Data Hasil Pengukuran Lapangan. Data pengukuran lapangan yang dihasilkan berdasarkan teknik perhitungan tersendiri, pada umumnya data ini merupakan sumber data atribut contohnya: batas administrasi, batas kepemilikan lahan, batas persil, batas hak perusahaan hutan dan lain-lain. Data pengukuran lapangan yang bersifat spasial biasanya disimpan dalam bentuk tabel, untuk kemudian setelah dimasukkan di dalam SIG kemudian dibangun topologi data spasialnya. **Data GPS.** Teknologi GPS memberikan terobosan penting dalam menyediakan data bagi SIG. Keakuratan pengukuran GPS semakin tinggi dengan berkembangnya teknologi. Data ini biasanya direpresentasikan dalam format vektor (Kementerian Pekerjaan Umum 2013).

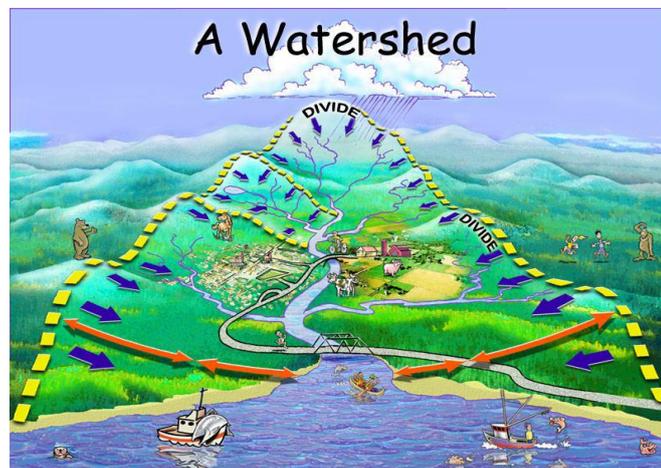
Secara umum, terdapat 5 (lima) kategori dasar manfaat GIS yaitu menghemat biaya dan meningkatkan efisiensi, pengambilan keputusan yang lebih baik, meningkatkan komunikasi, melakukan pencatatan yang lebih baik, melakukan pengelolaan secara geografis (ESRI, 2012). Sedangkan menurut Westminster College (2012), GIS mempunyai tujuan umum untuk melakukan 7 (tujuh) tugas-tugas yaitu input data, membuat peta, memanipulasi data, mengelola *file*, analisis dan *query*, dan visualisasi hasil (United Nation, 2000). Salah satu keterbatasan dari pendekatan GIS adalah statis (Ahmad dan Simonovic 2004).

2.5 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Istilah Daerah Aliran Sungai (DAS) banyak digunakan oleh beberapa ahli dengan makna atau pengertian yang berbeda-beda, ada yang menyamakan dengan *cachment area*, *watershed*, *drainage basin*, dan *river basin* (Sudaryono 2002, Snyder *et al.* 2003).

Daerah Aliran Sungai secara umum didefinisikan sebagai suatu area geografi dimana air, sedimen, dan material terlarut mengalir pada *outlet* yang sama atau sebagai suatu rangkaian ekosistem yang dihubungkan secara spasial dan temporal oleh aliran bawah air (Fulcher *et al.* 2001). DAS yaitu area pada lahan yang mengalir pada titik yang sama. Titik tersebut dapat berupa danau, *outlet* pada sungai, atau beberapa titik pada sistem sungai (Snyder *et al.* 2003).

Daerah Aliran Sungai adalah suatu jenis sumber daya bersama khusus: suatu area yang didefinisikan oleh keterkaitan hidrologi dimana pengelolaan optimal membutuhkan penggunaan koordinasi sumber daya alam oleh semua pengguna (Kerr 2007). Lebih lanjut Kerr (2007) menjelaskan, skala dapat berhubungan baik pada hirarki atau besaran (Swallow *et al.* 2001). Pada skala sebagai hirarki, suatu DAS adalah bagian dari rangkaian hubungan hirarki, dimana DAS kecil berkumpul pada DAS besar, dimana pada gilirannya dikumpulkan dalam tetap DAS besar. Sebagai suatu besaran, skala berhubungan dengan ukuran, contoh jumlah hektar yang menutupi DAS atau, dari perspektif sosial ekonomi, jumlah orang yang menetap dalam DAS.



Sumber : Perdirjen BPDASPS No: P.3/V-SET/2013

Gambar 1 Daerah Aliran Sungai

Sinukaban (2007) berpendapat, perubahan salah satu bagian dari *bio-region* atau DAS akan mempengaruhi bagian lainnya, sehingga dampak dari perubahan bagian *bio-region* atau DAS tersebut tidak hanya akan dirasakan oleh bagian itu sendiri (*on site*) tetapi juga bagian luarnya (*off site*). Rusaknya hutan di bagian hulu akan menimbulkan banjir, erosi, sedimentasi, dan penurunan kualitas air di bagian hilirnya. Ketidappahaman atas implementasi prinsip keterkaitan SDA dalam *bio-region* atau DAS dapat menimbulkan konflik antar daerah/regional, terutama yang menyangkut alokasi dan distribusi sumberdaya. Semakin terbatas suatu SDA dibandingkan dengan permintaan masyarakat, maka kompetisi untuk memperoleh SDA tersebut semakin tinggi dan peluang terjadinya konflik makin besar. Hal ini jelas terlihat pada konflik pemanfaatan sumber daya air, hutan, dan lahan.

Menurut Kartodihardjo *et al.* (2004), secara fisik DAS didefinisikan sebagai suatu hamparan wilayah yang dibatasi secara alamiah oleh punggung bukit yang menerima dan mengumpulkan air hujan, sedimen dan unsur hara serta mengalirkannya melalui sungai utama dan keluar pada satu titik *outlet*. Batasan tersebut menunjukkan bahwa di dalam DAS terdapat wilayah yang berfungsi menampung dan meresapkan air (wilayah hulu) dan wilayah tempat air hampir berakhir mengalir (wilayah hilir). Lebih lanjut dijelaskan bahwa perbedaan karakteristik fisik tersebut, ditentukan oleh dua faktor yakni: (1) Lahan (*ground factors*, seperti topografi, tanah, geologi dan geomorfologi); (2) vegetasi dan penggunaan lahan. Berdasarkan sifat-sifat biofisik DAS itu serta didukung oleh berbagai faktor yang kompleks tersebut, terutama oleh aktifitas penduduk di dalamnya, maka kualitas *output* ekosistem dalam DAS akan sangat terpengaruh. Kualitas ekosistem tersebut secara fisik terlihat dari besar erosi, aliran permukaan, sedimentasi, fluktuasi debit dan produktivitas lahan.

Adapun pengertian DAS dari sudut pandang institusi atau kelembagaan, menurut Kartodihardjo *et al.* (2004), ada tiga, yakni: (1) DAS sebagai suatu bentang alam, maka ia merupakan sumberdaya *stock* (modal) yang tidak hanya menghasilkan komoditas tetapi juga menghasilkan jasa; (2) Di dalam DAS terdapat berbagai bentuk kepemilikan baik berupa hak individu, hak komunitas, hak negara (*private, common and state property*) serta berbagai hak turunannya sesuai strata hak pemilikan dari yang paling tinggi sampai yang paling rendah seperti hak sewa, hak guna usaha dan lain-lain (*owner, proprietor, claimant, dan authorized user*). Namun demikian, mengingat pengelolaan DAS seharusnya ditujukan terhadap jasa yang dihasilkan oleh DAS, maka sifat kepemilikannya tidak pernah cukup jika hanya diklaim sebagai pemilikan individu (*ownership rights*) semata; melainkan juga untuk kelompok masyarakat maupun bagi publik yang lebih luas lagi; (3) Terkait dengan sifat pemilikan tersebut, maka diperlukan institusi yang mengatur dan menetapkan aturan main yang sesuai yang tidak hanya ditentukan berdasarkan mekanisme pasar semata, mengingat bahwa dalam pengelolaan DAS sebagai sumberdaya terdapat dua masalah pokok yakni masalah ongkos eksklusi (ongkos yang dikeluarkan oleh pemilik hak untuk mencegah pihak lain memanfaatkan sumberdaya yang dimilikinya) dan ongkos transaksi (ongkos membuat kontrak,

ongkos informasi dan ongkos pemantauan dan pelaksanaan hukum) yang tinggi, yang dapat menurunkan nilai ekonominya. Hal ini diperkuat oleh karakteristik seluruh sumber daya dalam DAS tersebut baik sumberdaya alam (*natural capital*), sumberdaya manusia (*human capital*) beserta pranata institusi formal maupun informal masyarakat (*social capital*), maupun sumberdaya buatan (*human made capital*) yang satu sama lain saling interdependensi dan berinteraksi.

Kartodihardjo *et al.* (2004) menjelaskan bahwa tujuan pengelolaan DAS secara biofisik antara lain: (1) Terjaminnya penggunaan sumberdaya alam yang lestari; (2) Tercapainya keseimbangan ekologis lingkungan sebagai sistem penyangga kehidupan; (3) Terjaminnya jumlah dan kualitas air yang baik sepanjang tahun; (4) Terkendalinya aliran permukaan dan banjir; (5) Terkendalinya erosi tanah dan proses degradasi lahan lainnya. Sedangkan kriteria umum yang digunakan sebagai tolok ukur keberhasilan pengelolaan DAS dengan pendekatan institusi adalah tercapainya pembangunan ekonomi dengan mempertahankan kepentingan sosial kemasyarakatan dengan tetap mempertahankan fungsi lingkungan hidup. Dengan demikian tujuan pengelolaan DAS dari sudut pandang institusi adalah untuk meningkatkan kapasitas dan produktivitas masyarakat sebagai pelaku pengendali perubahan lingkungan fisik DAS yang cenderung semakin menurun kualitasnya.

Daerah Aliran Sungai menghadapi banyak resiko. Resiko tersebut terdiri dari pertumbuhan populasi manusia dan dihubungkan dengan aktivitas manusia serta alam dan perubahan iklim *anthropogenic*. Secara umum resiko dari manusia meliputi praktek-praktek pembangunan, praktek industri dan pertanian, pergantian vegetasi, dan perubahan lanskap (bentang alam) mencakup pengisian lahan basah (*wetlands*), perubahan aliran drainase, penambahan permukaan kedap air dan peningkatan hasil aliran permukaan, puing-puing dan sampah, pencemaran. Perubahan iklim karena pengaruh alam dan manusia dapat merubah hidrologi DAS melalui peningkatan banjir atau kekeringan (*Environmental Services City of Portland 2005*).

2.6 Daerah Aliran Sungai Hulu

DAS pada hakekatnya merupakan hamparan lanskap yang dibatasi oleh

punggung bentuk medan (topografi), sehingga setiap titik air yang jatuh akan mengalir melalui satu *outlet* (satu aliran). Berdasarkan alur-alur/cabang sungai, DAS dibedakan menjadi (a) Sub DAS, yaitu cabang aliran sungai yang membentuk bagian wilayah DAS, dan (b) Sub-sub DAS, yaitu ranting sungai yang membentuk bagian dari sub-DAS. Berdasarkan wilayah pengelolaannya (WP), DAS dapat dibedakan menjadi tiga wilayah yaitu WPDAS Bagian Hulu, WPDAS Bagian Tengah, dan WP DAS Bagian Hilir. Semua aliran air dari hulu, tengah dan hilir, secara keseluruhan keluar melalui satu *outlet* dan bermuara di perairan laut (Waryono 2005).

Ekosistem DAS hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS termasuk DAS bagian tengah maupun wilayah hilir, diantaranya perlindungan terhadap fungsi tata air yaitu memiliki keterkaitan biofisik berupa daur hidrologi. Kawasan hulu DAS berperan dalam penyimpanan air cadangan dalam tanah (*water storage*). Kegiatan pemanfaatan sumberdaya alam di daerah hulu dapat menimbulkan dampak pada DAS bagian tengah dalam bentuk penurunan kapasitas simpanan air. Mempertimbangkan adanya keterkaitan ini maka bentuk *satu sistem perencanaan dan evaluasi yang logis* terhadap pelaksanaan program-program pengelolaan DAS. Pendekatan ekosistem dalam pengelolaan DAS merupakan alternatif dalam memahami dan mengusahakan terwujudnya pemanfaatan dan konservasi sumberdaya alam yang berkelanjutan (Asdak 2007).

Peraturan Dirjen Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/V-SET/2013 menguraikan bahwa, DAS Bagian Hulu didefinisikan sebagai daerah aliran yang terbatas pada bagian Hulu dimana $> 70\%$ dari permukaan lahan DAS tersebut umumnya mempunyai kemiringan lahan $> 8\%$. Disini, aspek prioritas pemanfaatan lahan adalah konservasi tanah dan pengendalian erosi. Secara hidrologis, DAS Bagian Hulu biasanya membentuk daerah utama pengisian kembali curah hujan untuk air permukaan dan air tanah dari DAS (*Screening Study Brantas Watersheed*). Sedangkan menurut Asdak (2007), daerah hulu DAS dicirikan oleh hal-hal sebagai berikut : merupakan daerah konservasi, mempunyai kerapatan drainase lebih tinggi, merupakan daerah dengan kemiringan lereng besar

(lebih besar dari 15 %), bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase.

Ciri- ciri atau yang menandai dari masing- masing bagian daerah aliran sungai antara lain mengenai bentuk lembah, deras atau tidaknya aliran sungai, serta proses yang ada bagian tersebut. Untuk mengetahui lebih lengkap atau detail mengenai ciri-ciri sungai bagian hulu, akan dijelaskan sebagai berikut (www.ilmugeografi.com, diakses 20 Desember 2016):

- a. Biasanya terletak di daerah pegunungan atau dataran tinggi. Hal ini karena banyak sekali sumber air yang muncul dari daerah pegunungan. Gunung-gunung banyak mempunyai mata air, karena proses terjadinya mata air ini biasanya disebabkan oleh gunung atau berada di sela- sela pegunungan. Mengapa di sela- sela pegunungan? Karena biasanya gunung mempunyai lebih banyak celah yang menghubungkannya dengan bagian dalam Bumi daripada bagian- bagian Bumi lainnya.
- b. Lembah sungai mempunyai bentuk V. Ini merupakan salah satu ciri khas yang dimiliki oleh bagian hulu sungai ini. Bentuk V pada lembah ini karena akibat erosi sungai yang terdapat di bagian hulu ini. Erosi yang terjadi ini dapat dengan mudah menggerus sungai dengan cepatnya, maka dari itulah lembah berbentuk huruf V ini terbentuk.
- c. Sungai memiliki aliran yang deras. Salah satu ciri khas yang dimiliki oleh bagian ini adalah terdapatnya aliran sungai yang deras. Memang daerah hulu ini biasanya mempunyai aliran yang paling deras, hal ini karena air yang berada di bagian hulu tersebut berasal langsung dari berbagai mata air atau sumber-sumber air. Selain itu, aliran sungai yang deras ini juga disebabkan karena daerah hulu sungai ini mempunyai tingkat kemiringan yang cukup tajam sehingga air langsung bisa mengalir ke bawah dengan derasnya.
- d. Mempunyai kedalaman sungai yang cukup dalam. Bagian hulu sungai ini memang mempunyai kriteria sungai yang dalam karena biasanya pegunungan tempat bagian sungai berasal dari pegunungan. Karena di pegunungan maka mempunyai tingkat kemiringan yang cukup curam. Hal inilah yang menyebabkan sungai di bagian hulu ini terlihat dalam.

- e. Terjadinya proses erosi. Pada masing- masing atau tiap bagian dari sungai ini mempunyai proses yang berlangsung masing- masing. Pada bagian hulu sungai, proses yang berlangsung disini adalah proses erosi. Proses erosi ini terjadi tidak juga dikarenakan oleh adanya aliran sungai yang deras yang terdapat pada bagian ini.
- f. Merupakan awal dari aliran sungai bermula. Bagian hulu sungai ini merupakan bagian awal atau bagian dimana sungai ini bermula, karena letaknya ada di sekat sumber-sumber mata air.
- g. Mempunyai debit air yang kecil serta dipengaruhi oleh hujan. Karena masih mendapatkan sungai dari sumber air, maka debit air di hulu sungai masih sedikit dan masih sangat dipengaruhi oleh intensitas air hujan yang turun.
- h. Kualitas air masih baik. Hal ini karena keberadaannya yang dekat dengan sumber air dan air pun belum melakukan perjalanan aliran yang panjang, sehingga airnya masih murni.
- i. Kondisi dasar sungai biasanya berbatu.
- j. Sering ditemui air terjun yang jeram.
- k. Aliran air berada di atas batuan induk.
- l. Aliran sungai cenderung lurus.
- m. Tidak pernah terjadi banjir karena debit air yang masih sedikit.

DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan *vegetasi* lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan (Sosrodarsono dan Takeda 2003). Dalam ekosistem DAS, bagian hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap keseluruhan ekosistem DAS terutama dari segi fungsi dan stabilitas tata air (Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.42/Mehut-II/2009). Tata air meliputi perkembangan kualitas, kuantitas dan kontinuitas aliran dari DAS (Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.61/Menhut-II/2014). Undang-Undang Nomor 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang, pada pasal 1 angka 21 menyebutkan bahwa kawasan lindung adalah wilayah yang ditetapkan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumber daya alam dan sumber daya buatan.

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Barat Tahun 2009-2029, arah pengembangan DAS Citarum Hulu menitikberatkan pada fungsi konservasi, maka kondisi optimal DAS Citarum Hulu ditunjukkan oleh kinerja DAS Citarum Hulu dengan fungsi sebagai kawasan konservasi. Untuk itu, kinerja DAS Citarum Hulu sebagai kawasan konservasi sangat ditentukan oleh parameter-parameter unsur biofisik, sosial, dan ekonomi pada rencana tata ruang DAS Citarum Hulu.

2.6.1 Unsur Biofisik

Parameter unsur biofisik perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu dapat diuraikan sebagai berikut.

a. Tutupan Vegetasi Lahan

Mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.60/Menhut-II/2014 tentang Kriteria Penetapan Klasifikasi Daerah Aliran Sungai, dan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, dijelaskan bahwa persentase luas lahan penutupan vegetasi permanen di DAS merupakan perbandingan luas lahan bervegetasi permanen dengan luas DAS. Adapun penilaian penutupan vegetasi dapat diuraikan sebagai berikut:

Rumus perhitungan:

$$PPV = \frac{LV}{A} \times 100 \%$$

PPV = Persentase penutupan vegetasi

LV = Luas penutupan lahan vegetasi (ha)

A = Luas DAS (ha)

Tabel 1 Penilaian Klasifikasi Kondisi Lahan berdasarkan Persentase Penutupan Vegetasi

No	Persentase Penutupan Vegetasi dalam DAS	Skor	Kelas
1	PPV > 80	0,50	Sangat baik
2	60 < PPV ≤ 80	0,75	Baik
3	40 < PPV ≤ 60	1,00	Sedang
4	20 < PPV ≤ 40	1,25	Buruk

5	$PPV \leq 20$	1,50	Sangat buruk
---	---------------	------	--------------

b. Kualitas, Kuantitas, dan Kontinuitas Aliran DAS (Tata Air)

Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.60/Menhut-II/2014 tentang Kriteria Penetapan Klasifikasi Daerah Aliran Sungai, dan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, menjelaskan bahwa Kuantitas, Kualitas, dan Kontinuitas Air (Tata Air), dapat menggambarkan kondisi hidrologis DAS yang meliputi koefisien rezim aliran, koefisien aliran tahunan, muatan sedimen, banjir, dan indeks penggunaan air.

▪ Koefisien Rezim Aliran (KRA)

Debit sungai dilakukan untuk mengetahui kuantitas aliran sungai dari waktu ke waktu, khususnya debit tertinggi (maksimum) pada musim hujan dan debit terendah (minimum) pada musim kemarau. Koefisien Rezim Aliran (KRA) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS. Nilai KRA adalah perbandingan Q_{maks} dengan Q_{min} , yang merupakan debit (Q) absolut dari hasil pengamatan Stasiun Pengamat Air Sungai (SPAS) atau perhitungan rumus. Sedangkan untuk daerah dimana pada masa kemarau tidak ada air di sungai, maka nilai KRA adalah perbandingan Q_{maks} dengan Q_a . Q_{maks} adalah debit maksimum absolute dan Q_a adalah debit andalan ($Q_a = 0,25 \times Q$ rerata bulanan).

Nilai KRA yang tinggi menunjukkan bahwa kisaran nilai limpasan pada musim penghujan (air banjir) yang terjadi besar, sedang pada musim kemarau aliran air yang terjadi sangat kecil atau menunjukkan kekeringan. Secara tidak langsung kondisi ini menunjukkan bahwa daya resap lahan di DAS kurang mampu menahan dan menyimpan air hujan yang jatuh dan air limpasannya banyak yang terus masuk ke sungai dan terbuang ke laut sehingga ketersediaan air di DAS saat musim kemarau sedikit. Perhitungan KRA menggunakan klasifikasi nilai sebagaimana Tabel 2 di bawah ini.

Rumus perhitungan :

Daerah basah

$$KRA = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$$

KRA = Koefisien rejim aliran

Q_{max} = Debit Maksimum

Q_{min} = Debit Minimum

Daerah Kering

$$KRA = \frac{Q_{max}}{Q_a}$$

$Q_a = 0,25 \times Q_{rata}$

Q_{max} = Debit maksimum absolut

Q_a = Debit andalan (debit yang dapat dimanfaatkan/berarti)

Q_{rata} = Debit harian rata-rata bulanan lebih dari 10 tahun

Tabel 2 Penilaian Klasifikasi Koefisien Rejim Aliran (KRA)

No	Koefisien Rejim Aliran (KRA)	Skor	Kelas
Daerah Basah			
1	$KRA \leq 20$	0,50	Sangat rendah
2	$20 < KRA \leq 50$	0,75	Rendah
3	$50 < KRA \leq 80$	1,00	Sedang
4	$80 < KRA \leq 110$	1,25	Tinggi
5	$KRA > 80$	1,50	Sangat Tinggi
Daerah kering			
1	$KRA \leq 5$	0,50	Sangat rendah
2	$5 < KRA \leq 10$	0,75	Rendah
3	$10 < KRA \leq 15$	1,00	Sedang
4	$15 < KRA \leq 20$	1,25	Tinggi
5	$KRA > 20$	1,50	Sangat Tinggi

▪ Koefisien Aliran Tahunan

Koefisien Aliran Tahunan (KAT) adalah perbandingan antara tebal aliran tahunan (Q , mm) dengan tebal hujan tahunan (P , mm) di DAS atau dapat dikatakan berapa persen curah hujan yang menjadi aliran (*run off*) di DAS.

Tebal aliran (Q) diperoleh dari volume debit (Q , dalam satuan m^3) dari hasil pengamatan SPAS di DAS selama satu tahun atau perhitungan rumus dibagi dengan

luas DAS (ha atau m²) yang kemudian dikonversi ke satuan mm. Sedangkan tebal hujan tahunan (P) diperoleh dari hasil pencatatan pada Stasiun Pengamat Hujan (SPH) baik dengan alat *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) dan atau *ombrometer*. Perhitungan KAT menggunakan klasifikasi nilai sebagaimana Tabel 3 berikut.

Rumus perhitungan :

$$KAT = \frac{Q \text{ tahunan}}{P \text{ tahunan}}$$

KAT = Koefisien Aliran Tahunan

Q thn = Tebal Aliran Tahunan

P thn = Tebal Hujan Tahunan

Tabel 3 Penilaian Klasifikasi Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

No	Koefisien Aliran Tahunan	Skor	Kelas
1	$KAT \leq 0,2$	0,50	Sangat rendah
2	$0,2 < KAT \leq 0,3$	0,75	Rendah
3	$0,3 < KAT \leq 0,4$	1,00	Sedang
4	$0,4 < KAT \leq 0,5$	1,25	Tinggi
5	$KAT > 0,5$	1,50	Sangat tinggi

▪ Muatan Sedimen

Sedimentasi adalah jumlah material tanah berupa kadar lumpur dalam air oleh aliran air sungai yang berasal dari hasil proses erosi di hulu, yang diendapkan pada suatu tempat di hilir dimana kecepatan pengendapan butir-butir material suspensi telah lebih kecil dari kecepatan angkutannya.

Dari proses sedimentasi, hanya sebagian material aliran sedimen di sungai yang diangkut keluar dari DAS, sedang yang lain mengendap di lokasi tertentu di sungai selama menempuh perjalanannya.

Indikator terjadinya sedimentasi dapat dilihat dari besarnya kadar lumpur dalam air yang terangkut oleh aliran air sungai, atau banyaknya endapan sedimen pada badan-badan air dan atau waduk. Makin besar kadar sedimen yang terbawa oleh aliran berarti makin tidak sehat kondisi DAS.

Besarnya kadar muatan sedimen dalam aliran air dinyatakan dalam besaran laju sedimentasi (dalam satuan ton atau m³ atau mm per tahun). Muatan sedimen (MS) dihitung dengan pengukuran langsung, menggunakan persamaan:

$$Q_s = k \times C_s \times Q$$

Q_s = debit sedimen (ton/hari)

$$K = 0.0864$$

C_s = kadar muatan sedimen (mg/l)

Q = debit air sungai (m^3/dt)

Kadar muatan sedimen dalam aliran air diukur dari pengambilan contoh air pada berbagai tinggi muka air (TMA) banjir saat musim penghujan. Q_s dalam ton/hari dapat dijadikan dalam ton/ha/th dengan membagi nilai Q_s dengan luas DAS. Selanjutnya nilai Q_s dalam ton/ha/th dikonversikan menjadi Q_s dalam mm/tahun dengan mengalikannya dengan berat jenis (BJ) tanah menghasilkan nilai tebal endapan sedimen. Selain itu muatan sedimen dapat diperoleh melalui pendekatan hasil prediksi erosi, dengan menggunakan rumus :

$$MS = A \times SDR$$

MS = Muatan Sedimen (ton/ha/th)

A = nilai erosi (ton/ha/th)

SDR = nisbah penghantaran sedimen

Nilai total erosi ditentukan dengan menggunakan rumus USLE, sedangkan nisbah hantar sedimen (*Sediment Delivery Ratio/SDR*) dapat ditentukan dengan menggunakan matrik sebagaimana Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 4 Hubungan antara Luas DAS dengan Rasio Penghantaran Sedimen

No	Luas DAS (Ha)	Rasio Penghantara Sedimen (%)
1	10	53
2	50	39
3	100	35
4	500	27
5	1.000	24
6	5.000	15
7	10.000	13
8	20.000	11
9	50.000	8,5
10	2.600.000	4,9

Tabel 5 Penilaian Klasifikasi Muatan Sedimen

No	Muatan Sedimen	Skor	Kelas
1	$MS \leq 5$	0,50	Sangat rendah
2	$5 < MS \leq 10$	0,75	Rendah
3	$10 < MS \leq 15$	1,00	Sedang
4	$15 < MS \leq 20$	1,25	Tinggi
5	$MS > 20$	1,50	Sangat tinggi

- Banjir

Banjir dalam pengertian umum adalah debit aliran air sungai dalam jumlah yang tinggi, atau debit aliran air di sungai secara relatif lebih besar dari kondisi normal akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu terjadi secara terus menerus, sehingga air tersebut tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya. Banjir harus dilihat dari besarnya pasokan air banjir yang berasal dari air hujan yang jatuh dan diproses oleh DTA-nya (*catchment area*), serta kapasitas tampung palung sungai dalam mengalirkan pasokan air tersebut. Perhitungan frekuensi kejadian banjir menggunakan klasifikasi nilai sebagaimana Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Penilaian Klasifikasi Frekuensi Kejadian Banjir

No	Frekuensi Kejadian Banjir	Skor	Kelas
1	Tidak pernah	0,50	Sangat rendah
2	1 kali dalam 5 tahun	0,75	Rendah
3	1 kali dalam 2 tahun	1,00	Sedang
4	1 kali tiap tahun	1,25	Tinggi
5	Lebih dari 1 kali dalam 1 tahun	1,50	Sangat tinggi

- Indeks Penggunaan Air (IPA)

Indeks penggunaan air dihitung dengan cara, jumlah kebutuhan air dibandingkan dengan kuantitas ketersediaan air di DAS.

Nilai IPA suatu DAS dikatakan baik jika jumlah air yang digunakan di DAS masih lebih sedikit daripada potensinya sehingga DAS masih menghasilkan air yang keluar dari DAS untuk wilayah hilirnya, sebaliknya dikatakan jelek jika

jumlah air yang digunakan lebih besar dari potensinya sehingga volume air yang dihasilkan dari DAS untuk wilayah hilirnya sedikit atau tidak ada. Indikator IPA dalam pengelolaan tata air DAS sangat penting kaitannya dengan mitigasi bencana kekeringan tahunan di DAS.

Perhitungan indeks penggunaan air dapat dilakukan dengan 3 (tiga) cara yaitu:

1. Perbandingan antara kebutuhan air dengan persediaan air yang ada di DAS:

$$IPA = \frac{\text{Kebutuhan}}{\text{Persediaan}}$$

- a. Kebutuhan air (m^3) = jumlah air yang dikonsumsi untuk berbagai keperluan/penggunaan lahan di DTA selama satu tahun (tahunan) misalnya untuk pertanian, rumah tangga, industri dll atau total kebutuhan air = kebutuhan air untuk irigasi + DMI + penggelontoran kota
- b. Persediaan air (m^3), dihitung dengan cara langsung, yaitu dari hasil pengamatan volume debit (Q , m^3)

2. Perbandingan total kebutuhan air dengan debit andalan:

$$IPA = \frac{\text{Total Kebutuhan air}}{Q_a}$$

- a. total kebutuhan air = kebutuhan air untuk irigasi + DMI + penggelontoran kota
- b. DMI = domestic, municipale, industry
- c. Q_a = debit andalan ($0,25 \times Q$ rata-rata tahunan)

3. Ketersediaan air per kapita per tahun, dengan cara :

$$IPA = \frac{\text{Jumlah air (Q)}}{\text{Jumlah penduduk}}$$

Q = debit air sungai dalam m^3 /tahun Jumlah penduduk dalam DAS

Perhitungan IPA menggunakan penilaian klasifikasi sebagaimana Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Penilaian Klasifikasi Indeks Penggunaan Air

No	Penggunaan Air	Skor	Kelas
A	$IPA = \frac{\text{Kebutuhan}}{\text{Persediaan}}$		

1	$IPA \leq 0,25$	0,50	Sangat rendah
2	$0,25 < IPA \leq 0,50$	0,75	Rendah
3	$0,50 < IPA \leq 0,75$	1,00	Sedang
4	$0,75 < IPA \leq 1,00$	1,25	Tinggi
5	$IPA > 1,00$	1,50	Sangat tinggi
B	$IPA = \frac{\text{Total Kebutuhan air}}{Qa}$		
1	$IPA \leq 0,50$	0,50	Sangat rendah
2	$0,50 < IPA \leq 0,75$	0,75	Rendah
3	$0,75 < IPA \leq 1,00$	1,00	Sedang
4	$1,00 < IPA \leq 1,25$	1,25	Tinggi
5	$IPA > 1,25$	1,50	Sangat tinggi
C	$IPA = \frac{\text{Jumlah air (Q)}}{\text{Jumlah penduduk}}$		
1	$IPA > 6.800$	0,50	Sangat baik
2	$5.100 < IPA \leq 6.800$	0,75	Baik
3	$3.400 < IPA \leq 5.100$	1,00	Sedang
4	$1.700 < IPA \leq 3.400$	1,25	Jelek
5	$IPA \leq 1.700$	1,50	Sangat jelek

c. Curah Hujan

Peraturan Dirjen Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Kementerian Kehutanan Nomor: P.3/V-Set/2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai, menguraikan bahwa curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Hujan merupakan input air yang

masuk dalam suatu DAS, oleh karena itu mengetahui besarnya curah hujan sangat penting. Klasifikasi curah hujan yang digunakan dalam kajian karakteristik DAS dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8 Penilaian Klasifikasi Curah Hujan

No	Curah Hujan (mm/tahun)	Nilai
1.	< 1500	Sangat rendah
2.	1500 - < 2000	Rendah
3.	2000 - < 2500	Sedang
4.	2500 - < 3000	Tinggi
5.	> = 3000	Sangat Tinggi

2.6.2 Unsur Sosial

Tekanan penduduk terhadap lahan, merupakan parameter pada unsur sosial perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu. Sesuai Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.60/Menhut-II/2014, dan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.61/Menhut-II/2014, dijelaskan bahwa tekanan penduduk didekati dengan indeks ketersediaan lahan yang merupakan perbandingan antara luas lahan pertanian dengan jumlah keluarga petani di dalam DAS. Perhitungan tekanan penduduk dapat dijelaskan sebagai berikut:

Cara/rumus perhitungan :

$$IKL = \frac{A \text{ (ha)}}{P \text{ (kk)}}$$

IKL = Indeks ketersediaan lahan

A = Luas baku lahan pertanian di dalam DAS (ha)

P = Jumlah KK Petani di dalam DAS (kk)

Kriteria penilaian indeks ketersediaan lahan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 9 Kriteria Penilaian Indeks Ketersediaan Lahan (IKL)

No	Selang Ukuran (ha/kk)	Skor	Kelas
1.	$IKL > 4$	0,50	Sangat Tinggi
2.	$2 < IKL \leq 4$	0,75	Tinggi
3.	$1 < IKL \leq 2$	1,00	Sedang
4.	$0,5 < IKL \leq 1$	1,25	Rendah

5.	$IKL \leq 0,5$	1,50	Sangat Rendah
----	----------------	------	---------------

2.6.3 Unsur Ekonomi

Unsur ekonomi pada perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu, yang menjadi parameter adalah tingkat kesejahteraan penduduk. Mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.60/Menhut-II/2014, dan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.61/Menhut-II/2014, tingkat kesejahteraan penduduk didekati dengan persentase keluarga miskin. Persentase keluarga miskin merupakan perbandingan antara jumlah keluarga miskin dengan jumlah total keluarga di DAS. Garis kemiskinan ditetapkan menggunakan data yang tersedia di BPS, yaitu 320 – 400 kg setara beras/kapita/tahun. Diuraikan standar penilaian tingkat kesejahteraan penduduk sebagai berikut:

Rumus/cara perhitungan :

$$TKP = \frac{KK \text{ miskin} \times 100 \%}{\text{Tot. KK}}$$

TKP = tingkat kesejahteraan penduduk di dalam DAS

KK miskin = jumlah kepala keluarga miskin di dalam DAS

Tot. KK = Jumlah total kepala keluarga di dalam DAS

Standar penilaian yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10 Standar Penilaian Tingkat Kesejahteraan Penduduk (TKP)
Berdasarkan Jumlah Keluarga Miskin

No	Selang Ukuran (% kk)	Skor	Kelas
1.	$TKP \leq 5$	0,50	Sangat Rendah
2.	$5 < TKP \leq 10$	0,75	Rendah
3.	$10 < TKP \leq 20$	1,00	Sedang
4.	$20 < TKP \leq 30$	1,25	Tinggi
5.	$TKP > 30$	1,50	Sangat Tinggi

2.7 Kerangka Pemikiran

Mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 22 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Barat, Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum Hulu di arahkan pengembangannya pada kawasan

konservasi. Sebagai suatu kawasan konservasi, maka dalam perencanaan tata ruang DAS Citarum Hulu terdapat unsur biofisik, sosial, dan ekonomi yang saling berinteraksi dalam satu kesatuan yang utuh sebagai suatu sistem. Oleh karena itu, perubahan dalam pemanfaatan ruang pada DAS Citarum Hulu bersumber dari ke 3 (tiga) unsur tersebut sebagai suatu sistem.

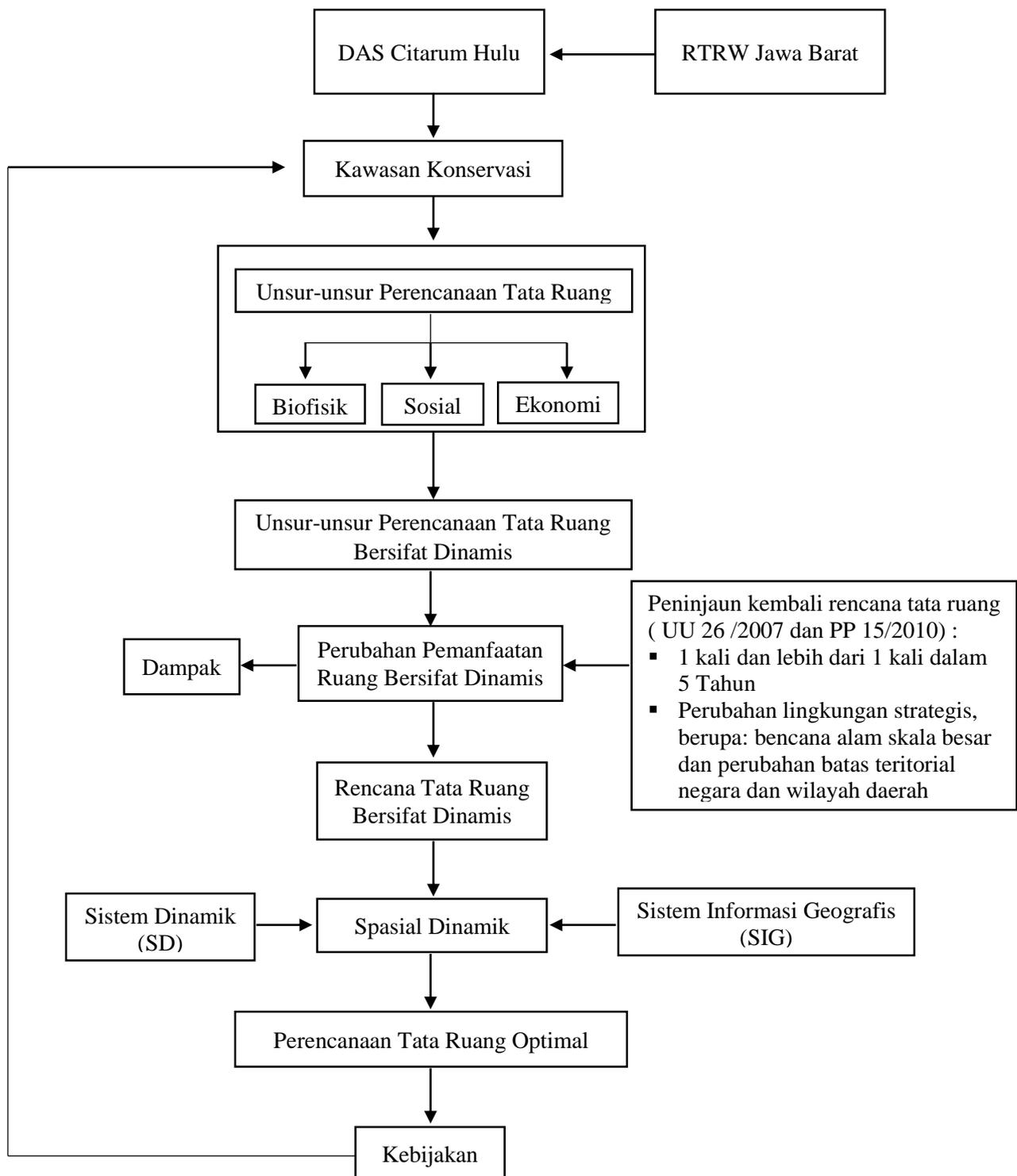
Unsur-unsur perencanaan tata ruang bersifat dinamis. Dinamika sosial yang diikuti dengan dinamika aktivitas ekonomi akan membawa perubahan pemanfaatan ruang yang juga bersifat dinamis. Berbagai dampak yang ditimbulkan oleh perubahan pemanfaatan ruang yang bersifat dinamis pada DAS Citarum Hulu, bukan hanya terjadi pada bagian hulu sebagai dampak setempat (*on site*), tetapi juga berdampak pada tempat lain (*off site*). Perubahan pemanfaatan ruang, telah diakomodir pada Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007, dan Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2010 dengan melakukan peninjauan kembali rencana tata ruang 1 (satu) kali dalam 5 (lima) tahun, dan lebih dari 1 (satu) kali dalam 5 (lima) tahun apabila terjadi perubahan lingkungan strategis yang ditetapkan dengan peraturan perundang-undangan seperti: bencana alam skala besar, perubahan batas teritorial negara, dan perubahan batas wilayah daerah. Namun demikian, perubahan pemanfaatan ruang DAS Citarum Hulu sebagai suatu yang sistem kompleks, merupakan hasil interaksi dari unsur biofisik, sosial, dan ekonomi, bukan hanya oleh perubahan lingkungan strategis.

Unsur-unsur rencana tata ruang DAS Citarum Hulu bersifat dinamik, sehingga terjadi perubahan secara terus-menerus karena dinamik berhubungan dengan perubahan terhadap waktu. Untuk itu, diperlukan rencana tata ruang DAS Citarum Hulu yang bersifat dinamis, sehingga dampak yang ditimbulkan sebagai akibat perubahan pemanfaatan ruang yang bersifat dinamis pada DAS Citarum Hulu, dapat diketahui secara terus menerus sesuai dengan waktu prediksi, atau pada interval waktu yang tidak hanya 1 (satu) kali dalam 5 (lima) tahun.

Mengakomodir adanya rencana tata ruang yang bersifat dinamis, dapat dianalisis melalui pendekatan spasial dinamik. Perubahan yang memperhitungkan aspek temporal rencana tata ruang DAS Citarum Hulu dapat dianalisis melalui pendekatan Sistem Dinamik (SD), sedangkan untuk melakukan visualisasi sebagai perubahan yang memperhitungkan aspek spasial dapat dianalisis melalui

pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG). Melalui pendekatan spasial dinamik sebagai pendekatan yang menggabungkan perhitungan aspek temporal dan spasial rencana tata ruang Citarum Hulu , akan diperoleh rencana tata ruang optimal DAS Citarum Hulu. Berdasarkan rencana tata ruang optimal DAS Citarum Hulu tersebut, selanjutnya dirumuskan kebijakan rencana tata ruang DAS Citarum Hulu, agar fungsi DAS Citarum Hulu sebagai kawasan konservasi dapat tetap dipertahankan.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, berikut ini digambarkan bagan alir (*flow chart*) kerangka pemikiran penelitian.



Gambar 2 Digram Alir Kerangka Pemikiran Penelitian