

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang dilaksanakan, diperlukan dasar-dasar argumentasi ilmiah yang berhubungan dengan konsep-konsep yang dipermasalahkan dalam penelitian dan dipakai dalam analisis. Beberapa dasar-dasar argumentasi atau teori yang digunakan dalam penelitian akan dijelaskan dalam Bab ini.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memaparkan beberapa konsep relevan yang berhubungan dengan penelitian ini. Rangkuman penelitian terdahulu dan perbandingan dengan penelitian saat ini terdapat pada Tabel 2.1.

1. Andani (2014) membangun suatu model penyediaan air bersih di Kota Bandung untuk mengevaluasi skenario guna mengatasi kendala berupa terbatasnya sumber air baku dan kehilangan air. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan penyediaan air bersih di Kota Bandung melalui intervensi dari segi penyediaan dan permintaan terhadap air bersih. Penulis menggunakan simulasi sistem dinamik untuk melakukan permodelan, menganalisis dan membuat skenario yang dapat meningkatkan performansi sistem.
2. Amalia dan Suryani (2014) membangun model simulasi sistem dinamik PDAM Surabaya. Permodelan tersebut bertujuan untuk mengatasi masalah dalam penyediaan air bersih serta diharapkan mampu menunjang peningkatan performansi PDAM sebagai penyedia dan pengelola air bersih. Parameter skenario yang diberikan sebagai usulan perbaikan sistem agar dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi terdiri dari *Adequacy Ratio*, *Capacity Ratio*, *Water Loss Ratio*, *Service Coverage Ratio* dan *Cost Efficiency Ratio* sebagai bahan pertimbangan pihak manajemen untuk mengimplementasikan kebijakan yang dapat meningkatkan kemampuan sistem manajemen distribusi air bersih.
3. Park, Sahleh dan Jung (2015) membangun model simulasi sistem dinamik untuk menunjang manajemen sistem penyediaan air yang efisien. Data dari pelayanan penyedia air di Korea Selatan digunakan untuk sebagai studi kasus untuk validasi struktur model. Dalam penelitian ini, indikator penting dari sistem dianalisis dengan simulasi skenario manajemen yang termasuk pula pembangunan alternatif sumber air.

Kaidah-kaidah dalam hubungan sebab akibat yang digunakan dalam permodelan sistem dinamik pada penelitian ini juga diharapkan dapat digunakan sebagai purwarupa untuk permodelan masalah-masalah manajemen sistem penyediaan air lainnya.

Tabel 2.1
Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Keterangan	Andani (2014)	Amalia dan Suryani (2014)	Park, Sahleh dan Jung (2015)	Rima (2017)
Topik Penelitian	Meningkatkan penyediaan air bersih melalui intervensi dari segi penyediaan dan permintaan	Meningkatkan efektifitas dan efisiensi penyediaan air bersih di PDAM Kota Surabaya	Menilai efek dari pembangunan sumber air alternatif pada manajemen penyediaan air	Menganalisis kebijakan terkait penambahan kapasitas dan penyerahan sumber terhadap penyediaan air jangka panjang
Objek Penelitian	PDAM Kota Bandung	PDAM Kota Surabaya	Penyedia air di Korea Selatan	PDAM Kota Malang
Metode	Simulasi Sistem Dinamik	Simulasi Sistem Dinamik	Simulasi Sistem Dinamik	Simulasi Sistem Dinamik
Hasil Penelitian	Faktor yang berpengaruh terhadap penyediaan air adalah ketersediaan air, konsumsi air, tingkat kehilangan air. Berdasarkan hasil uji perilaku pasokan air berpengaruh terhadap peningkatan produksi air bersih. Intervensi supply dan demand dapat dilakukan dengan menjaga kelestarian hutan dan RTH, meningkatkan kualitas jaringan dan penyesuaian tarif secara berkala.	Skenario yang dapat meningkatkan parameter efektifitas dan efisiensi penyediaan air bersih adalah skenario gabungan. Skenario ini terdiri dari penambahan jumlah pasokan air bersih di daerah Umbulan, pengurangan tingkat kebocoran serta perluasan cakupan layanan.	Model simulasi mengindikasikan bahwa indeks utama manajemen penyediaan air secara seperti <i>water supply rate</i> dan <i>revenue water ratio</i> meningkat selama 60 tahun periode simulasi ketika dibangun alternatif sumber air yang baru.	Pada skenario optimis dan <i>most-likely</i> penambahan kapasitas senilai 540 liter/detik dapat mengimbangi kebutuhan produksi sedangkan dalam skenario pesimis terjadi kekurangan air meskipun demikian skenario pesimis memberikan laba bersih terbesar dari ketiganya.

2.2 Sistem Produksi dan Distribusi Air PDAM Kota Malang

Kapasitas produksi SPAM PDAM Kota Malang sampai saat ini adalah 1.660 liter/detik dengan sebagian air baku berasal dari mata air Kota Batu dan Kabupaten Malang dengan debit terbesar dari sumber Wendit. Karena Elevasi di Kota Malang berkontur naik turun maka sistem distribusi yang digunakan adalah 70 persen pompanisasi dan 30 persen gravitasi. Untuk panjang pipa PDAM Kota Malang mencapai 2.600 km mulai dari diameter 700 mm sampai dengan 12 mm. Jenis pipa terdiri dari berbagai macam ada

ductile, cast iron, PVC, asbes, steel dan HDPE, Kemudian sejak tahun 2010 pengadaan pipa menggunakan pipa berjenis HDPE.

Sejak Tahun 2010 PDAM Kota Malang mulai berkomitmen melaksanakan program penurunan kehilangan air. Pada tahun tersebut angka kehilangan air hampir mencapai 50 persen dan beberapa layanan tekanan air pelanggan mulai kurang. Sebelum tahun tersebut program penurunan kehilangan air hanya dilakukan dengan membentuk tim dengan *pilot project* di lokasi tertentu, namun tidak ada efek signifikan terhadap kehilangan air yang ada. Sehingga pada akhirnya di bentuk suatu struktur organisasi yang khusus menangani program penurunan kehilangan air. Mulai tahun 2010 sampai dengan 2015 infrastruktur kehilangan air yang sudah dibangun dan dipasang di PDAM Kota Malang sebagaimana yang tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2

Infrastruktur Penanggulangan Kehilangan Air

No.	Infrastruktur	Jumlah
1.	DMA	160 DMA
2.	Meter Induk DMA	157 unit
3.	PRV	153 unit (50% 2 pilot, 20% 3 pilot, 15% <i>flow modulating</i> , 5% <i>controller</i>)
4.	<i>Critical Point Online</i>	75 unit
5.	<i>Pressure Logger Offline</i>	20 unit
6.	<i>Level Reservoir Online</i>	22 unit
7.	<i>Remote Terminal Unit</i>	24 unit
8.	<i>Valve Steptest (resilient)</i>	2.575 unit
9.	<i>Meter Type C</i>	111.000 unit
10.	<i>Meter Type C Ready AMR</i>	35.000 unit
11.	AMR	2.000 unit
12.	<i>Leakage Detection Correlator</i>	1 unit
13.	<i>Groudmicrophe</i>	4 unit
14.	<i>Noise Logger Leakage</i>	1 unit (sensor)
15.	<i>Ultrasonic clamp on portable</i>	3 unit
16.	Penambahan kapasitas reservoir	9.541 m ³

Sumber: <http://www.pdamkotamalang.com/>

2.3 Sistem, Model dan Simulasi

Model dan simulasi memiliki keterkaitan. Sebuah sistem nyata (PDAM) akan dibuat menjadi model menggunakan *software* pemodelan sehingga dapat dilakukan simulasi untuk mengetahui dampak yang terjadi pada model ketika parameter di dalam model berubah. Hal ini mengurangi biaya dan waktu yang dikeluarkan untuk melakukan eksperimen terhadap sistem nyata. Pengertian sistem, model dan simulasi sendiri diuraikan setelahnya.

2.3.1 Sistem

Sistem adalah sekumpulan objek yang digabungkan bersama dalam suatu interaksi dan saling interdependensi untuk memenuhi suatu tujuan (Banks, et al., 2004). Dalam memodelkan sistem, penentuan batasan antara sistem dan lingkungannya perlu dilakukan. Penentuan didasarkan pada tujuan dari pembuatan model itu sendiri.

Sistem dapat dikategorikan sebagai sistem diskrit ataupun sistem kontinyu. Pada kenyataannya, hanya sedikit sistem yang dapat dikategorikan sebagai sistem yang sepenuhnya diskrit atau sepenuhnya kontinyu, biasanya sebuah sistem memiliki kecenderungan diskrit atau kecenderungan kontinyu sehingga inilah yang menjadi dasar dalam menentukan sebuah sistem bersifat diskrit atau kontinyu (Law dan Kelton, 2000). Sebuah sistem diskrit adalah ketika keadaan (*state*) dalam sistem berubah dalam waktu yang diskrit, sementara sistem kontinyu adalah bila keadaan atau *state* berubah secara kontinu seiring berjalannya waktu (Banks, et al., 2004).

2.3.2 Model Suatu Sistem

Sebuah model didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah sistem dengan tujuan untuk mempelajari sistem tersebut (Banks, et al., 2004). Sehingga dapat dikatakan bahwa model adalah pola (contoh, acuan, ragam) dari sesuatu yang akan dibuat atau dihasilkan. Model dapat diklasifikasikan dalam empat kategori. Berikut penjelasan mengenai model menurut klasifikasi tersebut (Banks, et al., 2004).

1. Model matematis atau model fisik

Model matematis menggunakan notasi dan perhitungan matematis untuk merepresentasikan sistem. Sedangkan model fisik menggunakan benda nyata berbentuk fisik untuk merepresentasikan sistem.

2. Model statis atau model dinamis

Model statis merepresentasikan sebuah sistem pada satu titik waktu. Contohnya adalah simulasi Monte Carlo. Sedangkan model dinamis merepresentasikan sistem seiring berjalannya waktu. Contohnya adalah simulasi bank dari jam 09:00 AM sampai dengan 04:00 PM.

3. Model deterministik atau model stokastik

Model deterministik tidak memiliki pembangkitan bilangan acak, model deterministik memiliki kedatangan atau input yang telah diketahui yang akan menghasilkan output yang menyesuaikan. Contohnya adalah kedatangan pasien pada dokter gigi sesuai dengan jadwal *appointment*. Sedangkan model stokastik

memiliki satu atau lebih variabel random sebagai input sistem. *Random input* akan menghasilkan *random output*. Contohnya adalah simulasi bank dimana akan menggunakan waktu antar kedatangan *random*.

4. Model diskrit atau kontinyu

Model diskrit adalah model dari sistem yang bersifat diskrit yaitu model yang keadaannya berubah secara diskrit seiring waktu. Sedangkan model kontinyu adalah model dari sistem yang bersifat kontinyu yaitu model yang keadaannya berubah secara kontinyu seiring waktu.

2.3.3 Simulasi

Simulasi adalah suatu metodologi untuk melaksanakan percobaan dengan menggunakan menggunakan model dari suatu sistem nyata. Beberapa kegunaan dari simulasi adalah memungkinkan pembelajaran, eksperimental, dan interaksi internal dari suatu sistem yang kompleks, mengamati perubahan informasi, dan memberikan saran perbaikan terhadap system nyata yang sedang diamati (Banks, et al., 2004). Suatu sistem dalam simulasi mencakup entitas, aktivitas, *resources*, dan kontrol. Elemen tersebut mendefinisikan siapa, apa, dimana, kapan, dan bagaimana suatu entitas diproses. Berikut adalah penjelasan elemen-elemen pada simulasi:

1. Entitas: Merupakan segala sesuatu yang dapat diproses.
2. Aktivitas: Merupakan kegiatan yang dilakukan di dalam sistem yang memengaruhi entitas baik secara langsung atau tidak.
3. *Resources*: Merupakan alat atau operator untuk menjalankan aktivitas.
4. Kontrol: Merupakan segala sesuatu yang menentukan bagaimana, kapan, dan bagaimana aktivitas dijalankan.

2.4 Sistem Dinamik

Sistem dinamik dikembangkan oleh Forrester pada tahun 1961 dimana *framework* ini fokus pada *system thinking*, namun membutuhkan beberapa langkah untuk membangun dan menguji model simulasi (Sterman, 2000). Karakteristik utama dari sistem ini adalah perwujudan dari sistem kompleks, perubahan dari tingkah laku sistem dari waktu ke waktu dan juga adanya umpan balik. Umpan balik ini akan memberikan informasi baru tentang kondisi sistem, yang akan dapat menghasilkan suatu keputusan. Sistem dinamik dapat diaplikasikan dalam penyelesaian banyak masalah seperti penentuan strategi perencanaan perusahaan, kebijakan dan manajemen publik, pengembangan proses bisnis,

pengembangan teori dalam ilmu alam dan sosial, pengambilan keputusan dinamis, dan *supply chain management*.

Terdapat empat konsep dasar dalam sistem dinamis yang menopang struktur dan perilaku sistem yang kompleks, yaitu (Sterman, 2000):

1. Ruang lingkup yang tertutup

Hal ini menunjukkan bahwa variabel yang penting yang menciptakan sebab-akibat berada di dalam sistem dan variabel yang tidak begitu penting berada di luar.

2. *Loop* umpan balik sebagai komponen dasar sistem

Perilaku dari sistem dipengaruhi oleh *loop* umpan balik sistem yang tertutup; sehingga mempengaruhi setiap perubahan yang terjadi pada sistem sepanjang waktu.

3. *Level* dan *rate* (tingkat)

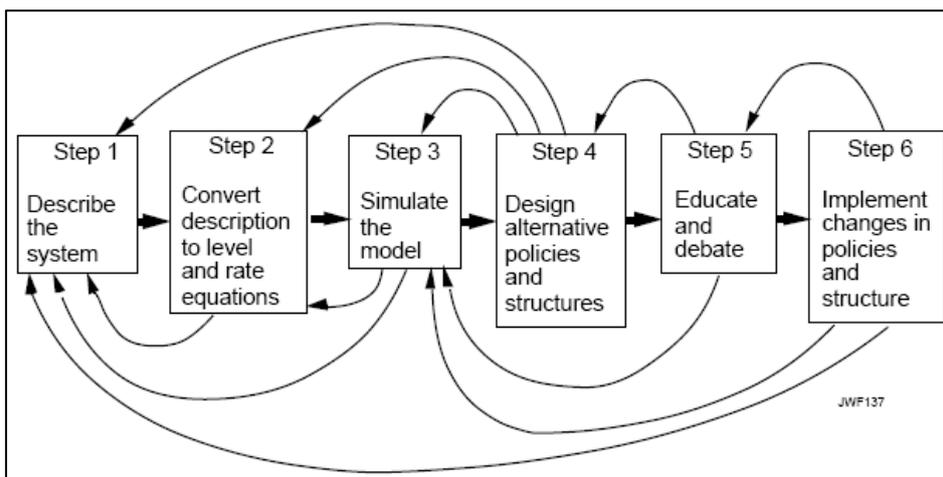
Sistem dinamis memiliki dua jenis variabel dasar, yaitu *level* dan *rate*. *Level*, merupakan akumulasi elemen sepanjang waktu, misalnya jumlah inventori di gudang. Sedangkan *rate* merupakan variabel yang mempengaruhi perubahan nilai dari level.

4. Kondisi yang ingin dicapai, kondisi riil, dan perbedaan antara kondisi yang ingin dicapai dengan kondisi riil.

Suatu sistem yang dinamis memperlihatkan adanya kondisi yang menjadi tujuan sistem dan kondisi yang saat ini terjadi. Oleh karena ada kemungkinan kondisi yang ingin dicapai belum terjadi maka terjadi perbedaan yang mendasari perubahan dalam sistem.

Tujuan model sistem dinamik adalah untuk mempelajari, mengenal, dan memahami struktur, kebijakan dan *delay* suatu keputusan yang mempengaruhi perilaku sistem itu sendiri. Dalam kerangka berpikir sistem dinamik, permasalahan dalam suatu sistem dilihat tidak disebabkan oleh pengaruh luar (*exogenous explanation*) namun dianggap disebabkan oleh struktur internal sistem (*endogenous explanation*). Fokus utama dari metodologi sistem dinamik adalah memperoleh pemahaman atas suatu sistem, sehingga langkah-langkah pemecahan masalah memberikan umpan balik pada pemahaman sistem.

Pada gambar 2.1 Ditunjukkan rangkaian proses dalam sistem dinamik yang dijelaskan oleh Jay Forrester dalam jurnalnya, “*System Dynamics, System Thinking and Soft OR*” yang diterbitkan tahun 1994.



Gambar 2.1 Proses dalam sistem dinamik
Sumber: Forrester (1994)

Langkah pertama merupakan investigasi yang termotivasi oleh perilaku sistem yang tidak diinginkan yang ingin dimengerti dan diperbaiki. Langkah awal adalah mengerti tetapi tujuan akhirnya adalah perbaikan. Pertama-tama adalah mendeskripsikan sistem yang relevan kemudian menghasilkan suatu hipotesis.

Langkah kedua adalah memulai memformulasikan suatu model simulasi. Deskripsi sistem dan langkah pertama diubah menjadi persamaan *level* dan *rate* dari suatu model sistem dinamik. Penulisan persamaan bisa memperlihatkan adanya gap dan ketidakkonsistenan yang harus diperbaiki di tahap sebelumnya (tahap deskripsi).

Langkah ketiga dapat dimulai jika persamaan di langkah kedua telah memenuhi kriteria logis untuk sebuah model yang dapat dijalankan. *Software* sistem dinamik biasanya menyediakan cek logis untuk memenuhi kriteria logis tersebut. Tahap simulasi ini juga mengarahkan pada deskripsi masalah dan perbaikan persamaan kembali. Langkah ketiga ini harus menyesuaikan dengan elemen penting dalam praktek sistem dinamik yang baik, simulasi harus menggambarkan bagaimana pertimbangan kesulitan yang dicoba dilakukan di sistem yang nyata. Berbeda dengan metodologi yang berfokus pada kondisi masa depan ideal untuk suatu sistem, sistem dinamik hanya menyatakan bagaimana kondisi saat ini dan bagaimana mengarahkannya ke suatu perbaikan. Simulasi pertama akan mengarahkan pada pertanyaan-pertanyaan dan pengulangan langkah pertama dan kedua, hingga model benar-benar dikatakan cukup untuk mencapai tujuan. Tidak ada cara untuk membuktikan validasi dari isi suatu teori yang merepresentasikan perilaku dunia nyata. Yang mungkin dicapai hanyalah tingkat kepercayaan dari sebuah model yang terhadap kecukupan, waktu, serta biaya untuk melakukan perbaikan.

Langkah keempat adalah mengidentifikasi alternatif skenario untuk pengujian. Uji simulasi digunakan untuk mencari skenario yang memberikan peluang penerapan terbaik. Alternatif tersebut dapat berupa pengetahuan, intuitif selama tiga langkah pertama, analisis yang berpengalaman, permintaan orang-orang yang berada dalam sistem, atau berupa uji perubahan parameter secara otomatis yang lebih mendalam. Pencarian parameter secara otomatis sangat berguna.

Langkah kelima melalui suatu konsensus untuk proses implementasi. Langkah kelima merepresentasikan tantangan terbesar terhadap kemampuan pemimpin mengoordinasi. Model memperlihatkan bagaimana sistem menyebabkan masalah yang sedang mereka hadapi.

Langkah keenam adalah implementasi kebijakan baru. Kesulitan langkah ini kebanyakan berasal dari ketidakcukupan langkah sebelumnya. Jika model relevan dan persuasif, dan pendidikan di langkah kelima telah cukup, maka langkah keenam berjalan dengan baik. Walaupun demikian, implementasi memerlukan waktu yang sangat panjang. Kebijakan lama harus benar-benar dihilangkan, dan kebijakan baru memerlukan sumber informasi baru dan *training*.

2.5 Model Konseptual

Model konseptual merupakan rancang terstruktur yang berisi konsep-konsep yang saling terkait dan saling terorganisasi guna melihat hubungan dan pengaruh logis antar konsep. Model konseptual memberikan keteraturan untuk berfikir, mengamati apa yang dilihat serta menunjukkan suatu pemecahan masalah. Adapun model konseptual untuk merancang sistem dinamik di PDAM adalah *Causal Loop Diagram* (CLD) dan *Stock and Flow Diagram*.

2.5.1 Causal Loop Diagram (CLD)

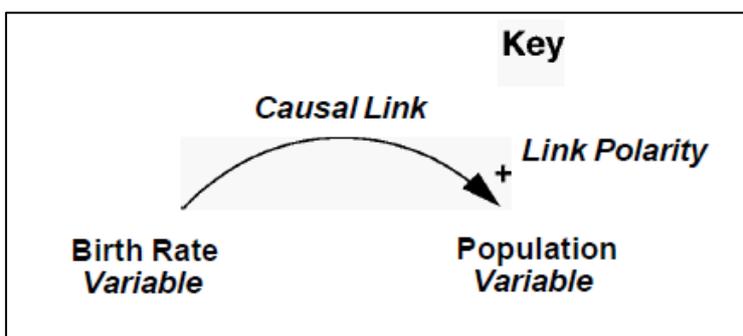
Causal Loop Diagram (CLD) merupakan cara yang sesuai untuk merepresentasikan umpan balik dan hubungan antar kausal dari situasi masalah tertentu, tanpa membedakan sifat dari variabel-variabel yang saling berhubungan (McLucas, 2003). Variabel-variabel akan dihubungkan oleh *causal link* yang ditunjukkan oleh anak panah, dan di setiap *causal link* akan ada *link polarity*, positif (+) atau negatif (-) untuk mengindikasikan bagaimana perubahan suatu variabel dependen ketika variabel independen berubah. Selanjutnya, *loop* yang bernilai penting akan diperjelas oleh *loop identifier* yang akan menunjukkan apakah

suatu *loop* merupakan positif (*reinforcing*) atau negatif (*balancing*) *feedback* (Sterman, 2000).

2.5.1.1 Link Polarity

Link polarity menjelaskan struktur dari suatu sistem, bukan tingkah laku dari variabel. *Link polarities* mendeskripsikan kemungkinan yang akan terjadi, bukan kejadian yang sebenarnya. Terdapat dua alasan untuk menjelaskan pernyataan tersebut. Pertama, variabel dapat memiliki lebih dari satu *input*, misalnya dalam suatu populasi, dimana tingkat kelahiran dipengaruhi oleh dua variabel yakni *fractional birth rate* dan ukuran dari populasi. Dalam hal ini, tidak dapat dikatakan bahwa kenaikan *fractional birth rate* akan meningkatkan *birth rate*, perlu pula diketahui apakah suatu populasi mengalami peningkatan atau tidak. Alasan yang kedua adalah *Causal Loop Diagram* (CLD), tidak melakukan pembagian variabel ke dalam *stock* dan *flow* yang akan dijelaskan pada sub bab 2.5.2 (Sterman, 2000).

Gambar berikut menunjukkan letak *link polarity*, dimana contohnya adalah hubungan antara variabel kelahiran dengan populasi.



Gambar 2.2 Link polarity
Sumber: Sterman (2000)

Tabel 2.3 berikut merupakan definisi dan contoh dari *link polarity*.

Tabel 2.3
Definisi, Interpretasi dan Contoh *Link Polarity*

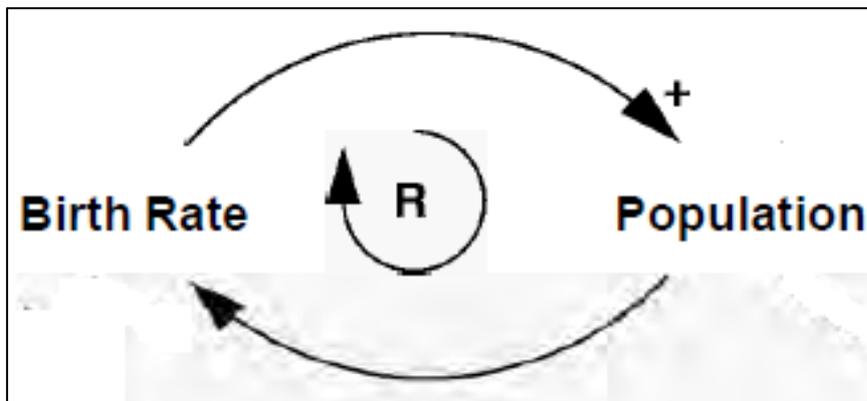
Simbol	Interpretasi	Contoh
$X \xrightarrow{+} Y$	Apabila X meningkat (menurun), maka Y akan meningkat (menurun) di atas (di bawah) nilai yang ada.	
$X \xrightarrow{-} Y$	Apabila X meningkat (menurun), maka Y akan menurun (meningkat) di bawah (di atas) nilai yang ada.	

2.5.1.2 Loop Identifier

Menurut Sterman (2000), dalam CLD terdapat dua jenis *feedback loop*, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Reinforcing Feedback Loop*

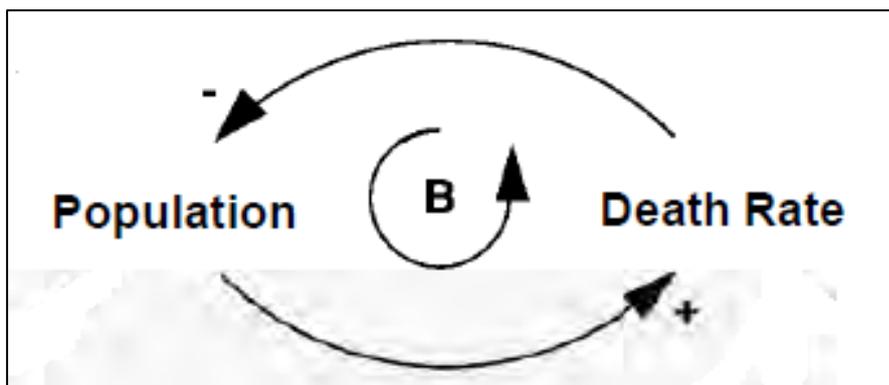
Merupakan *feedback* positif. Contoh yang dapat menjelaskan pernyataan tersebut adalah tentang populasi, dihubungkan dengan tingkat kelahiran per tahun. Ketika populasi bertambah, maka tingkat kelahiran akan bertambah tiap tahunnya, sehingga populasi di masa mendatang juga akan bertambah.



Gambar 2.3 Reinforcing feedback loop
Sumber: Sterman (2000)

2. *Balancing Feedback Loop*

Merupakan *feedback loop* yang akan menjaga stabilitas suatu sistem. Contoh yang dapat menjelaskan hal ini adalah tentang populasi, dihubungkan dengan tingkat kematian. Ketika populasi bertambah, maka tingkat kematian juga akan bertambah, namun meningkatnya tingkat kematian tidak menyebabkan bertambahnya populasi.



Gambar 2.4 Balancing feedback loop
Sumber: Sterman (2000)

2.5.1.3 Proses Pendefinisian *Causal Loop Diagram*

Berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menggambarkan sistem nyata dengan menggunakan *causal loop diagram* (CLD) (Kim, 1992). Pada Tabel 2.4 akan dijelaskan petunjuk dalam pembuatan CLD (Kim, 1992):

1. *Theme Selection*

Pemilihan tema merupakan langkah yang perlu dilakukan untuk mendefinisikan sistem ke dalam CLD. Misalnya tema “Untuk memahami perubahan yang terjadi ketika strategi pengendalian teknologi diubah menjadi strategi berorientasi pemasaran”, lebih baik digunakan daripada tema “Untuk memahami strategi perencanaan proses”.

2. *Time Horizon*

Penentuan jangka waktu untuk mengatasi permasalahan yang ada merupakan hal yang membantu dalam proses pembuatan CLD. Misalnya dalam penentuan perubahan strategi perusahaan, dibutuhkan jangka waktu beberapa tahun, sementara dalam mengubah cara promosi dapat dilakukan dalam jangka waktu beberapa bulan.

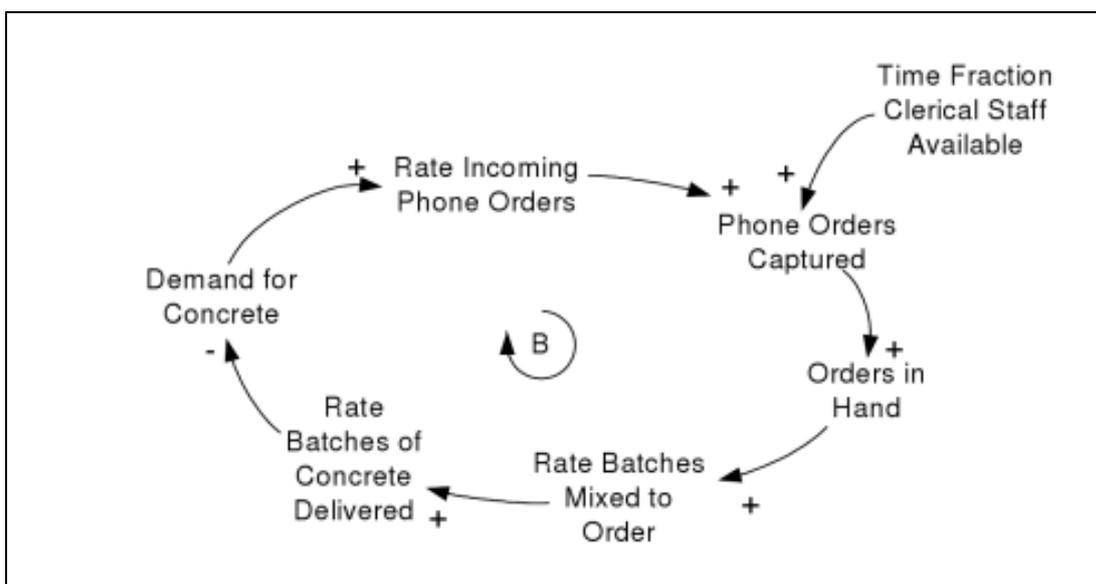
3. *Behavior Over Time Charts*

Melakukan identifikasi dan menggambarkan tingkah laku dari variabel kunci dari waktu ke waktu merupakan langkah awal yang penting untuk mendefinisikan sistem nyata.

4. *Boundary Issue*

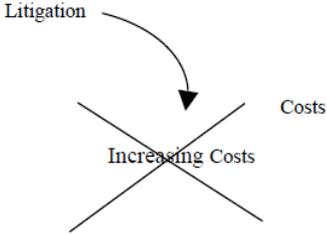
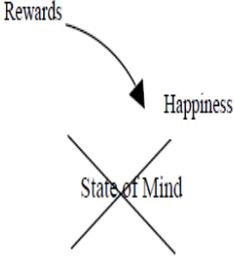
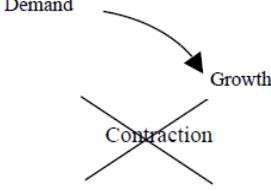
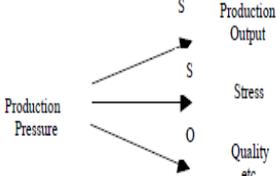
Menentukan batasan masalah digunakan untuk lebih fokus pada masalah utama yang ingin diselesaikan.

Pada Gambar 2.5 merupakan contoh *causal loop diagram*.

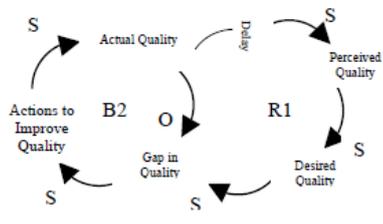
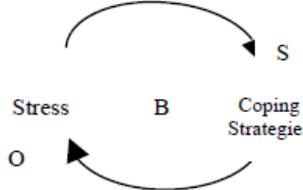
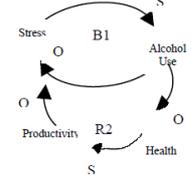
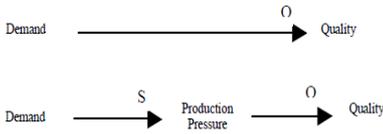
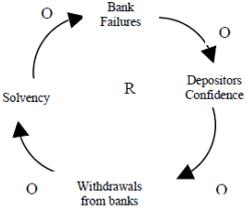


Gambar 2.5 *Causal loop diagram*
Sumber: McLucas (2003)

Tabel 2.4
Petunjuk Pembuatan CLD

	Petunjuk	Contoh
Pemilihan nama variabel	<p>1. Gunakan kata benda untuk memilih nama variabel yang akan digunakan. Hindari menggunakan kata kerja. Misal "Biaya" lebih baik digunakan daripada "Peningkatan Biaya", karena apabila biaya mengalami penurunan, maka nama variabel "Peningkatan Biaya" akan membingungkan untuk digunakan.</p>	
Pemilihan nama variabel	<p>2. Gunakan nama variabel yang merepresentasikan adanya perubahan kuantitas dari waktu ke waktu. Misalnya variabel "Kondisi pikiran" akan kurang tepat digunakan untuk menggambarkan kondisi perubahan kuantitas yang dapat meningkat atau menurun, sebaiknya menggunakan "Kebahagiaan" sebagai nama variabel.</p>	
	<p>3. Apabila memungkinkan, pilih nama variabel yang lebih bersifat positif, misalnya nama variabel yang digunakan adalah "Pertumbuhan", dalam menjelaskan kenaikan atau penurunan akan lebih jelas daripada menggunakan nama "Penyusutan"</p>	
Pembuatan Loop	<p>4. Pikirkan tentang kemungkinan akibat yang tidak diinginkan disamping keluaran yang diharapkan dari adanya perlakuan yang terdapat dalam diagram. Misalnya, kenaikan dalam "Production Pressure" dapat meningkatkan "Output Produksi, namun dapat juga meningkatkan "Stress" dan menurunkan "Kualitas"</p>	
	<p>5. <i>Balancing feedback loop</i> merupakan proses pencarian tujuan. Buat tujuan yang jelas dari tiap <i>loop</i> yang dibuat. Misalnya, pada <i>loop</i> B1, dapat timbul pertanyaan mengapa peningkatan "Kualitas" dapat menyebabkan penurunan "Cara untuk Memperbaiki Kualitas". Sehingga pada <i>loop</i> B2, dapat dilihat bahwa ketika tujuannya adalah "Kualitas yang Diinginkan", maka variabel "Gap dalam Kualitas" dapat mengontrol cara perbaikan kualitas.</p>	

Tabel 2.4
Petunjuk Pembuatan CLD (Lanjutan)

	Petunjuk	Contoh
	<p>6. Penting untuk membedakan antara persepsi dan kenyataan, misal “Kualitas yang dirasakan” dengan “Kualitas sebenarnya”. Persepsi akan mengalami perubahan lebih lambat daripada kenyataan yang sebenarnya, dan kesalahan mendefinisikan persepsi untuk keadaan sesungguhnya dapat mengakibatkan hasil yang muncul tidak sesuai dengan harapan.</p>	
	<p>7. Apabila suatu variabel memiliki akibat lebih dari satu, satukan akibat-akibat tersebut dengan menggunakan satu istilah. Misalnya untuk mengatasi <i>stress</i>, dapat dilakukan beberapa cara seperti olahraga, meditasi, dll, akan tetapi dapat digunakan satu istilah yaitu “<i>Coping Strategies</i>”.</p>	
	<p>8. Suatu tindakan hampir selalu memiliki akibat jangka panjang dan jangka pendek. Contoh pada gambar, <i>loop</i> B1 menunjukkan akibat jangka pendek, sedangkan <i>loop</i> R2 menunjukkan akibat jangka panjang.</p>	
<p>Tips Umum</p>	<p>9. Apabila hubungan antara dua variabel perlu diperjelas, definisikan ulang variabel tersebut atau masukkan variabel yang menjadi penengah. Misalnya, hubungan antara variabel “Permintaan” dengan “Kualitas” akan lebih jelas bila dihubungkan dengan “<i>Production Pressure</i>” sebagai penengah.</p>	
	<p>10. Cara cepat untuk menentukan apakah suatu loop merupakan <i>balancing</i> atau <i>reinforcing</i> adalah dengan cara menghitung jumlah “o” atau (-) dalam <i>loop</i>. Apabila bernilai ganjil, maka <i>loop</i> merupakan <i>balancing loop</i>, sedangkan bila bernilai genap maka merupakan <i>reinforcing loop</i>.</p>	

2.5.2 Stock and Flow Diagram

Stock and flow diagram menyediakan bahasa visual yang lebih lengkap dibandingkan *Causal Loop Diagram*, dimana menurut Forrester (1994) dalam *System Dynamic Society* (2015), terdapat elemen-elemen dalam *stock and flow diagram* yang akan dijelaskan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5
Elemen-elemen dalam *Stock and Flow Diagram*

Nama	Notasi	Penjelasan	Contoh
<i>Stock</i>		<i>Stock</i> merepresentasikan bagian dari sistem yang mana nilai dari <i>stock</i> dalam waktu tertentu tergantung pada tingkah laku sistem pada waktu sebelumnya.	Jarak tempuh kendaraan bermotor dari pukul 08.00 AM - 10.00 AM terakumulasi di <i>mileage counter</i> , bukan hanya dari <i>current speed</i> pada jam 10.00 AM.
<i>Flow</i>		<i>Flow</i> merepresentasikan tingkah laku yang akan mengubah jumlah <i>stock</i> . Terdapat <i>in flow</i> yang menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah <i>stock</i> atau <i>out flow</i> yang menyebabkan penurunan jumlah <i>stock</i> .	<i>Velocity</i> merupakan <i>in flow</i> yang akan memunculkan angka akumulasi dalam <i>mileage counter</i> .
<i>Converter</i>		<i>Converter</i> merepresentasikan suatu bagian yang masuk dalam batasan sistem (bagian ini memiliki nilai yang tidak ditentukan dari tingkah laku sistem tersebut)	Posisi gas dan rem pada kendaraan bermotor mempengaruhi percepatan kendaraan tersebut. Posisi gas dan rem dikatakan sebagai <i>converter</i> .
<i>Connector</i>		<i>Connector</i> menunjukkan bagaimana suatu bagian sistem saling mempengaruhi.	Posisi gas atau rem mempengaruhi percepatan sehingga aspek-aspek tersebut dihubungkan dengan <i>connector</i> .
<i>Source or Sink</i>		Menunjukkan awal dan akhir dari aliran <i>stock</i> dalam batasan sistem.	-

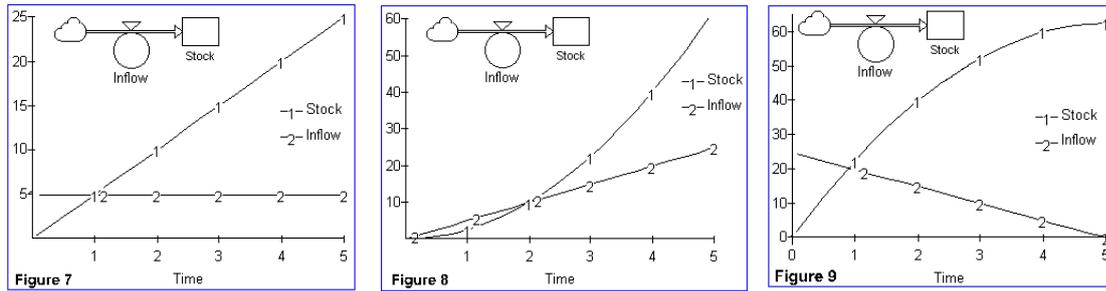
2.5.2.1 Identifikasi *Stock and Flow*

Menurut *System Dynamic Society* (2015), berikut ini adalah beberapa petunjuk yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu variabel masuk dalam *stock* atau *flow*. Gambar 2.6 merupakan contoh *stock and flow diagram*.

1. *Stock* biasanya merupakan kata benda, dan *flow* merupakan kata kerja
2. *Stock* tidak menghilang ketika waktu terhenti, *flow* menghilang apabila waktu terhenti.
3. *Stock* mengirimkan sinyal (informasi tentang kondisi sistem).

2. *Change the time shape of flows*

Perubahan bentuk waktu dari suatu *flow* dapat dilihat pada Gambar 2.8.

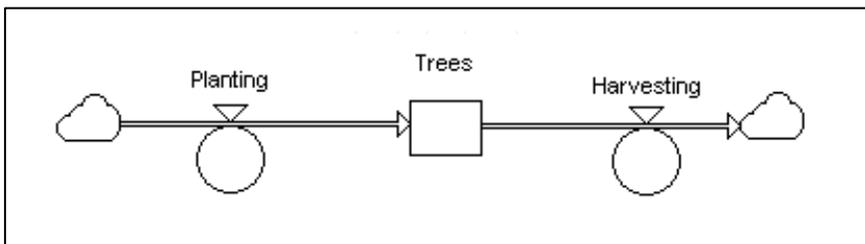


Gambar 2.8 Grafik *flow* konstan (kiri), *flow* meningkat (tengah), *flow* menurun (kanan)

Sumber: *System Dynamic Society* (2015)

3. *Decouple flows*

Karakteristik selanjutnya dari *stock* adalah menginterupsi suatu *flow* sehingga menyebabkan adanya kemungkinan terjadinya perbedaan tingkah laku dari *inflow* dan *outflow*. Contoh dari *stock* yang menyebabkan *decouple flows* adalah sebagai berikut.

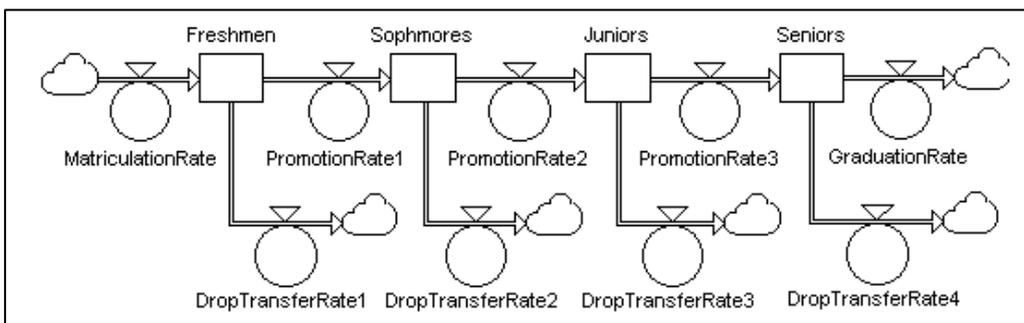


Gambar 2.9 Contoh *flow* yang diinterupsi oleh *stock*

Sumber: *System Dynamic Society* (2015)

4. *Create delays*

Dalam memodelkan sistem dinamik, mengidentifikasi *delay* merupakan langkah penting untuk memodelkan suatu proses karena hal tersebut dapat menggambarkan tingkah laku sistem secara signifikan. Semakin lama suatu *delay* antara sebab dan akibat, maka akan menyebabkan pengambil keputusan tidak dapat menghubungkan kedua hal tersebut. Berikut ini adalah struktur *stock-flow* yang menggambarkan *system delay*.



Gambar 2.10 Contoh struktur *stock-flow* yang menggambarkan *system delay*

Sumber: *System Dynamic Society* (2015)

2.6 Verifikasi dan Validasi

Dalam pengaplikasian simulasi, sistem nyata dapat digambarkan dengan membuat model konseptualnya terlebih dahulu. Model konseptual tersebut selanjutnya akan dimodelkan dalam suatu *software*. Model operasional diharapkan merepresentasikan sistem nyata secara akurat, sehingga dibutuhkan beberapa proses untuk memastikan akurasi, yaitu verifikasi dan validasi. Verifikasi adalah suatu cara yang dilakukan untuk memastikan bahwa model operasional telah merepresentasikan model konseptual. Validasi adalah suatu cara yang dilakukan untuk memastikan bahwa model konseptual telah merepresentasikan sistem nyata (Banks, et al., 2004).

2.6.1 Verifikasi

Verifikasi dilakukan untuk memastikan model telah terbangun dengan tepat pada *software* simulasi, hal ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu (Banks, et al., 2004):

1. Membuat diagram alir konseptual yang mampu menggambarkan setiap logika proses dari sistem dan membandingkannya dengan model pada *software* simulasi.
2. Melihat rangkuman proses pada model untuk melakukan pengecekan terhadap input parameter, satuan, serta variabel yang digunakan pada model.
3. Melakukan pengecekan terhadap animasi dari model untuk melihat apakah jalannya model mampu meniru dan sesuai dengan sistem nyata.
4. Melakukan kompilasi *error* dari model simulasi yang dibuat. Pada umumnya, *software* simulasi memiliki *Interactive Run Controller* (IRC) atau *debugger* yang secara otomatis melakukan pengecekan terhadap model yang telah dibuat dan mengidentifikasi *error* pada model.

2.6.2 Validasi

Pemodel sistem dinamis sudah mengembangkan berbagai cara yang spesifik untuk menguji dan memperbaiki model dalam rangka untuk mengatasi kelemahan yang ada (Misalnya: Forrester 1973; Forrester dan Senge 1980; Barlas 1996). Berikut merupakan cara melakukan validasi, sesuai dengan tujuan, alat dan metode yang bisa digunakan dari masing-masing.

Tabel 2.6
Cara-Cara Validasi Model

Pengujian	Tujuan pengujian	Alat dan Prosedur
Kecukupan Batasan	Menentukan batasan masalah yang dianggap <i>endogenous</i>	Menggunakan grafik batasan, diagram sub-sistem, diagram sebab-akibat, peta <i>stock and flow</i> , dan pemeriksaan persamaan model secara langsung
	Apakah perilaku model berubah signifikan ketika batasan masalah diubah?	Gunakan <i>interview</i> , <i>workshop</i> untuk mendapatkan opini para ahli, bahan-bahan utama, literatur, partisipasi langsung pada proses sistem
	Apakah rekomendasi kebijakan akan berubah ketika batasan model diperluas?	Modifikasi model untuk mendapatkan struktur tambahan yang mungkin, membuat konstanta dan variabel eksogenus dan endogenus, lalu ulangi analisa kebijakan dan sensitivitas
Penilaian struktur	Apakah struktur model konsisten dengan pengetahuan yang relevan dari sistem?	Gunakan diagram struktur kebijakan, diagram sebab-akibat, peta <i>stock and flow</i> , pemeriksaan persamaan model secara langsung
	Apakah tingkat agregasinya mencukupi?	Gunakan <i>interview</i> , <i>workshop</i> untuk mendapatkan para ahli, bahan-bahan utama, literatur, partisipasi langsung pada proses sistem
	Apakah model tersebut menyesuaikan dengan hukum perlindungan alam?	Adakah tes model secara parsial dengan kebijakan yang diinginkan
		Apakah percobaan laboratorium untuk mendapatkan mental model dan kendali kebijakan dari partisipan
	Apakah kebijakan mengendalikan perilaku sistem?	Bangun sub-model parsial dan bandingkan perilakunya terhadap perilaku secara keseluruhan Perhatikan beberapa variabel kemudian ulangi analisa kebijakan dan sensitivitas
Konsistensi dimensi	Apakah tiap persamaan sudah konsisten, tanpa menggunakan parameter yang tidak perlu?	Gunakan <i>software</i> analisa dimensi, periksa persamaan model di variabel-variabel tertentu
Penilaian parameter	Apakah parameter nilai telah sesuai dengan pengetahuan deskriptif dan numerik system	Gunakan metode statistik untuk memperkirakan parameter
		Gunakan tes model secara parsial untuk mengkalibrasi sub-sistem
	Apakah setiap parameter memiliki imbalan di dunia nyata?	Gunakan metode penilaian berdasarkan <i>interview</i> , opini para ahli, FGD, pengalaman langsung, dsb. Gunakan beberapa sub-model untuk memperkirakan hubungan dalam keseluruhan model
Kondisi ekstrim	Apakah model tersebut masih sesuai jika inputnya ditaruh sebagai kondisi ekstrim?	Periksa tiap persamaan, tes respon pada nilai ekstrim di tiap input, tiap bagian atau dalam kombinasi
	Apakah model memungkinkan merespon kebijakan, gangguan, dan parameter ekstrim?	Subjek model pada gangguan besar dan kondisi ekstrim. Gunakan tes sesuai dengan aturan dasar (misal: tidak ada inventori, tidak ada <i>shipment</i> , dll)
<i>Error</i> dalam integrasi	Apakah hasil simulasi sensitif terhadap pemilihan timestep atau metode integrasi numerik?	Gunakan setengah timestep dan tes perubahan perilakunya. Gunakan metode integrasi berbeda dari tes perubahan perilakunya

Tabel 2.6
Cara-Cara Validasi Model (Lanjutan)

Pengujian	Tujuan pengujian	Alat dan Prosedur
Reproduksi perilaku	Apakah model menghasilkan perilaku penting dari sistem?	Gunakan pengukuran statistik untuk melihat kesesuaian antara model dan data
	Apakah variabel endogenus menghasilkan gejala kesulitan pembelajaran?	Bandingkan keluaran model dengan data secara kualitatif termasuk perilaku sederhana, ukuran variabel, asimetris, amplitudo dan fase relatif, kejadian yang tidak biasa
	Apakah model menghasilkan beberapa perilaku sederhana seperti pada dunia nyata?	
	Apakah frekuensi dan fase hubungan antar variabel sesuai dengan data?	Perilaku respon model terhadap input tes, <i>shock event</i> dan <i>noise</i>
Anomali perilaku	Apakah ada anomali perilaku ketika asumsi model diubah atau dihilangkan?	<i>Zero out key effect</i> , gantikan asumsi <i>equilibrium</i> dengan asumsi dengan struktur <i>disequilibrium</i>
Perilaku mengejutkan	Apakah model menghasilkan perilaku yang tidak terduga?	Pertahankan akurasi, kelengkapan, dan record data dari simulasi model. Gunakan model untuk mensimulasikan perilaku masa mendatang dari sistem
	Apakah model bisa mengantisipasi respon sistem pada kondisi baru?	Pisahkan semua ketidaksesuaian antara model dengan pengertian terhadap sistem nyata
Analisis sensitivitas	Sensitivitas numerik lakukan perubahan nilai secara signifikan	Gunakan analisa sensitivitas univariat dan multivariat, gunakan metode analitis (linier, lokal dan analisa stabilitas global)
	Sensitivitas perilaku lakukan perubahan perilaku sederhana model secara signifikan	Buat batasan model dan daftar tes agregat untuk tes diatas
	Sensitivitas kebijakan lakukan perubahan implikasi kebijakan secara	Gunakan metode optimasi untuk mendapatkan parameter dan kebijakan terbaik
Perbaiki system	Apakah proses <i>modeling</i> membantu merubah sistem menjadi lebih baik?	Desain percobaan terkontrol dengan perlakuan dan kontrol grup, tugas acak, penilaian sebelum dan sesudah intervensi

Sumber: Sterman (2000)

2.7 Definisi Variabel

Dalam subbab ini akan dijelaskan mengenai definisi beberapa variabel yang digunakan dalam model sistem simulasi terkait penentuan kebijakan pembangunan infrastruktur penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang dengan pendekatan sistem dinamik. Variabel yang akan dijelaskan diantaranya adalah kapasitas produksi sumber, jumlah pelanggan, potensi pelanggan, debit air tersalur, kehilangan air, cakupan pelayanan

2.7.1 Kapasitas Produksi Terpasang

Kapasitas produksi terpasang merupakan kemampuan produksi air yang dialirkan per satuan waktu dari fasilitas sumber air yang dinyatakan dalam satuan liter per detik. Kapasitas produksi sumber di PDAM dibagi menjadi dua macam yaitu kapasitas terpasang

dan kapasitas produksi. Kapasitas terpasang merupakan jumlah kapasitas PDAM yang terpasang sesuai dengan rencana. Sedangkan kapasitas produksi merupakan jumlah produksi riil PDAM (BPPSPAM, 2015).

2.7.2 Jumlah Pelanggan

Jumlah pelanggan merupakan jumlah pelanggan total yang tercatat di dalam administrasi pelayanan pada akhir periode evaluasi. Variabel ini biasanya digunakan untuk menentukan indikator pertumbuhan pelanggan untuk menunjukkan kemampuan PDAM dalam memasarkan produksinya. Selain itu indikator pertumbuhan pelanggan dapat menunjukkan kemampuan PDAM dalam berinvestasi untuk mengembangkan pelayanan air minumannya (BPPSPAM, 2015).

2.7.3 Kebutuhan Produksi

Kebutuhan produksi pada PDAM Kota Malang tergantung pada jumlah penduduk dan sistem jaringan distribusi yang dilayani. Dalam sistem satuan SI besarnya debit kebutuhan produksi dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$) atau dapat pula dinyatakan dalam satuan liter/detik. Angka kebutuhan produksi didapatkan dari debit air yang didistribusikan sesuai dengan pembacaan pada meter induk. Total debit kebutuhan produksi dipengaruhi oleh jumlah saluran pelanggan, rata-rata kebutuhan operasional serta rata-rata konsumsi air tiap saluran serta tingkat kehilangan air.

$$\text{Kebutuhan Produksi} = \frac{\text{Total Jumlah Saluran} \times (\text{Kebutuhan Operasional} + \text{Kebutuhan tiap Saluran})}{(1 - \text{Tingkat Kehilangan Air})} \quad (2-1)$$

Sumber: BPPSPAM (2015)

2.7.4 Kehilangan Air

Kehilangan air adalah tidak sampainya air yang diproduksi kepada pelanggan. Standar Kriteria Desain Sistem Penyediaan Air Bersih membatasi faktor kehilangan air hingga angka toleransi sebesar 20 persen dari kapasitas debit produksi. Kehilangan air merupakan faktor yang dapat menyebabkan kerugian pada suatu sistem penyediaan air, baik terhadap PDAM maupun terhadap pelanggan. Kehilangan air disebut pula dengan istilah *Non Revenue Water* (NRW) adapula yang menggunakan istilah *Unaccounted For Water* (UFW) terutama jika komponen air yang sah digunakan oleh pemakai akan tetapi tidak tertagih (*unbilled authorized consumption*). Sehingga dapat diartikan pula sebagai air bersih hasil

olahan yang tidak menjadi pendapatan (*revenue*) bagi pengelolaan dikarenakan kesalahan pengelolaan dan penyebab lain.

$$\text{Kehilangan Air} = \text{Jumlah Air yang Dipasok} - \text{Jumlah Air yang Dikonsumsi} \quad (2-2)$$

$$\text{Tingkat Kehilangan Air} = \frac{\text{Kehilangan Air}}{\text{Jumlah Air yang Dipasok}} \times 100\% \quad (2-3)$$

Sumber: Sinulingga (2014)

2.7.5 Tingkat Ketersediaan Air

Tingkat ketersediaan air merupakan rasio antara kapasitas terpakai dan kebutuhan produksi. Tingkat ketersediaan ini menunjukkan kemampuan kapasitas terpakai dalam memenuhi kebutuhan produksi. Apabila nilai tingkat ketersediaan air berada di atas angka 1 maka debit dari kapasitas terpasang mampu memenuhi kebutuhan produksi dan sebaliknya.

$$\text{Tingkat Ketersediaan Air} = \frac{\text{Kapasitas Terpakai}}{\text{Kebutuhan Produksi}} \quad (2-4)$$

Sumber: BPPSPAM (2015)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)