



# **ANALISIS KEBIJAKAN PENAMBAHAN SUMBER AIR DI PDAM KOTA MALANG DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK**

## **SKRIPSI TEKNIK INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**RIMA**

**NIM. 135060707111016**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**



## PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Tidak lupa shalawat dan salam juga tercurah kepada Rasulullah Nabi Muhammad SAW. Skripsi yang berjudul **“ANALISIS KEBIJAKAN PENAMBAHAN SUMBER AIR DI PDAM KOTA MALANG DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik di Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak hambatan yang penulis hadapi dalam penulisan skripsi ini, namun berkat dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, hambatan-hambatan tersebut dapat teratasi. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Alfiannoor dan Ibu Nurnilawati atas kasih sayang, doa dan kesabaran yang tak terbatas, untuk pelajaran dan didikan yang diberikan selama ini, motivasi, nasihat, dukungan mental dan materiil, serta perjuangan yang tidak pernah lelah demi memberikan pendidikan yang terbaik kepada penulis.
2. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri dan dosen pembimbing I, penulis berterimakasih atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
3. Ibu Agustina Eunike, ST., MT. M.BA. selaku dosen pembimbing II, penulis berterimakasih atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, motivasi, semangat dan ilmu yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
4. Ibu Ceria Farela Mada Tantrika, MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang selalu memberikan bimbingan dan arahan terhadap kegiatan akademik maupun non akademik kepada penulis.
5. Bapak Remba Yanuar Efranto, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Manajemen Sistem Industri, penulis berterimakasih atas bimbingannya dan arahan yang telah diberikan.
6. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri, penulis berterimakasih atas motivasi, nasihat dan ilmu yang beliau berikan.



7. Ibu Yeni Sumantri, S.Si., MT., Ph.D. selaku dosen mata kuliah Sistem Dinamik yang telah memberikan penulis berbagai pengetahuan terkait sistem dinamik maupun simulasi secara keseluruhan.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Industri yang telah dengan ikhlas memberikan ilmu yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
9. Bapak dan Ibu karyawan Jurusan Teknik Industri yang telah membantu memberikan informasi serta melaksanakan proses akademik.
10. Pihak PDAM Kota Malang terutama Bapak Fauzan yang telah berbagi informasi guna kelancaran penyelesaian skripsi.
11. Sahabat tercinta Dea Prilia, Adella Agisthalia, Erlyn Febriani, Masayu Mustika, Izza Annisa yang selalu memberikan bantuan, dukungan, motivasi dan semangat serta doa kepada penulis.
12. Keluargaku LSAI 2013, Firma Nurfida, Fadilia Rinarwastu, Nadhilah Hidayah, Tamara Adriana, Renanta Salma, Alfian Danu, Dino Ari, yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa kepada penulis.
13. Keluarga LSAI 2012, Mbak Novita, Mbak Nayla, Mbak Petty, Mbak Eliana, Mbak Dea, Mbak Athira, Mas Ray, Mas Vergiant, Mas Deni, Mas Ersas, Mas Raid dan Mas Shindu yang banyak memberikan nasihat dan arahan kepada penulis.
14. Keluarga LSAI 2014, Nado, Nika, Tuz, Yudan, Setya, Pot, Indah dan Amel yang selalu menghibur dan memberikan motivasi kepada penulis.
15. Seluruh keluarga LSAI yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
16. Sahabat dan seluruh pihak yang belum disebutkan satu persatu oleh penulis atas keterlibatan dan dukungannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis mengucapkan pula permohonan maaf atas kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat dikembangkan dan bermanfaat bagi ilmu pengetahuan ke depannya.

Malang, Mei 2017

Penulis



# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>RINGKASAN</b> .....	xiii
<b>SUMMARY</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Rumusan Masalah .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Asumsi Penelitian .....	5
1.6 Tujuan Penelitian .....	5
1.7 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Penelitian Terdahulu .....	7
2.2 Sistem Produksi dan Distribusi Air PDAM Kota Malang .....	8
2.3 Sistem, Model dan Simulasi .....	9
2.3.1 Sistem .....	10
2.3.2 Model Suatu Sistem .....	10
2.3.3 Simulasi .....	11
2.4 Sistem Dinamik .....	11
2.5 Model Konseptual .....	14
2.5.1 <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) .....	14
2.5.1.1 <i>Link Polarity</i> .....	15
2.5.1.2 <i>Loop Identifier</i> .....	16
2.5.1.3 Proses Pendefinisian <i>Causal Loop Diagram</i> .....	17
2.5.2 <i>Stock and Flow Diagram</i> .....	19



2.5.2.1 Identifikasi <i>Stock and Flow</i> .....	20
2.5.2.2 Karakteristik <i>Stock</i> .....	21
2.6 Verifikasi dan Validasi .....	23
2.6.1 Verifikasi.....	23
2.6.2 Validasi.....	23
2.7 Definisi Variabel.....	25
2.7.1 Kapasitas Produksi Terpasang.....	25
2.7.2 Jumlah Pelanggan .....	26
2.7.3 Kebutuhan Produksi.....	26
2.7.4 Kehilangan Air.....	26
2.7.5 Tingkat Ketersediaan Air.....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	29
3.1 Jenis Penelitian .....	29
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.3 Tahap Penelitian .....	29
3.3.1 Tahap Pendahuluan.....	29
3.3.2 Tahap Pengumpulan Data.....	30
3.3.3 Tahap Pembuatan Model Konseptual.....	31
3.3.4 Tahap Pembuatan Model Simulasi .....	31
3.3.5 Tahap Analisis dan Kesimpulan .....	32
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	35
4.1 Gambaran Umum PDAM Kota Malang .....	35
4.1.1 Unit Transmisi .....	37
4.1.2 Unit Produksi .....	37
4.1.3 Unit Distribusi .....	38
4.2 Pengumpulan Data.....	38
4.3 Identifikasi Sistem .....	42
4.4 Konseptualisasi Sistem .....	43
4.5 Pembuatan Model Simulasi .....	49
4.6 Simulasi .....	58
4.6.1 Verifikasi Model.....	58
4.6.2 Hasil Simulasi Model Dasar .....	59

4.6.3 Validasi Model Dasar.....	63
4.7 Pembuatan Skenario.....	65
4.7.1 Pengembangan dan Analisis Skenario Optimis.....	65
4.7.2 Pengembangan dan Analisis Skenario <i>Most Likely</i> .....	67
4.7.3 Pengembangan dan Analisis Skenario.....	70
4.8 Analisis Hasil Skenario .....	73
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran.....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>79</b>



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Produksi Air per 1 Agustus 2016.....	1
Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan .....	8
Tabel 2.2	Infrastruktur Penanggulangan Kehilangan Air .....	9
Tabel 2.3	Definisi, Interpretasi dan Contoh <i>Link Polarity</i> .....	15
Tabel 2.4	Petunjuk Pembuatan CLD.....	18
Tabel 2.5	Elemen-elemen dalam <i>Stock and Flow Diagram</i> .....	20
Tabel 2.6	<i>Cara-Cara Validasi Model</i> .....	24
Tabel 4.1	Kapasitas Produksi Terpasang PDAM Kota Malang.....	39
Tabel 4.2	Jumlah Pelanggan PDAM Kota Malang.....	39
Tabel 4.3	Kapasitas Produksi Terpakai PDAM Kota Malang.....	40
Tabel 4.4	Kebutuhan Air di PDAM Kota Malang.....	40
Tabel 4.5	Kehilangan Air di PDAM Kota Malang .....	41
Tabel 4.6	Pendapatan Air di PDAM Kota Malang .....	42
Tabel 4.7	Persamaan Sub Model Kebutuhan Air.....	52
Tabel 4.8	Persamaan Sub Model Penyediaan Air.....	54
Tabel 4.9	Persamaan Sub Model Laba.....	56
Tabel 4.10	Jumlah Pelanggan Kota Malang (SR).....	60
Tabel 4.11	Kebutuhan Air PDAM Kota Malang (liter/detik).....	60
Tabel 4.12	Volume Air yang Terjual (m <sup>3</sup> ) .....	61
Tabel 4.13	Kebutuhan Produksi (liter/detik).....	62
Tabel 4.14	Jumlah Pendapatan Air PDAM Kota Malang (juta rupiah).....	62
Tabel 4.15	Jumlah Laba PDAM Kota Malang (juta rupiah).....	62
Tabel 4.16	Persamaan Variabel yang Digunakan Pada Skenario Optimis .....	66
Tabel 4.17	Hasil Skenario Optimis .....	67
Tabel 4.18	Persamaan Variabel yang Digunakan Pada Skenario <i>Most-Likely</i> .....	68
Tabel 4.19	Hasil Skenario <i>Most-Likely</i> .....	69
Tabel 4.20	Persamaan Variabel yang Digunakan Pada Skenario Pesimis.....	71
Tabel 4.21	Hasil Skenario Pesimis .....	72





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Jumlah pelanggan dari tahun 2009 hingga tahun 2016 .....	2
Gambar 1.2	Jumlah prosentase kehilangan air dari tahun 2010 hingga tahun 2016 .....	3
Gambar 2.1	Proses dalam sistem dinamik.....	13
Gambar 2.2	Link polarity .....	15
Gambar 2.3	<i>Reinforcing feedback loop</i> .....	16
Gambar 2.4	<i>Balancing feedback loop</i> .....	16
Gambar 2.5	<i>Causal loop diagram</i> .....	17
Gambar 2.6	<i>Stock and flow diagram</i> .....	21
Gambar 2.7	Grafik <i>deficit</i> (kiri) dan <i>debt</i> (kanan) US Federal tahun 1930-1993 .....	21
Gambar 2.8	Grafik <i>flow</i> konstan, <i>flow</i> meningkat, <i>flow</i> menurun.....	22
Gambar 2.9	Contoh <i>flow</i> yang diinterupsi oleh <i>stock</i> .....	22
Gambar 2.10	Contoh struktur <i>stock-flow</i> yang menggambarkan <i>system delay</i> .....	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar.1	Diagram skematik transmisi dan distribusi PDAM Kota Malang .....	36
Gambar 4.2	Diagram input output sistem dinamik penyediaan air bersih PDAM Kota Malang .....	43
Gambar 4.3	<i>Causal Loop Diagram</i> penyediaan air bersih PDAM Kota Malang.....	44
Gambar 4.4	Variabel yang mempengaruhi kebutuhan air .....	45
Gambar 4.5	Variabel yang dipengaruhi kebutuhan air .....	46
Gambar 4.6	Variabel yang mempengaruhi penyediaan air.....	47
Gambar 4.7	Variabel yang dipengaruhi penyediaan air .....	48
Gambar 4.8	Variabel yang mempengaruhi laba .....	48
Gambar 4.9	Variabel yang dipengaruhi laba .....	49
Gambar 4.10	Stock and Flow Diagram penyediaan air di PDAM Kota Malang .....	51
Gambar 4.11	Sub model kebutuhan air` .....	53
Gambar 4.12	Sub model penyediaan air .....	54
Gambar 4.13	Sub model laba.....	57
Gambar 4.14	Tampilan yang muncul ketika tidak ada <i>error</i> .....	58
Gambar 4.15	Jendela peringatan ketika error terjadi.....	58
Gambar 4.16	Grafik jumlah pelanggan.....	59



Gambar 4.17	Grafik kebutuhan air.....	60
Gambar 4.18	Grafik untuk sub model penyediaan air.....	61
Gambar 4.19	Grafik pendapatan air .....	63
Gambar 4.20	<i>Stock and Flow</i> skenario optimis.....	66
Gambar 4.21	Grafik hasil skenario optimis.....	67
Gambar 4.22	<i>Stock and Flow</i> skenario <i>most-likely</i> .....	68
Gambar 4.23	Grafik hasil skenario <i>most-likely</i> .....	70
Gambar 4.24	<i>Stock and Flow</i> skenario pesimis.....	71
Gambar 4.25	Grafik hasil skenario pesimis .....	72
Gambar 4.26	Kebutuhan produksi akhir periode tiap skenario.....	74
Gambar 4.27	Periode dengan kekurangan air tiap skenario .....	74
Gambar 4.28	Laba akhir periode tiap skenario .....	74



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Simulasi Skenario Optimis.....	79
Lampiran 2	Hasil Simulasi Skenario Pesimis.....	82
Lampiran 3	Hasil Simulasi Skenario Most-Likely .....	85
Lampiran 4	Data Inflasi Tahun 2010-2016.....	88
Lampiran 5	Laporan Keuangan PDAM Kota Malang.....	89
Lampiran 6	Sebaran Sumber Air Baku Baru .....	90
Lampiran 7	Kapasitas Terpasang.....	91



## RINGKASAN

**Rima**, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2017, *Analisis Kebijakan Penambahan Sumber Air di PDAM Kota Malang dengan Pendekatan Sistem Dinamik*, Dosen Pembimbing: Ishardita Pambudi Tama dan Agustina Eunike.

Jumlah pelanggan PDAM Kota Malang terus meningkat sehingga PDAM Kota Malang perlu melakukan perbaikan sistem jaringan distribusi dan juga menambah jumlah kapasitas produksi. Salah satu langkah yang dilakukan PDAM Kota Malang dalam hal optimalisasi jaringan distribusi untuk menjaga kecukupan suplai air adalah dengan mengatasi kebocoran pada pendistribusian air lewat program minimalisasi NRW (*Non Revenue Water*). Menurut pihak PDAM Kota Malang, angka prosentase kehilangan air sebesar 18% - 20% tersebut merupakan angka optimal dalam upaya penekanan NRW. Oleh sebab itu untuk mengatasi peningkatan jumlah pelanggan maka upaya lain yang dapat dilakukan adalah peningkatan kapasitas produksi air. PDAM Kota Malang perlu membangun infrastruktur tambahan untuk melakukan peningkatan kapasitas tersebut. Hal tersebut dilakukan guna menjaga keseimbangan antara kemampuan *supply* dan *demand* pada jaringan. PDAM Kota Malang telah melakukan upaya penambahan kapasitas melalui pengelolaan dan pembangunan sumber-sumber baru. Sumber tersebut direncanakan beroperasi penuh pada tahun 2018 dan akan menambah kapasitas produksi sebesar 540 liter/detik. Terdapat pula rencana untuk menyerahkan kembali sumber Banyuning ke PDAM Kota Batu yang direncanakan akan terjadi antara tahun 2019 atau 2020. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui dampak beberapa kebijakan tersebut terhadap ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan pelanggan guna menjaga kontinuitas antara *supply* dan *demand* pada PDAM Kota Malang dalam jangka panjang.

Penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamik untuk memodelkan sistem penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang. Model dasar sistem dinamik yang digunakan dalam penelitian ini dibangun dengan bantuan *software* Powersim 10.0. Skenario pada penelitian ini dibuat dengan cara mengubah beberapa parameter yang memiliki pengaruh terhadap keseluruhan model dasar. Hal tersebut dilakukan guna menggambarkan berbagai kemungkinan yang akan terjadi di masa mendatang baik secara optimis, rata-rata sering terjadi (*most likely*) maupun pesimis. Seluruh skenario yang dibuat akan merangkum sistem penyediaan air bersih mulai dari tahun 2010 hingga tahun 2040 atau selama 124 kuartal. Hal ini disesuaikan dengan perencanaan strategis jangka panjang yang dibuat setiap 15 tahun sekali sehingga analisis skenario ini merangkum dua kali periode perencanaan strategis.

Berdasarkan hasil simulasi skenario optimis, *most-likely* dan pesimis, diketahui bahwa terdapat perbedaan respon ketersediaan air terhadap kebijakan pada masing-masing skenario. Pada skenario optimis kebutuhan akhir periode meningkat 3,9%. Pada skenario ini tidak terjadi kekurangan air sedangkan laba meningkat 34,7% dari kondisi *existing*. Pada skenario *most-likely* kebutuhan produksi akhir periode naik 9,5%, total periode dengan kekurangan air turun 98,87% dan laba naik 55,34% dari kondisi *existing*. Pada skenario pesimis kebutuhan produksi pada akhir periode meningkat 25,9%, total periode dengan kekurangan air turun 9,37 % sedangkan laba naik 74,39%. Berdasarkan skenario yang telah dianalisis maka pihak PDAM Kota Malang dapat melakukan perencanaan terkait kebijakan penyediaan air bersih kedepannya.

**Kata Kunci:** Penyediaan Air Bersih, Sistem Dinamik, Analisis Kebijakan



## SUMMARY

**Rima**, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2017, *Policy Analysis of Addition of Water Source in PDAM Kota Malang with System Dynamics Approach*. Academic Supervisor: Ishardita Pambudi Tama and Agustina Eunike.

The number of PDAM's customers in Malang City have been increasing, therefore PDAM Kota Malang need to improve the distribution network system and increase its capacity. The effort that have been done by PDAM Kota Malang to overcome leakage on water distribution in terms of distribution network optimization to maintain sufficiency of water supply was by implementing NRW (Non Revenue Water) minimization program. The NRW program was able to reduce the percentage of water loss in range of 18% - 20% by 2016. The percentage of water loss was the optimal number that can be reach by the program however, it will not be able to counterbalance the increasing number of customers. Therefore, PDAM Kota Malang need to perform another effort to overcome the increasing number which related to the increase of water production capacity. PDAM Kota Malang need to build more infrastructure to increase the capacity in order to balance supply and demand of water. PDAM Kota Malang has made efforts to increase capacity through the management and construction of new sources. The source is planned to be fully operational by 2018 and will increase production capacity by 540 liters / sec. On the other hand there is a plan to relinquish the source of Banyuning to PDAM Kota Batu which is planned to occur between 2019 and 2020. The purpose of this research is to define the impacts of some of the policies on water availability to meet customer needs in order to maintain continuity between supply and demand in PDAM Kota Malang in the long run.

This research used System Dynamics approach to modeling water supply system in PDAM Malang. The basic model of the System Dynamics used in this study was built with the help of Powersim 10.0 software. Scenarios in this study were made by changing some parameters that have an influence on the overall basic model. This is done to illustrate the possibilities that will occur in the future, optimistically, most likely and pessimistically. The three scenarios created will summarize the water supply system from 2010 to 2040 or during 124 quarters. This is aligned with the long-term strategic planning that is made every 15 years so that this scenario analysis summarizes two periods of strategic planning.

Based on optimistic, pessimistic and most-likely scenario scenarios, it is known that there are differences in water availability response to policies in each scenario. In the optimistic scenario the end-period requirement increased by 3.9%. In this scenario there is no shortage of water while the profit increases 34.7% from the existing condition. In the pessimistic scenario, production needs at the end of the period increased 25.9%, the total period with water shortage decreased 9.37% while profit rose 74.39%. In the most-scenic scenario, the end-period production needs increase by 9.5%, the total period with water shortage decreased by 98.87% and profit rose 55.34% from the existing condition. Based on the scenario that has been analyzed then the PDAM Kota Malang can do the planning related to water supply policy in the future.

**Keywords:** Water Supply, System Dynamics, Policy Analysis



# BAB I PENDAHULUAN

Sebelum melaksanakan penelitian, perlu ditentukan dasar pelaksanaan penelitian. Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang dari permasalahan yang diangkat, identifikasi masalah, rumusan masalah, pembatasan masalah, asumsi, tujuan, dan manfaat.

## 1.1 Latar Belakang

Air minum utamanya merupakan kebutuhan dasar manusia selain sebagai faktor pendorong pertumbuhan ekonomi dan peningkatan derajat secara nasional. Pengelolaan dan pendistribusian air minum di Kota Malang merupakan hak otonomi dari Perusahaan Daerah Air Minum sesuai dengan Peraturan Daerah Nomor: 11 Tahun 1974. Dalam rangka pemenuhan kebutuhan air minum PDAM Kota Malang terus menerus melakukan perbaikan sistem jaringan distribusi dan juga menambah jumlah kapasitas produksi. Air bersih dari sumber-sumber tersebut ditampung pula ke dalam reservoir-reservoir sebagai pusat penampungan air sementara untuk menjaga agar air yang didistribusikan tetap berada pada tekanan tertentu selain tentunya langsung didistribusikan kepada pelanggan,.

Tabel 1.1  
Produksi Air per 1 Agustus 2016

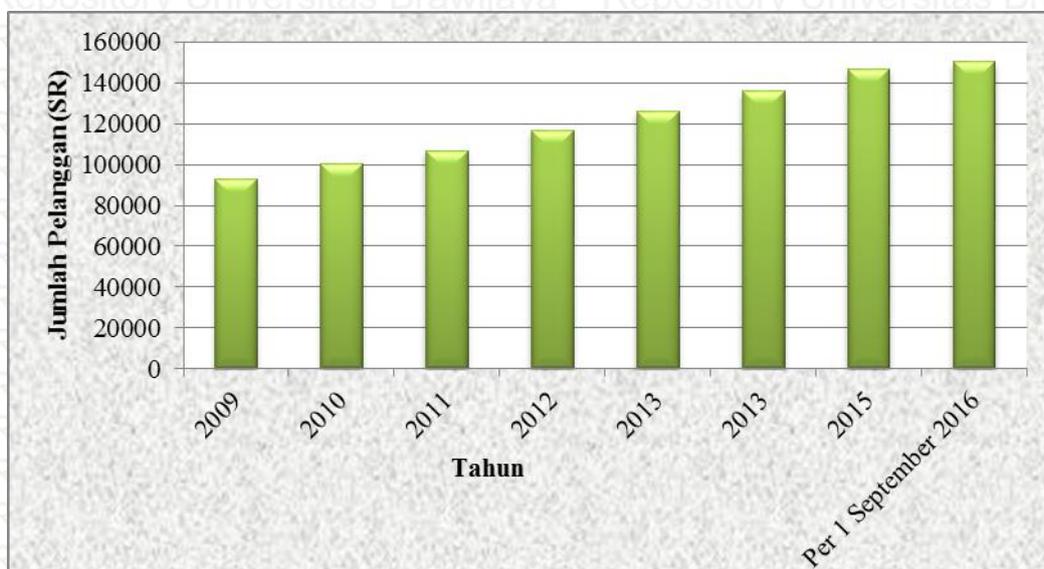
NO	NAMA SUMBER	ELEVASI	LOKASI	SISTEM PENGALIRAN	BULAN INI
		+m dpl			PRODUKSI (lt/dt)
1	SUMBER BINANGUN LAMA	840	KOTA BATU	GRAVITASI	90,90
2	SUMBER BINANGUN BARU		KOTA BATU	GRAVITASI	151,48
3	SUMBER KARANGAN	980	KOTA BATU	GRAVITASI	23,90
4	SUMBER SUMBER SARI	721	KAB. MALANG	GRAVITASI	26,42
5	SUMBER WENDIT I	756	KAB. MALANG	GRAVITASI	373,78
6	SUMBER WENDIT II	425	KAB. MALANG	POMPANISASI	363,98
7	SUMBER WENDIT III		KAB. MALANG	POMPANISASI	260,40
8	SUMBER BANYUNING		KAB. MALANG	POMPANISASI	102,72
9	SUMUR BADUT I	470	KOTA MALANG	POMPANISASI	12,43
10	SUMUR BADUT II		KOTA MALANG	POMPANISASI	20,64
11	SUMUR SUMBER SARI I	452	KOTA MALANG	POMPANISASI	0,00
12	SUMUR ISTANA DIENG	491	KOTA MALANG	POMPANISASI	12,82
13	SUMUR SUPIT URANG I	529	KOTA MALANG	POMPANISASI	16,14
14	SUMUR SUPIT URANG II	503	KOTA MALANG	POMPANISASI	19,89
<b>JUMLAH</b>					<b>1475,49</b>

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

PDAM Kota Malang dapat memproduksi air bersih hingga 1475,49 liter/detik per tanggal 1 Agustus 2016. Sumber tersebut diambil dari 14 sumber di daerah Kota Malang, Kabupaten Malang dan Kota Batu. Sistem pengaliran yang digunakan adalah sistem

pompanisasi maupun gravitasi. Selain itu PDAM Kota Malang juga memiliki 31 reservoir yang dapat menampung debit air hingga total 28.081 m<sup>3</sup>. Dengan kapasitas demikian maka PDAM Kota Malang memiliki cakupan pelayanan sebesar 80% berdasarkan perbandingan antara jumlah jiwa yang terlayani dan penduduk Kota Malang yang berjumlah 843.858 jiwa. Selain itu kapasitas yang dimiliki PDAM Kota Malang tersebut juga harus dapat memenuhi pertambahan jumlah pelanggan yang terus meningkat.

Jumlah pelanggan pada bulan September 2016 mencapai 150.468 pelanggan. Pelanggan tersebut terdiri dari golongan rumah tangga, sosial, instansi pemerintah, niaga dan industri. Jumlah tersebut meningkat dari bulan sebelumnya yang menyentuh angka 146.795 pelanggan. Peningkatan ini diperkirakan terjadi karena pertumbuhan penduduk serta perkembangan Kota Malang itu sendiri. Sejalan dengan hal tersebut Kota Malang tengah mengalami pengembangan fisik kota ke arah utara dan barat. Hal ini dibuktikan dengan semakin berkembangnya jumlah pemukiman atau perumahan dengan fasilitas penunjangnya (Pemerintah Kota Malang, 2014). Pertumbuhan perumahan ini nantinya akan diikuti oleh pertumbuhan fasilitas pelayanan seperti fasilitas peyediaan air bersih. Dengan demikian PDAM Kota perlu melakukan penambahan kapasitas produksi ataupun melakukan optimalisasi jaringan distribusi. Jika hal tersebut tidak dilakukan maka semakin banyak masyarakat Kota Malang yang tidak terlayani oleh aliran PDAM.

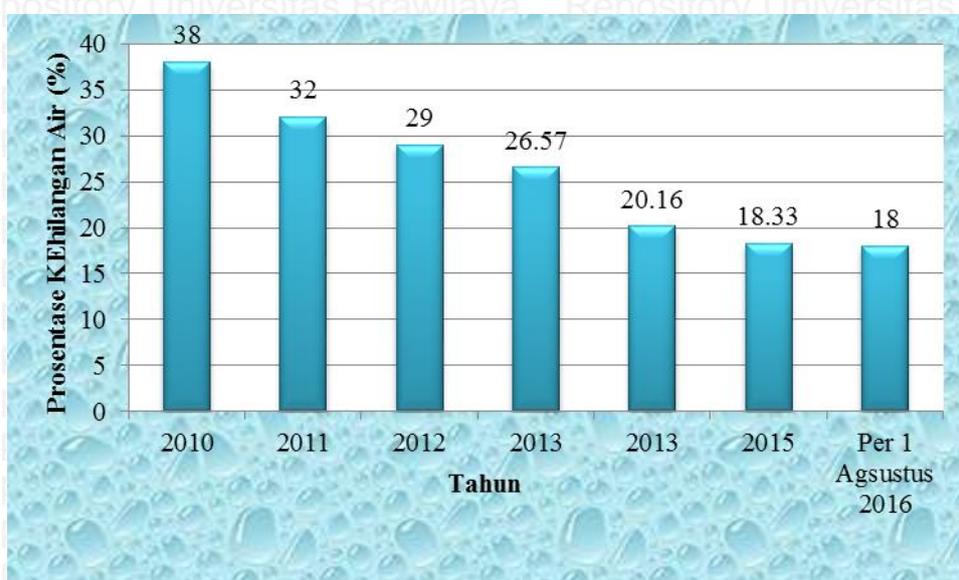


Gambar 1.1 Jumlah pelanggan dari tahun 2009 hingga tahun 2016

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

Salah satu langkah yang dilakukan PDAM Kota Malang dalam hal optimalisasi jaringan distribusi untuk menjaga kecukupan suplai air adalah dengan mengatasi kebocoran pada pendistribusian air. PDAM Kota Malang berupaya penuh untuk mengatasi

kebocoran-kebocoran tersebut lewat program minimalisasi NRW (*Non Revenue Water*) mulai dari tahun 2010. NRW sendiri merupakan air yang keluar dari sistem produksi namun tidak bisa dihitung sebagai pendapatan yang dalam hal ini dapat pula diartikan sebagai kebocoran. Upaya ini diawali dengan pembentukan *Distric Meter Area* (DMA) di berbagai area di Kota Malang. DMA merupakan teknik pengelompokkan yang diikuti dengan pemasangan meteran induk di area strategis wilayah guna memantau kebocoran air. Setelah DMA terbentuk maka pihak PDAM dapat menghitung *water balance* sehingga dapat ditentukan prioritas penanganan kebocoran. Melalui upaya ini pada tahun 2016 kebocoran yang ada jaringan distribusi air minum PDAM Kota Malang turun menjadi hanya 18% sebagai mana tertera pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Jumlah prosentase kehilangan air dari tahun 2010 hingga tahun 2016  
Sumber: <http://www.pdamkotamalang.com/>

Menurut pihak PDAM Kota Malang, angka prosentase kehilangan air sebesar 18% - 20% tersebut merupakan angka optimal dalam upaya penekanan NRW. Oleh sebab itu untuk mengatasi peningkatan jumlah pelanggan maka upaya lain yang dapat dilakukan adalah peningkatan kapasitas produksi air. PDAM Kota Malang perlu membangun infrastruktur tambahan untuk melakukan peningkatan kapasitas tersebut. Hal tersebut dilakukan guna menjaga keseimbangan antara kemampuan *supply* dan *demand* pada jaringan. Terkait dengan hal tersebut PDAM Kota Malang telah melakukan upaya penambahan kapasitas melalui pengelolaan dan pembangunan sumber-sumber baru. Sumber-sumber tersebut terdiri dari Sumber Pitu, Sumber Merjosari, Sumur Genting, Sumur Balearjosari, Sumur *Block Office* dan Sumber Cinde. Sumber tersebut direncanakan beroperasi penuh pada tahun 2018 dan akan menambah kapasitas produksi sebesar 540 liter/detik. Terdapat pula rencana untuk menyerahkan kembali sumber Banyuning ke

PDAM Kota Batu yang bertujuan untuk meningkatkan pelayanan PDAM Kota Batu. Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya sumber air untuk PDAM Kota Malang tidak seluruhnya berada di wilayah Kota Malang. Sebagian berada di wilayah Kota Batu dan Kabupaten Malang dan untuk memperoleh air dari sumber-sumber tersebut PDAM Kota Malang harus membayar sejumlah uang kepada Pemerintah Daerah setempat. Sebagai contoh pengambilan air dari sumber Banyuning yang menelan biaya Rp 200 per liter. Berdasarkan hasil wawancara dengan bagian Penelitian dan Pengembangan penyerahan sumber ini direncanakan akan terjadi antara tahun 2019 atau 2020. Penelitian ini kemudian akan mencari tahu dampak beberapa kebijakan tersebut terhadap ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan pelanggan guna menjaga kontinuitas antara *supply* dan *demand* pada PDAM Kota Malang dalam jangka panjang.

Oleh karena model yang akan dibangun nantinya akan menggambarkan fenomena dalam jangka panjang maka kompleksitas dinamik dapat muncul di dalamnya. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Sterman (2000) bahwa hal yang terlihat tidak berubah, dalam horizon waktu yang lebih panjang akan terlihat bervariasi. Sehingga untuk menggambarkan kompleksitas dinamik antara ketersediaan air, permintaan dan waktu dalam horizon waktu yang panjang maka dipilih pendekatan sistem dinamik untuk membangun model yang diinginkan. Selain itu, Lyneis (2000) juga menyatakan beberapa kelebihan lain dari sistem dinamik, diantaranya adalah lebih informatif dalam menyajikan data peramalan, menggambarkan tingkah laku jangka pendek dan menengah yang lebih akurat, dan lebih mendalam pada pengembangan *robust sensitivities* dan skenario. Sehingga selain dapat melakukan analisis terkait model juga dapat dilakukan perumusan kebijakan yang efektif terkait dengan pembangunan infrastruktur untuk mengatasi peningkatan permintaan air di Kota Malang.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat teridentifikasi bahwa masalah yang terjadi adalah peningkatan jumlah pelanggan dan ancaman bahwa air yang saat ini tersedia nantinya tidak bisa mengimbangi laju peningkatan tersebut. Selain itu terdapat kebijakan penambahan kapasitas pada tahun 2018 serta penyerahan sumber Banyuning yang notabene akan mengurangi kapasitas sumber. PDAM Kota Malang perlu melakukan analisis mengenai sejauh mana kapasitas sumber yang ada mampu memenuhi permintaan jika kebijakan-kebijakan yang telah disebutkan sebelumnya diterapkan.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel apa saja yang relevan dengan dinamika sistem penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang pada penelitian ini?
2. Variabel apa saja yang perlu ditambahkan untuk membuat skenario terkait analisis pengaruh kebijakan penambahan kapasitas dan rencana penyerahan sumber Banyuning terhadap penyediaan air jangka panjang di PDAM Kota Malang?
3. Bagaimana hasil analisis skenario pengaruh kebijakan penambahan kapasitas terpasang dan penyerahan sumber Banyuning terhadap penyediaan air jangka panjang PDAM Kota Malang?

### 1.4 Pembatasan Masalah

Agar hasil penelitian tidak menyimpang dari tujuan penelitian maka batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data historis yang digunakan adalah data pada tahun 2010 hingga tahun 2016
2. Biaya untuk melakukan investasi terkait pembangunan infrastruktur tidak menjadi pertimbangan dalam pembuatan model simulasi.
3. Horizon waktu perencanaan yang dipakai dalam pembuatan model simulasi berjalan dari tahun 2010 hingga tahun 2040.
4. Tidak merumuskan kebijakan baru.

### 1.5 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembangunan infrastruktur berupa sumber air tidak terkendala masalah administratif seperti perizinan tanah dan bangunan.
2. Kapasitas terpasang dari sumber-sumber yang telah ada tidak mengalami perubahan baik akibat kondisi iklim maupun sebab lainnya.

### 1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi variabel yang relevan dengan dinamika sistem penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang pada penelitian ini.



6

2. Mengidentifikasi variabel yang perlu ditambahkan untuk membuat skenario terkait analisis pengaruh kebijakan penambahan kapasitas dan penyerahan sumber Banyuning terhadap penyediaan air jangka panjang di PDAM Kota Malang.
3. Mengetahui hasil analisis skenario pengaruh kebijakan penambahan kapasitas terpasang dan penyerahan sumber Banyuning terhadap penyediaan air jangka panjang PDAM Kota Malang.

### **1.7 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah pihak PDAM Kota Malang mengetahui pengaruh kebijakan penambahan kapasitas terpasang dan rencana penyerahan sumber Banyuning terhadap ketersediaan air PDAM Kota Malang dalam jangka panjang guna membuat kebijakan terkait mengatasi permasalahan potensi peningkatan jumlah pelanggan dan ancaman bahwa air yang saat ini tersedia nantinya tidak bisa mengimbangi laju peningkatan tersebut.



## 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)
<b>Topik Penelitian</b>	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
<b>Objek Penelitian</b>	PDAM Kota Bandung	PDAM Kota Surabaya	Penyedia air di Korea Selatan	PDAM Kota Malang
<b>Metode</b>	Simulasi Sistem Dinamik	Simulasi Sistem Dinamik	Simulasi Sistem Dinamik	Simulasi Sistem Dinamik
<b>Hasil Penelitian</b>	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 <sup>3</sup>

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 (Sternan, 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)

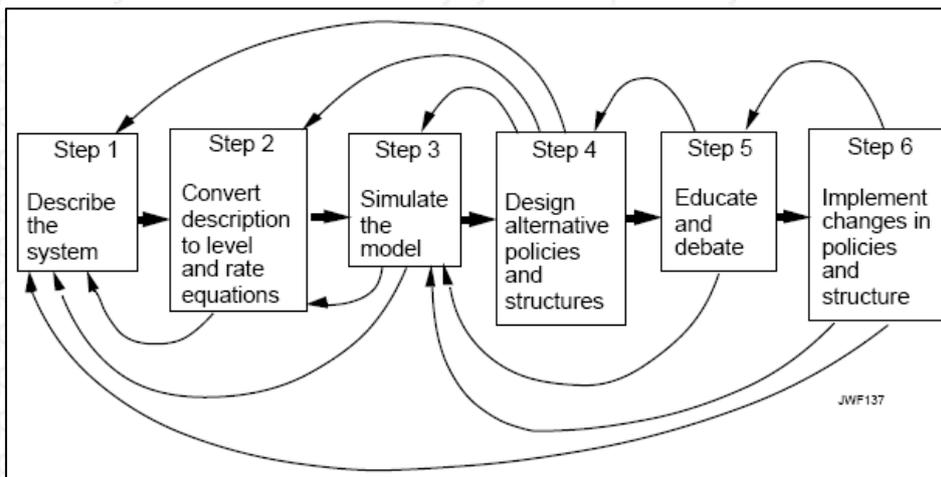
Sistem dinamis memiliki dua jenis variabel dasar, yaitu *level* dan *rate*. *Level*, merupakan akumulasi elemen sepanjang waktu, misalnya jumlah inventori di gudang. Sedangkan *rate* merupakan variabel yang mempengaruhi perubahan nilai dari level.

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 mengkoordinasi. 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

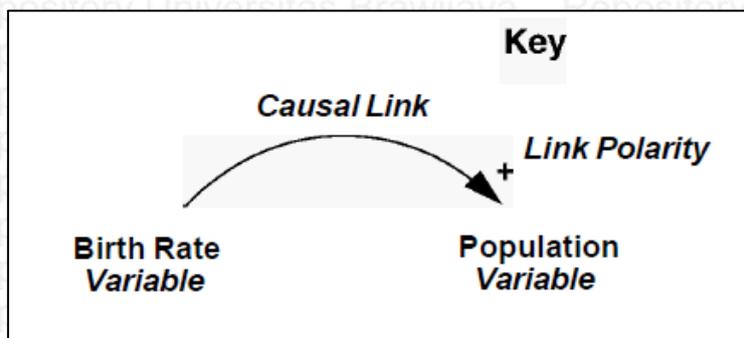
suatu *loop* merupakan positif (*reinforcing*) atau negatif (*balancing*) *feedback* (Sterman, 2000).

### 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*

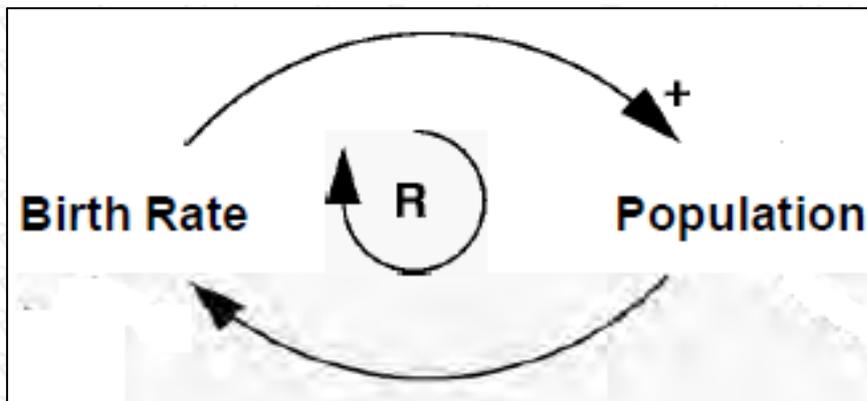
Simbol	Interpretasi	Contoh
$X \xrightarrow{+} Y$	Apabila X meningkat (menurun), maka Y akan meningkat (menurun) di atas (di bawah) nilai yang ada.	<p>The example shows 'Births' on the left and 'Population' on the right. A curved arrow points from Births to Population, with a plus sign '+' above the arrowhead.</p>
$X \xrightarrow{-} Y$	Apabila X meningkat (menurun), maka Y akan menurun (meningkat) di bawah (di atas) nilai yang ada.	<p>The example shows 'Deaths' on the left and 'Population' on the right. A curved arrow points from Deaths to Population, with a minus sign '-' above the arrowhead.</p>

### 2.5.1.2 Loop Identifier

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

#### 1. *Reinforcing Feedback Loop*

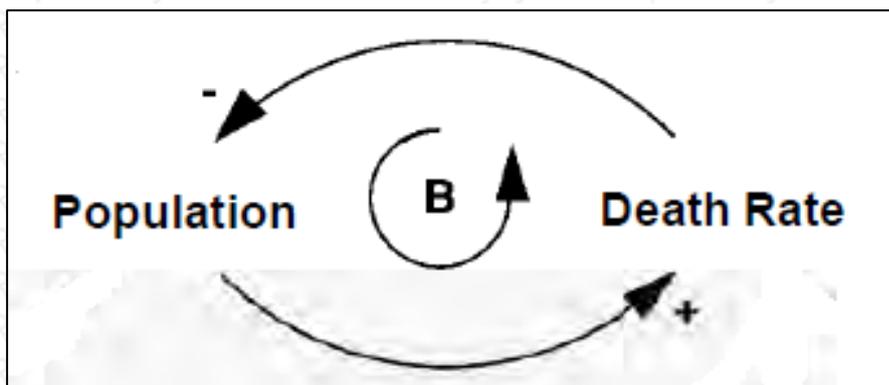
Merupakan *feedback* positif. Contoh yang dapat menjelaskan pernyataan tersebut adalah tentang populasi, dihubungkan dengan tingkat kelahiran per tahun. Ketika populasi bertambah, maka tingkat kelahiran akan bertambah tiap tahunnya, sehingga populasi di masa mendatang juga akan bertambah.



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.

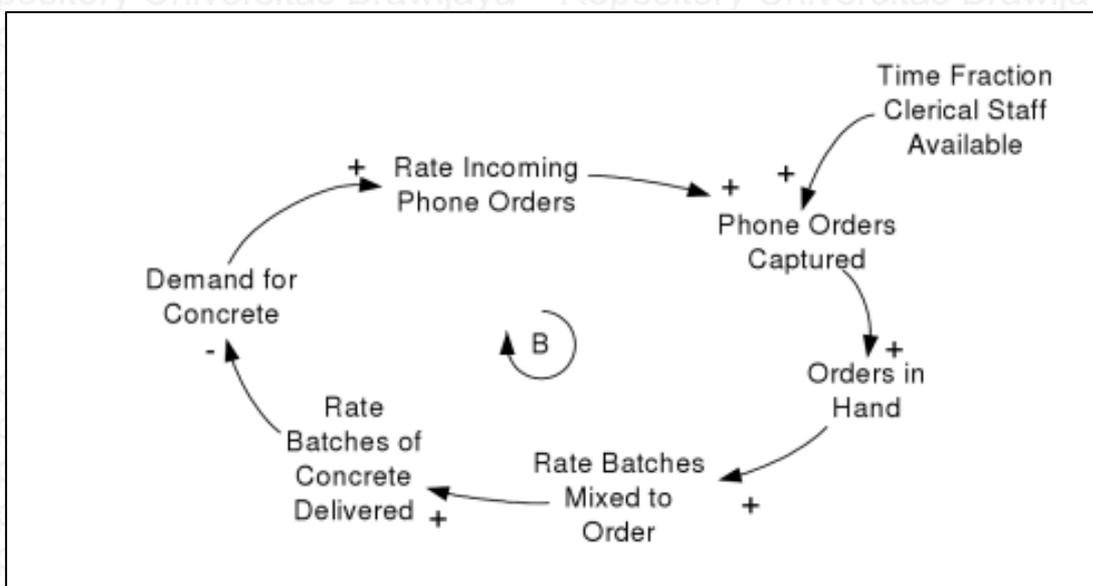
#### 3. *Behavior Over Time Charts*

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*

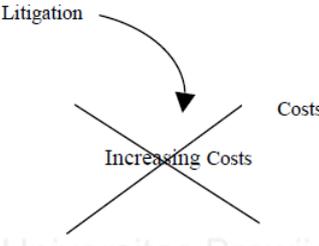
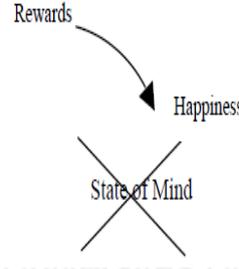
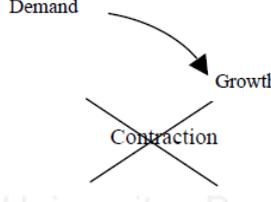
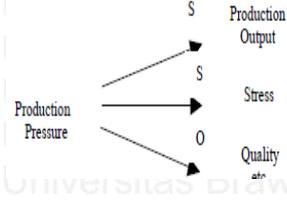
Menentukan batasan masalah digunakan untuk lebih fokus pada masalah utama yang ingin diselesaikan.

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	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.	
Pemilihan nama variabel	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.	
Pembuatan Loop	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".	
Pembuatan Loop	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".	
Pembuatan Loop	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.	

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><b>Tips Umum</b></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*.

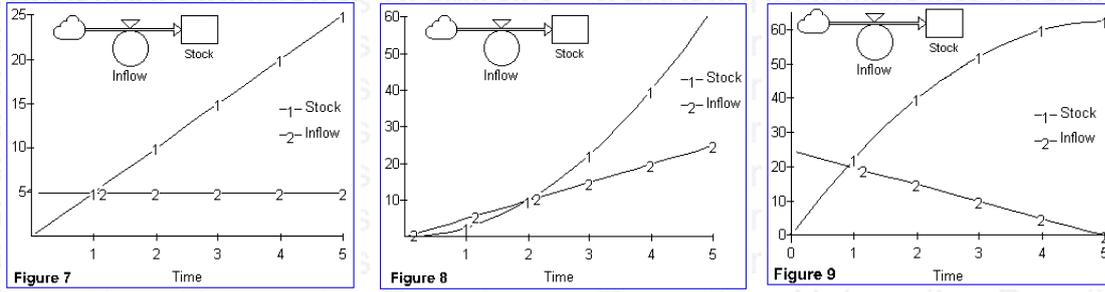
Gambar 2.6 merupakan contoh *stock and flow diagram*.

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.

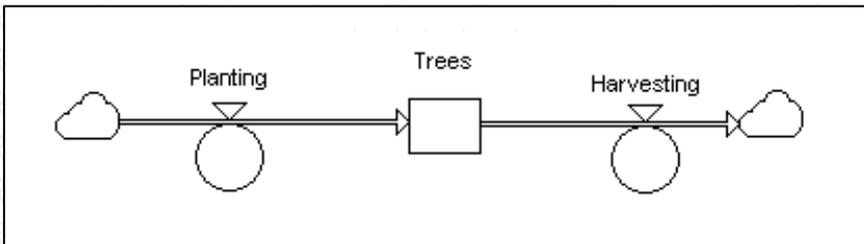


Gambar 2.8 Grafik *flow* konstan (kiri), *flow* meningkat (tengah), *flow* menurun (kanan)

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.



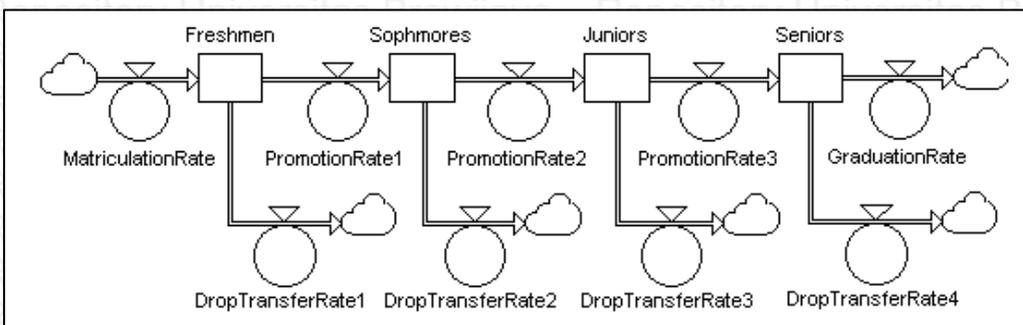
Gambar 2.9 Contoh *flow* yang diinterupsi oleh *stock*

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)



## **BAB III METODE PENELITIAN**

Metode penelitian adalah tahap yang harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penyelesaian masalah yang sedang dibahas. Pada Bab ini dijelaskan mengenai tahap-tahap yang dilakukan pada penelitian ini.

### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimen. Menurut Cooper dan Emory (1995), penelitian eksperimen merupakan bentuk khusus investigasi yang digunakan untuk menentukan variabel-variabel apa saja dan bagaimana bentuk hubungan antara satu dengan yang lainnya.

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di PDAM Kota Malang yang berada di Jl. Terusan Danau Sentani No.100, Madyopuro, Kedungkandang, Kota Malang, Jawa Timur. Adapun waktu pengambilan data adalah Oktober 2016 – Mei 2017.

### **3.3 Tahap Penelitian**

Tahap-tahap yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pendahuluan, penyajian data, pengolahan data dan pembuatan model, serta analisis dan kesimpulan.

#### **3.3.1 Tahap Pendahuluan**

Pengumpulan data pada tahap pendahuluan dilakukan agar peneliti memperoleh informasi-informasi yang dibutuhkan dalam rangka memenuhi kebutuhan dan pengerjaan penelitian. Mengenai tahap pendahuluan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

##### **1. Studi Lapangan**

Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh data yang sebenarnya ada di lapangan mengenai permasalahan yang ada. Studi lapangan untuk mengetahui kondisi PDAM Kota Malang saat ini.

## 2. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan suatu metode yang digunakan dalam mendapatkan data dengan mempelajari pustaka serta membaca sumber-sumber data informasi yang berhubungan sehingga dapat memahami permasalahan utama dalam penelitian secara teoritis.

## 3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal dalam mengetahui dan memahami persoalan yang ada pada sistem yang diamati agar dapat memberikan solusi. Masalah yang ada pada PDAM Kota Malang terdapat pada Bab Pendahuluan.

## 4. Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah yang terdapat pada Bab Pendahuluan.

## 5. Penentuan Tujuan Penelitian

Dalam melakukan penulisan skripsi perlu ditetapkan tujuan penelitian agar penulisan skripsi dapat dilakukan dengan sistematis dan tidak menyimpang dari permasalahan yang diangkat. Tujuan dari penelitian ini terdapat pada Bab Pendahuluan.

## 6. Observasi Objek

Dalam tahap ini akan dilakukan pengamatan terhadap objek, yaitu sistem produksi dan distribusi air minum di PDAM Kota Malang untuk mendapatkan data yang akan dijelaskan pada tahap pengumpulan data.

### 3.3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah pencatatan informasi yang digunakan untuk mendukung keberlangsungan penelitian. Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder.

#### 1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui pengamatan secara langsung oleh peneliti. Data primer yang dipakai dalam penelitian ini adalah data hasil wawancara dengan pihak divisi NRW dan divisi Penelitian dan Pengembangan pada PDAM kota Malang.

#### 2. Data Sekunder

Data sekunder terdiri dari data historis yang dapat diperoleh melalui pihak PDAM Kota Malang, dan juga data yang dapat diperoleh melalui pihak di luar PDAM. Data sekunder yang dibutuhkan adalah kapasitas produksi sumber, kapasitas terpakai, kehilangan air, jumlah pelanggan dan data mengenai pendapatan yang diperoleh PDAM Kota Malang.

### 3.3.3 Tahap Pembuatan Model Konseptual

Dalam tahap ini, akan dilakukan pengembangan suatu model konseptual. Langkah-langkah pembuatan model konseptual adalah sebagai berikut.

#### 1. Konseptualisasi Sistem

Model konseptual yang dibuat adalah *causal loop diagram* sebagai upaya untuk menjelaskan hubungan kausal antara variabel-variabel yang memiliki pengaruh dalam sistem. *Causal loop diagram* diidentifikasi lebih lanjut dalam *stock and flow diagram*.

#### 2. Validasi Model Konseptual

Pada tahap ini akan dilakukan validasi model konseptual dengan cara membandingkan model konseptual dengan sistem nyata. Apabila belum sesuai maka akan diperlukan pengulangan tahap konseptualisasi sistem, apabila model konseptual telah dinyatakan valid, maka model konseptual dapat digunakan untuk membuat model simulasi menggunakan *Powersim 10.0*.

### 3.3.4 Tahap Pembuatan Model Simulasi

Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan model simulasi.

#### 1. Pembuatan Model Simulasi di *Powersim 10.0*

Model simulasi yang akan dijalankan menggunakan *Powersim 10.0* akan dibuat berdasarkan model konseptual yang telah tervalidasi. Selain itu, akan dilakukan formulasi model yakni memasukkan persamaan matematis ke dalam *stock and flow diagram*. Selain itu, dimasukkan satuan (unit) dari setiap variabel dalam model.

#### 2. *Dry Run*

Model simulasi yang telah dibuat, dijalankan sebelum diketahui apakah model tersebut terverifikasi.

#### 3. Verifikasi

Verifikasi dilakukan dalam dua cara, yakni membandingkan model simulasi dengan mengamati animasi model dan *debugging*.

#### 4. Menjalankan simulasi

Pada tahap ini, model simulasi kembali dijalankan setelah model dinyatakan terverifikasi.

#### 5. Validasi

Validasi dilakukan dengan cara membandingkan *output* simulasi dengan *output* nyata. Apabila model tidak tervalidasi, maka perlu dilakukan pengulangan mulai tahap pembuatan model konseptual, apabila model dinyatakan valid, maka dapat dilakukan

tahap selanjutnya yaitu penyusunan skenario yang terdapat pada tahap analisis dan kesimpulan.

### 3.3.5 Tahap Analisis dan Kesimpulan

Tahap analisis data dan kesimpulan dilakukan dengan menganalisis hasil pengolahan data pada tahap pembuatan model simulasi. Adapun langkahnya sebagai berikut.

1. Menyusun skenario

Skenario yang akan disusun adalah skenario optimis, pesimis dan *most-likely*.

2. Analisis dan Pembahasan

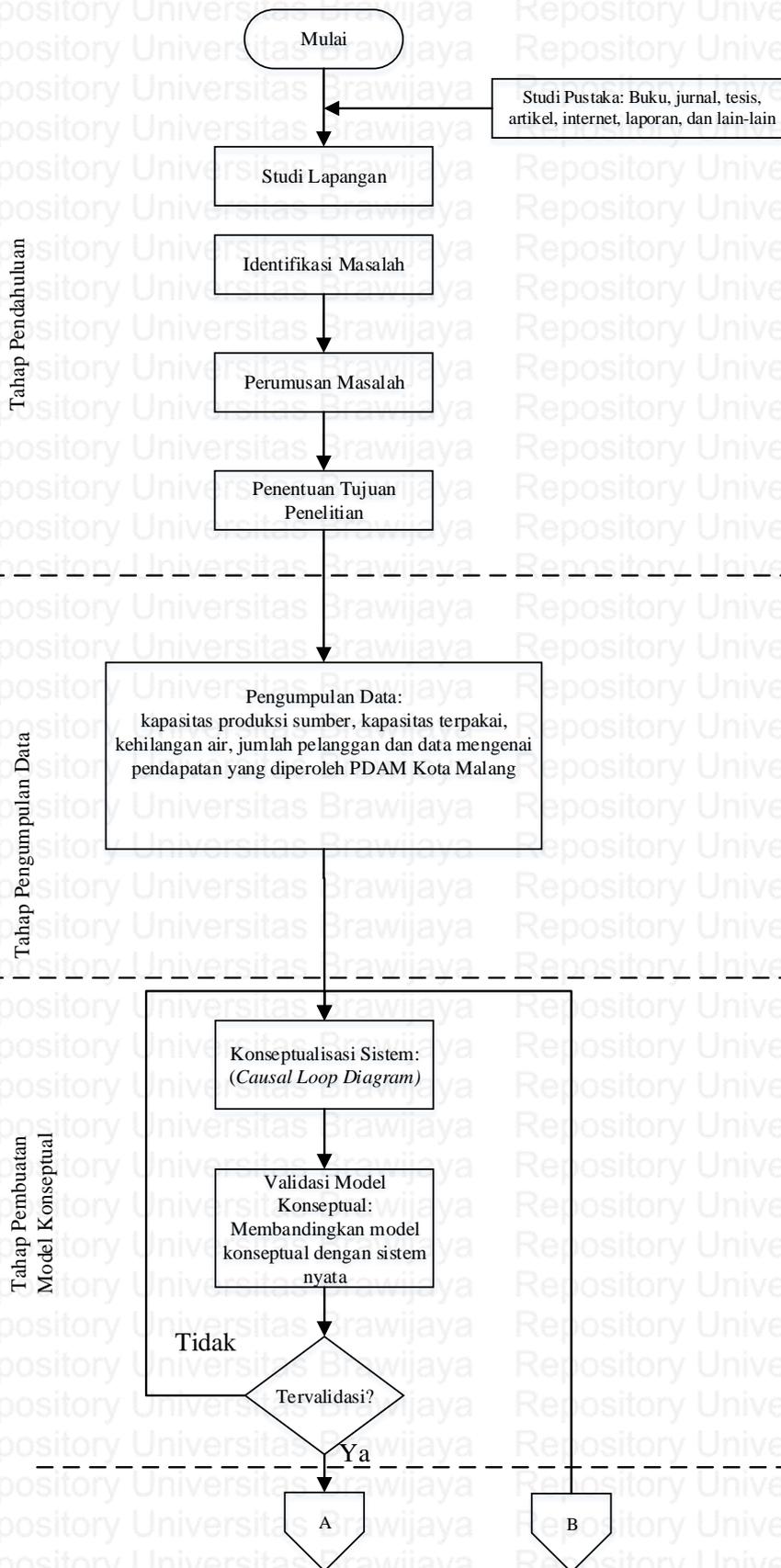
Analisis dan pembahasan dilakukan pada setiap tahapan pendekatan simulasi sistem dinamik mulai dari identifikasi sistem hingga analisis kebijakan.

3. Penarikan Kesimpulan dan Saran

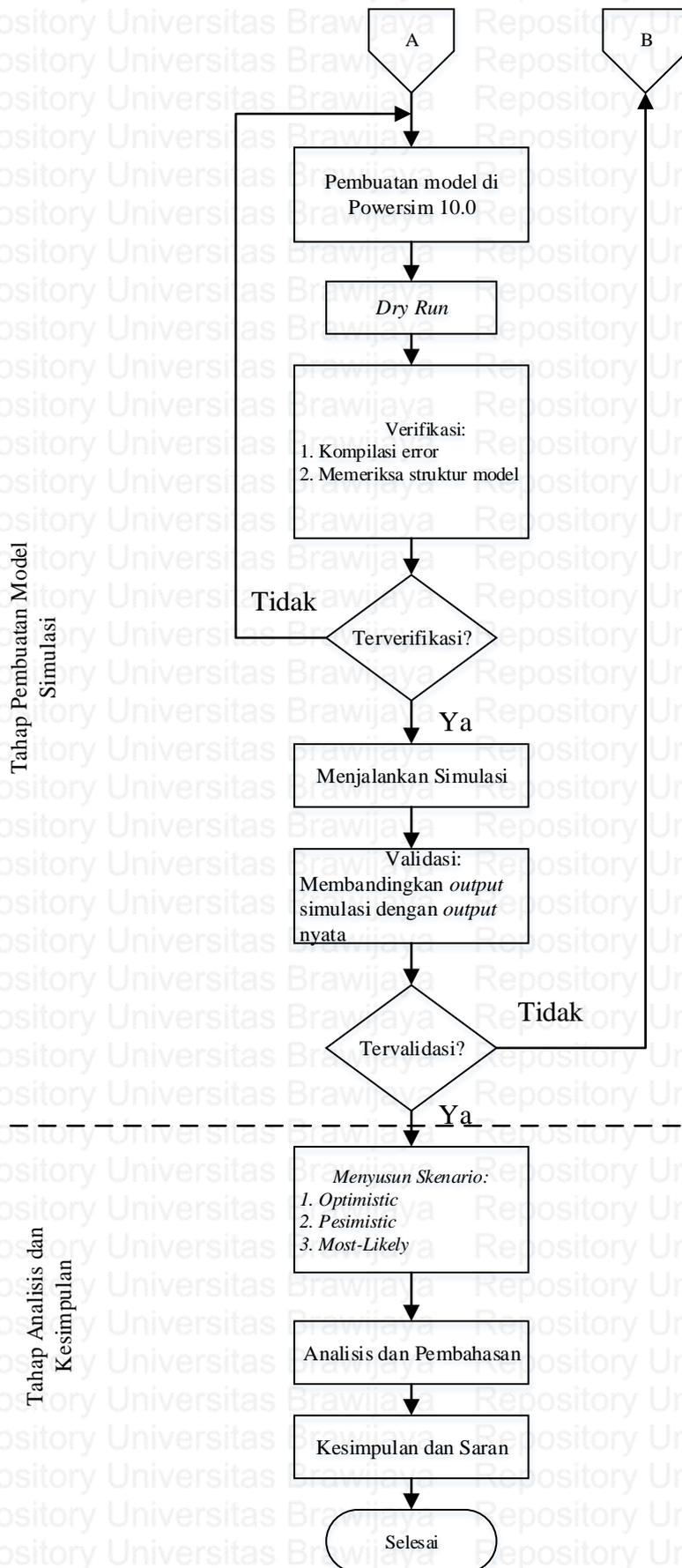
Kesimpulan dan saran merupakan langkah akhir dari proses penelitian. Kesimpulan dapat digunakan sebagai dasar yang menjawab tujuan dari penelitian. Sedangkan saran merupakan masukan untuk objek yang diteliti guna peningkatan kualitas ataupun untuk penelitian selanjutnya.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan tahapan penelitian yang telah dijelaskan di atas, diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)



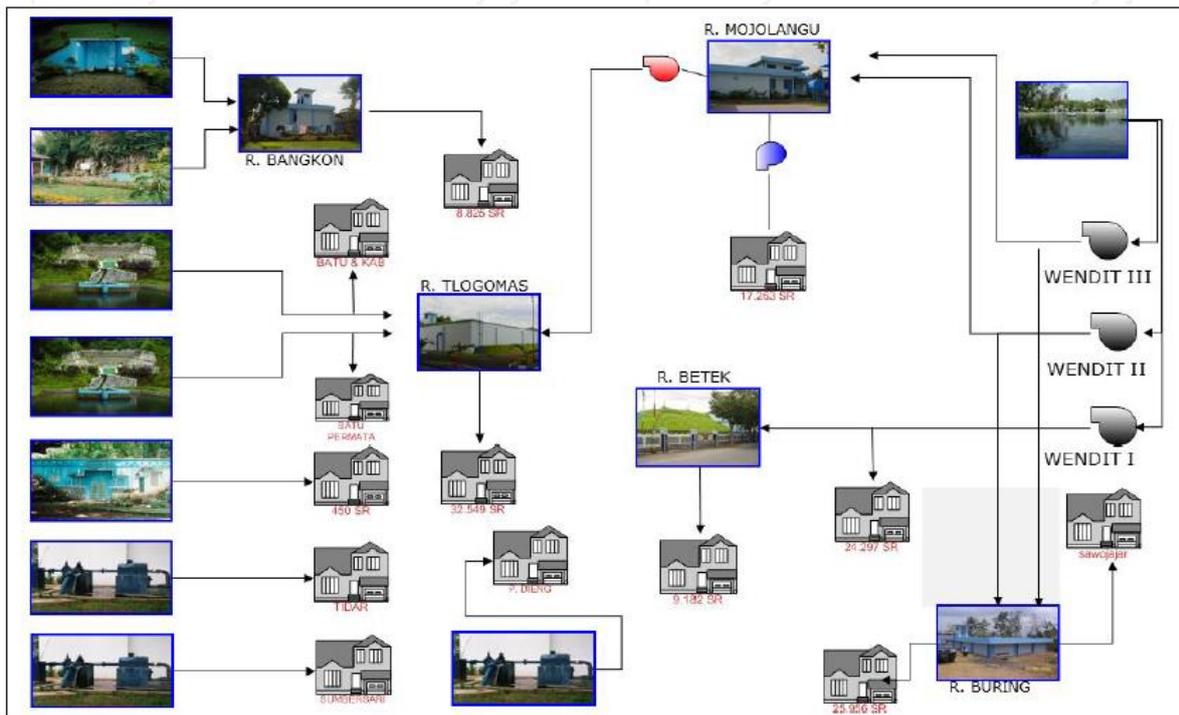
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat penjelasan perihal perancangan sistem yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir. Perancangan tersebut meliputi perancangan model sistem dinamik serta implementasi dari model sistem dinamik ke dalam aplikasi Powersim 10.0 guna menjawab permasalahan dalam rumusan masalah dan tujuan penelitian.

### 4.1 Gambaran Umum PDAM Kota Malang

Perusahaan Daerah Air Minum Kota Malang merupakan lembaga pemerintah penyedia air bersih di Kota Malang sesuai dengan Peraturan Daerah Nomor: 11 Tahun 1974. Beberapa jenis pelayanan yang terdapat di PDAM Kota Malang tertuang dalam Pasal 1 Peraturan Direksi PDAM Kota Malang Nomer U/06 Tahun 2010, yakni melayani kebutuhan air minum kepada pelanggan, melayani pemasangan sambungan baru, pembayaran rekening, pemeriksaan kualitas air, penyediaan air tangki, uji akurasi meter air, tutup tetap atas permintaan sendiri, ganti stop kran/*ball valve*, pindah meter, buka kembali, ganti nama dan pengaduan pelanggan.

Pada tahun 2005 PDAM memperoleh surat ijin pengambilan air atau SIPA yang memperbolehkan PDAM mengambil air sebanyak 1660 liter/detik dari total 14 sumber. PDAM kemudian membangun instalasi produksi untuk mengeksploitasi sumber-sumber tersebut, yang tersebut, yang terakhir adalah Wendit III dengan kapasitas 480 liter/detik. Realisasi produksi tahun 2005 sekitar 40,1 juta m<sup>3</sup>, atau sama dengan kapasitas produksi 1.272,12 liter/detik. Wendit I, Wendit II dan Wendit III tetap merupakan tulang punggung produksi PDAM dengan kontribusi 62% dari total produksi 2005. Wendit III selesai dibangun dan mulai dioperasikan pada permulaan kuartal IV tahun 2005, sehingga kontribusinya terhadap produksi air PDAM hanya ekuivalen dengan 136,9 liter/detik. Pada saat ini instalasi tersebut sudah menghasilkan maksimum 358 liter/detik karena 5 buah pompa dari 6 buah yang dibutuhkan sudah terpasang. PDAM Kota Malang memakai 2 sistem pengaliran air dari sumber air baku (lokasi produksi) ke tandon pelayanan (transmisi) dan distribusi air minum ke pelanggan (distribusi), yaitu sistem gravitasi dan sistem perpompaan.



Gambar 4.1 Diagram skematik transmisi dan distribusi PDAM Kota Malang

Sebagai salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pelayanan publik, PDAM Kota Malang berkewajiban untuk memberikan pelayanan yang baik kepada pelanggan dan masyarakat. Di samping itu PDAM Kota Malang selalu berupaya untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan memberikan kontribusi untuk Pendapatan Asli Daerah (PAD) kepada Pemerintah Kota Malang. Di sisi lain, masyarakat Kota Malang berharap agar pasokan air minum yang dilakukan oleh PDAM Kota Malang dapat berlangsung secara terus-menerus selama 24 jam untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, mendapatkan kemudahan dalam hal pembayaran rekening air, dan memperoleh informasi yang memadai tentang PDAM Kota Malang.

PDAM Kota Malang mempunyai posisi yang unik baik di Malang maupun di antara PDAM lain di Indonesia. Keunikan tersebut terletak pada:

1. Air yang diproduksi oleh PDAM Kota Malang sudah siap minum.
2. Sudah mulai tertatanya kualifikasi SDM yang mempunyai Kompetensi.

Dalam pengelolaan suatu organisasi diperlukan dasar hukum untuk menaunginya. Adapun dasar hukum pembentukan pengelola SPAM PDAM adalah sebagai berikut:

1. PDAM Kota Malang sudah ada sejak Pemerintahan Kolonial Belanda Tahun 1914, dengan nama WATER LEIDING VERORDENING KOTA BESAR MALANG.
2. Saat Indonesia merdeka tahun 1945-1974 berubah nama menjadi Dinas Saluran Air Minum.

3. Administrasi dan Keuangan ditangani oleh Dinas Pendapatan Daerah Teknis ditangani Dinas Pekerjaan Umum Daerah.
4. Dengan terbitnya Perda No. 11 Tahun 1974 tanggal 18 Desember 1974, berganti nama menjadi PDAM Kota Malang hingga sekarang.

#### 4.1.1 Unit Transmisi

Perencanaan teknis pada unit transmisi bertujuan untuk mengoptimalkan jarak antara unit air baku menuju unit produksi dan/atau dari unit produksi menuju reservoir atau jaringan distribusi agar jarak yang ditempuh dapat sependek mungkin, terutama untuk sistem transmisi distribusi. Hal tersebut dikarenakan transmisi distribusi mempengaruhi debit aliran untuk kebutuhan jam puncak, sedangkan pipa transmisi air baku mempengaruhi kebutuhan maksimum harian. Pipa transmisi sedapat mungkin harus diletakkan sedemikian rupa di bawah level garis hidrolis untuk menjamin aliran sesuai harapan.

Sistem transmisi menerapkan metode-metode yang mampu mengendalikan pukulan air (*water hammer*) yaitu bilamana sistem aliran tertutup dalam suatu pipa transmisi mengalami perubahan kecepatan aliran air secara tiba-tiba yang menyebabkan pecahnya pipa transmisi atau berubahnya posisi pipa transmisi dari posisi semula. Perlengkapan penting dan pokok dalam sistem transmisi air baku adalah sebagai berikut:

1. Katup pelepas udara, yang berfungsi melepaskan udara yang terakumulasi dalam pipa transmisi, yang dipasang pada titik-titik tertentu pada tempat akumulasi udara dalam pipa akan terjadi.
2. Katup pelepas tekanan yang berfungsi melepas atau mereduksi tekanan berlebih yang mungkin terjadi pada pipa transmisi.
3. Katup penguras (*wash-out valve*), berfungsi untuk menguras akumulasi lumpur atau pasir dalam pipa transmisi yang umumnya dipasang pada titik-titik terendah dalam setiap pipa transmisi.
4. Katup ventilasi udara (*air valve*) perlu disediakan pada titik-titik tertentu guna menghindari terjadinya kerusakan pada pipa ketika berlangsung tekanan negatif atau kondisi vakum udara.

#### 4.1.2 Unit Produksi

Kebutuhan pada unit produksi direncanakan berdasarkan kebutuhan hari puncak. Penyusunan perencanaan teknis unit produksi didasarkan pada kajian kualitas air yang akan diolah. Rangkaian proses pengolahan air umumnya meliputi satuan operasi dan

satuan proses guna memisahkan material kasar, material tersuspensi, material terlarut, proses netralisasi dan proses desinfeksi. Unit produksi terdiri dari unit koagulasi, unit flokulasi, unit sedimentasi, unit filtrasi dan unit netralisasi serta unit desinfeksi. Perencanaan pada unit produksi mengikuti standar SNI 03-3981-1995 tentang tata cara perencanaan instalasi saringan pasir lambat, SNI 19-6773-2002 tentang spesifikasi unit paket instalasi penjernihan air sistem konvensional dengan struktur baja serta SNI 19-6774-2002 tentang tata cara perencanaan unit paket instalasi penjernihan air.

#### 4.1.3 Unit Distribusi

Air yang dihasilkan dari unit produksi ditampung dalam reservoir air yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan antara produksi dengan kebutuhan, sebagai penyimpan kebutuhan air dalam kondisi darurat, dan sebagai penyedia kebutuhan air untuk keperluan instalasi. Reservoir air dibangun baik dengan konstruksi baja maupun konstruksi beton bertulang. Jaringan perpipaan yang terkoneksi satu dengan lainnya membentuk jaringan tertutup (*close loop*), sistem jaringan distribusi bercabang (*dead-end distribution system*), atau kombinasi dari kedua sistem tersebut (*grade system*). Bentuk jaringan pipa distribusi ditentukan oleh kondisi topografi, lokasi reservoir, luas wilayah pelayanan, jumlah pelanggan dan jaringan jalan pada ririk pipa akan dipasang.

Zona distribusi suatu sistem penyediaan air minum adalah suatu area pelayanan dalam wilayah pelayanan air minum yang dibatasi oleh pipa jaringan distribusi utama (distribusi primer). Pembentukan zona distribusi didasarkan pada batas alam (sungai, lembah atau perbukitan) atau perbedaan tinggi lebih besar dari 40 meter antara zona administrasi atau zona pelayanan dengan konsentrasi masyarakat lebih besar. Pembentukan zona distribusi dimaksudkan untuk memastikan dan menjaga tekanan minimum yang relatif sama pada setiap zona. Setiap zona distribusi dalam sebuah wilayah pelayanan yang terdiri dari beberapa sel utama dilengkapi dengan sebuah meter induk.

#### 4.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam melakukan pemodelan sistem terdiri dari data yang diperoleh dari PDAM Kota Malang. Berikut ini merupakan rincian dari data-data yang digunakan dalam pembuatan model dasar hingga perancangan skenario.

##### 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).

Tabel 4.1  
Kapasitas Produksi Terpasang PDAM Kota Malang

Periode (kuarter)	Kapasitas Produksi Terpasang (liter/detik)	Periode (kuarter)	Kapasitas Produksi Terpasang (liter/detik)
qt1	1660	qt15	1660
qt2	1660	qt16	1660
qt3	1660	qt17	1660
qt4	1660	qt18	1660
qt5	1660	qt19	1660
qt6	1660	qt20	1660
qt7	1660	qt21	1660
qt8	1660	qt22	1660
qt9	1660	qt23	1660
qt10	1660	qt24	1660
qt11	1660	qt25	1660
qt12	1660	qt26	1660
qt13	1660	qt27	1660
qt14	1660	qt28	1660

## 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 minumnya (BPPSPAM, 2015).

Tabel 4.2  
Jumlah Pelanggan PDAM Kota Malang

Periode (kuarter)	Jumlah Pelanggan (SR)	Periode (kuarter)	Jumlah Pelanggan (SR)
qt1	92.974	qt15	118.971
qt2	94.361	qt16	121.508
qt3	95.651	qt17	125.067
qt4	96.453	qt18	128.135
qt5	98.529	qt19	130.724
qt6	99.758	qt20	134.163
qt7	101.115	qt21	138.955
qt8	102.893	qt22	139.744
qt9	105.965	qt23	142.779
qt10	108.335	qt24	146.589
qt11	109.890	qt25	149.419
qt12	112.301	qt26	153.520
qt13	114.859	qt27	156.150
qt14	117.005	qt28	157.637

### 3. Kapasitas Produksi Terpakai

Kapasitas produksi terpakai merupakan jumlah kapasitas produksi yang dipakai untuk memenuhi kebutuhan air pelanggan PDAM Kota Malang. Kapasitas produksi terpakai tergantung pada jumlah penduduk dan sistem jaringan distribusi yang dilayani. Dalam sistem satuan besarnya kapasitas produksi terpakai dinyatakan dalam satuan liter per detik (liter/detik). Angka kapasitas produksi terpakai didapatkan dari jumlah air yang didistribusikan sesuai dengan pembacaan pada meter induk

Tabel 4.3  
Kapasitas Produksi Terpakai PDAM Kota Malang

Periode (kuarter)	Kapasitas Produksi Terpakai (liter/detik)	Periode (kuarter)	Kapasitas Produksi terpakai (liter/detik)
qt1	1.306	qt15	1.243
qt2	1.274	qt16	1.278
qt3	1.293	qt17	1.288
qt4	1.343	qt18	1.326
qt5	1.270	qt19	1.324
qt6	1.287	qt20	1.317
qt7	1.302	qt21	1.354
qt8	1.270	qt22	1.371
qt9	1.267	qt23	1.414
qt10	1.310	qt24	1.433
qt11	1.338	qt25	1.399
qt12	1.366	qt26	1.430
qt13	1.249	qt27	1.446
qt14	1.258	qt28	1.461

### 4. Kebutuhan Air

Kebutuhan air adalah banyaknya jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan rumah tangga, industri, pemakaian kota lain-lain. Prioritas kebutuhan air meliputi air domestik, industri, pelayanan umum dan kebutuhan air untuk mengganti kebocoran. Kebutuhan air merupakan jumlah air yang diperlukan secara wajar untuk keperluan pokok manusia (domestik) dan kegiatan-kegiatan lainnya yang memerlukan air.

Tabel 4.4  
Kebutuhan Air di PDAM Kota Malang

Periode (kuarter)	Kebutuhan Air (liter/detik)	Periode (kuarter)	Kebutuhan Air (liter/detik)
qt1	809,69	qt15	833,61
qt2	802,91	qt16	868,20
qt3	827,31	qt17	891,30
qt4	873,14	qt18	930,70
qt5	838,36	qt19	942,60
qt6	871,84	qt20	950,65
qt7	904,62	qt21	991,29
qt8	904,81	qt22	999,79
qt9	924,71	qt23	1.026,34
qt10	956,27	qt24	1.035,93
qt11	977,32	qt25	1.001,41
qt12	997,86	qt26	1.023,40
qt13	816,43	qt27	1.035,21
qt14	833,30	qt28	1.045,46

## 5. 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.

Tabel 4.5  
Kehilangan Air di PDAM Kota Malang

Periode (kuarter)	Tingkat Kehilangan Air	Periode (kuarter)	Tingkat Kehilangan Air
qt1	39,00	qt15	26,99
qt2	39,00	qt16	26,92
qt3	38,00	qt17	24,87
qt4	38,00	qt18	24,42
qt5	37,00	qt19	23,00
qt6	36,00	qt20	23,13
qt7	35,00	qt21	22,45
qt8	34,00	qt22	21,00
qt9	32,00	qt23	20,03
qt10	30,00	qt24	18,66
qt11	28,00	qt25	19,00
qt12	27,00	qt26	20,00
qt13	27,00	qt27	20,00
qt14	27,00	qt28	20,00

## 6. Pendapatan Air

Pendapatan Air merupakan pendapatan yang diperoleh berdasarkan hasil dari penjualan air oleh PDAM Kota Malang. Pendapatan ini didapat dengan cara mengalikan volume air yang terjual dengan rata-rata harga air. Berikut pada tabel 4.6 merupakan pendapatan air yang diterima oleh PDAM Kota Malang per periodenya.

Tabel 4.6  
Pendapatan Air di PDAM Kota Malang

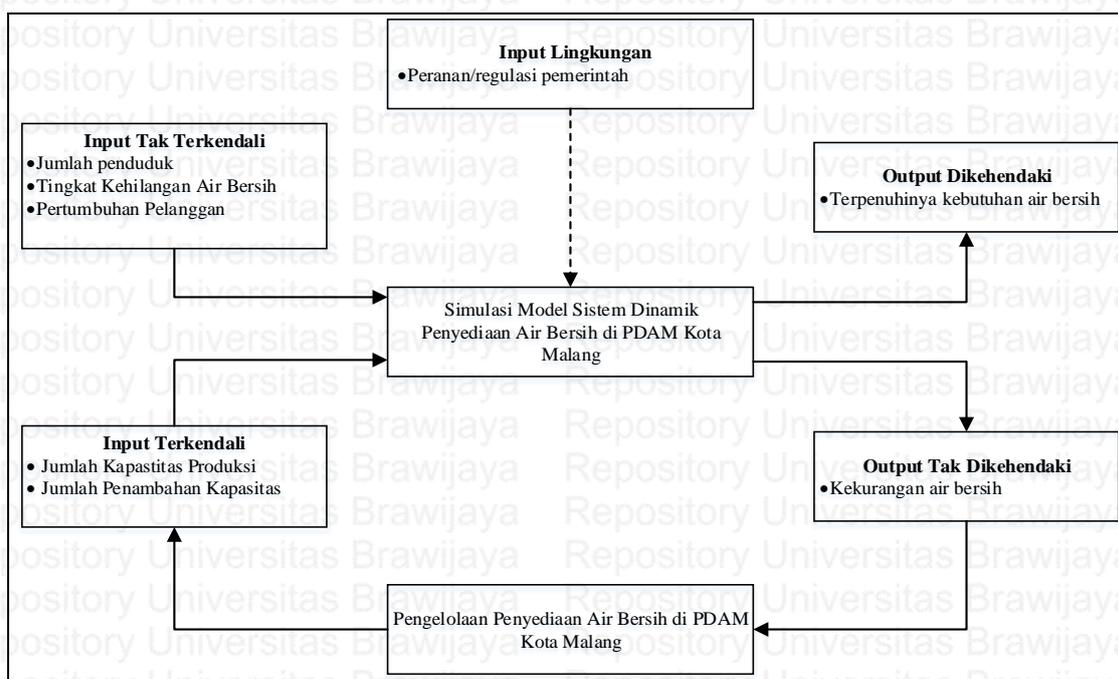
Periode (kuarter)	Pendapatan Air (juta)	Periode (kuarter)	Pendapatan Air (juta)
qt1	25.584	qt15	39.030
qt2	25.370	qt16	40.649
qt3	26.141	qt17	39.308
qt4	27.589	qt18	41.046
qt5	26.210	qt19	41.570
qt6	27.256	qt20	41.925
qt7	28.281	qt21	43.727
qt8	28.287	qt22	44.102
qt9	35.958	qt23	45.273
qt10	37.185	qt24	45.696
qt11	38.004	qt25	44.744
qt12	38.802	qt26	45.726
qt13	38.225	qt27	46.254
qt14	39.015	qt28	46.712

### 4.3 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem dapat didefinisikan sebagai suatu rangkaian hubungan antara pernyataan dari suatu atau beberapa kebutuhan dengan pernyataan masalah yang harus dipecahkan dalam rangka memenuhi kebutuhan tersebut (Eriyanto, 2003). Identifikasi model suatu sistem memuat informasi yang menggambarkan perilaku terdahulu dari sistem yang sedang berjalan (*past behaviour of the existing system*). Identifikasi sistem juga bertujuan untuk memberikan gambaran tentang hubungan antara faktor-faktor yang saling mempengaruhi dalam kaitannya dengan pembentukan suatu sistem.

Diagram input output bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan terkait analisis faktor-faktor input dan output yang ada di dalam sistem penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang. Konsep diagram ini dikenal pula dengan nama diagram kotak gelap yang diambil dari istilah dalam dunia penerbangan yaitu *blackbox* (Bodamer, 2009). Sesuai dengan namanya diagram ini digunakan untuk merekam segala aktivitas yang terjadi di ruang kendali seperti halnya dengan faktor input. Faktor-faktor simulasi model sistem dinamik penyediaan air bersih ini nantinya akan dipengaruhi input dan output yang ada di dalam sistem.

Diagram Input Output digolongkan atas tiga kategori informasi yaitu kategori faktor input, faktor output dan parameter-parameter yang membatasi struktur sistem. Kemudian faktor input dibagi menjadi tiga jenis yaitu input terkendali, input tak terkendali dan input lingkungan. Sedangkan faktor output dibagi pula ke dalam output dikehendaki dan output tak dikehendaki.



Gambar 4.2 Diagram input output sistem dinamik penyediaan air bersih PDAM Kota Malang

Input lingkungan merupakan faktor dari lingkungan yang mempengaruhi sistem penyediaan air bersih PDAM Kota Malang. Input lingkungan pada sistem penyediaan air bersih PDAM Kota Malang dipengaruhi oleh regulasi pemerintah contohnya adalah besarnya dana yang diberikan pemerintah untuk pembangunan infrastruktur yang kemudian akan mempengaruhi penyediaan air di PDAM Kota Malang. Input tidak terkendali adalah ragam variabel yang tidak bisa dikendalikan nilainya yaitu pertumbuhan jumlah penduduk dan tingkat kehilangan air bersih serta pertumbuhan pelanggan. Input terkendali adalah ragam variabel yang dapat dikendalikan nilainya yaitu jumlah kapasitas produksi jumlah penambahan kapasitas. Adapun output yang dikehendaki dari simulasi model sistem dinamik penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang adalah tercukupinya kebutuhan air bersih masyarakat Kota Malang sehingga meskipun jumlah pelanggan terus mengalami kenaikan kebutuhan air tetap terpenuhi. Output yang tak dikehendaki adalah kekurangan air bersih. Melalui pengelolaan dan penyediaan air bersih output yang tak dikehendaki dapat dikendalikan melalui input yang bisa dikendalikan. Diagram input output sistem dinamik penyediaan air bersih PDAM Kota Malang dapat dilihat pada gambar 4.2

#### 4.4 Konseptualisasi Sistem

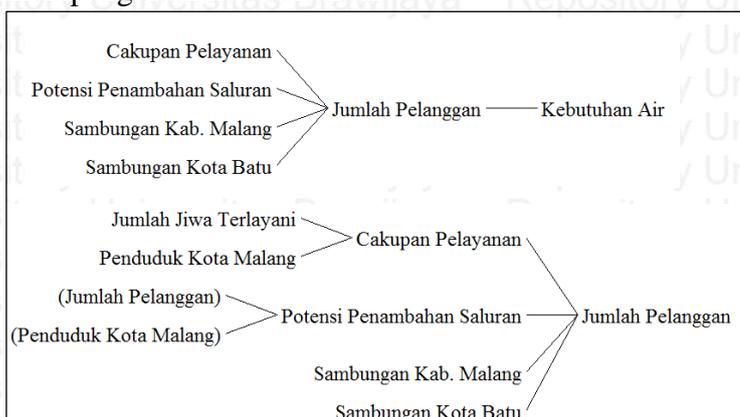
Tahap ini bertujuan untuk membuat *Causal Loop Diagram* (CLD) untuk menggambarkan sistem secara konseptual. Diagram ini menjelaskan tentang hubungan antar masing-masing variabel serta pengaruh yang muncul dari setiap hubungan yang



*Causal Loop Diagram* penyediaan air bersih PDAM Kota Malang sebagaimana tertera pada gambar 4.3 terdiri atas 3 sub model yang memiliki keterkaitan dan hubungan sebab akibat yang bersifat positif maupun negatif. Adapun sub model tersebut diantaranya:

#### 1. Sub Model Kebutuhan Air

Sub model ini menjelaskan mengenai terbentuknya kebutuhan air. Pertambahan jumlah penduduk yang mengakibatkan pertambahan pelanggan akan meningkatkan kebutuhan air bersih. Berikut pada Gambar 4.4 merupakan variabel yang mempengaruhi kebutuhan air:



Gambar 4.4 Variabel yang mempengaruhi kebutuhan air

##### a. Jumlah Pelanggan

Jumlah penduduk Kota Malang yang tercatat sebagai pelanggan Kota Malang. Semakin besar jumlah penduduk Kota Malang maka semakin besar pula penambahan potensi pelanggan yang akan meningkatkan jumlah Pelanggan PDAM Kota Malang

##### b. Kebutuhan Air

Jumlah Air yang dibutuhkan oleh pelanggan PDAM Kota Malang. Semakin besar jumlah pelanggan maka semakin besar pula kebutuhan air bersih yang harus disediakan oleh PDAM Kota Malang.

##### c. Cakupan Pelayanan

Prosentase yang menunjukkan jumlah penduduk yang telah terlayani PDAM Kota Malang dibandingkan dengan Jumlah Penduduk Kota Malang secara keseluruhan.

##### d. Potensi Pelanggan

Jumlah Penduduk Kota Malang yang belum menjadi pelanggan PDAM Kota Malang. Semakin besar penambahan penduduk Kota Malang maka semakin besar pelanggan potensial yang ada.

e. **Sambungan Kota Batu**

Jumlah total sambungan yang berada di wilayah Kota Batu dan dilayani oleh aliran air dari PDAM Kota Malang.

f. **Sambungan Kabupaten Malang**

Jumlah total sambungan yang berada di wilayah Kabupaten Malang dan dilayani oleh aliran air dari PDAM Kota Malang.

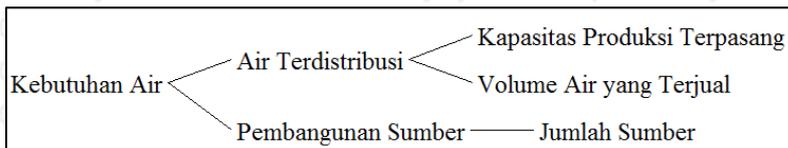
g. **Jumlah Jiwa Terlayani**

Merupakan jumlah jiwa yang terlayani oleh aliran air bersih dari PDAM Kota Malang. Jumlah ini didapatkan dari konversi jumlah pelanggan dalam satuan SR ke dalam satuan jiwa.

h. **Penduduk Kota Malang**

Penduduk Kota Malang merupakan orang-orang yang berada pada wilayah administratif Kota Malang dan terikat pada peraturan di wilayah tersebut.

Pada gambar 4.5 berikut akan diilustrasikan variabel-variabel yang dipengaruhi oleh kebutuhan air.



Gambar 4.5 Variabel yang dipengaruhi kebutuhan air

a. **Jumlah Sumber**

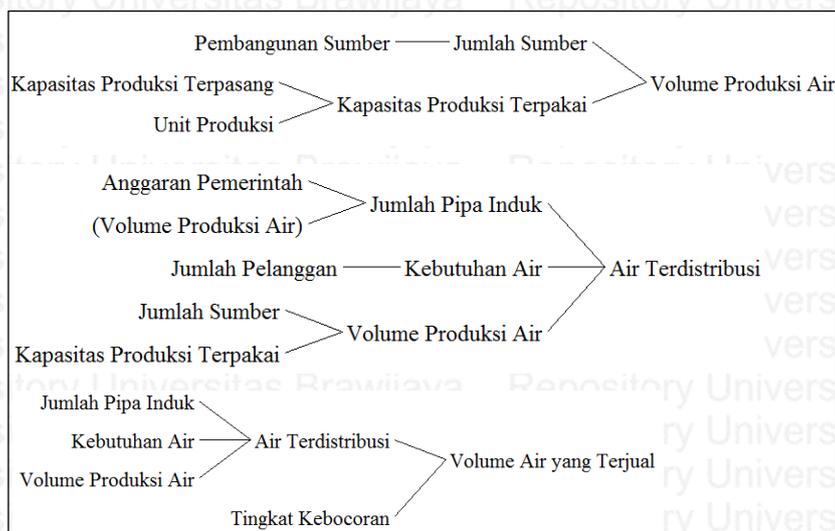
Merupakan banyaknya jumlah sumber yang harus dibangun untuk memenuhi kebutuhan air bersih pelanggan PDAM Kota Malang. Ketika kebutuhan air meningkat maka jumlah sumber pun harus ditambah agar PDAM Kota Malang dapat senantiasa memenuhi permintaan akan air bersih tersebut.

b. **Air Terdistribusi**

Menunjukkan volume air yang harus didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan air pelanggan PDAM Kota Malang. Semakin besar kebutuhan air makan semakin besar pula volume air yang harus didistribusikan.

2. **Sub Model Penyediaan Air Bersih**

Sub model ini menjelaskan mengenai sistem penyediaan air bersih mulai dari air tersebut diproduksi, didistribusikan hingga air tersebut sampai ke pelanggan atau disini disebut dengan istilah terjual.



Gambar 4.6 Variabel yang mempengaruhi penyediaan air

a. Volume Produksi Air

Menunjukkan volume air yang harus diproduksi untuk memenuhi kebutuhan air. Volume air yang diproduksi dipengaruhi oleh kapasitas produksi dari sumber air dan kuantitas sumber air itu sendiri. Semakin besar jumlah sumber yang ada maka akan semakin besar kapasitas produksi sehingga volume air yang diproduksi akan bertambah besar.

b. Kapasitas Produksi Terpasang

Menunjukkan kapasitas produksi air maksimal pada unit produksi. Semakin banyak unit produksi maka akan semakin besar pula kapasitas produksinya.

c. Penambahan Sumber

Upaya yang dilakukan oleh PDAM Kota Malang apabila sumber yang ada saat ini tidak dapat memenuhi kebutuhan air pelanggan.

d. Jumlah Pipa Induk

Jumlah pipa utama yang digunakan dalam pendistribusian air bersih dari reservoir distribusi ke wilayah pelayanan melalui titik-titik sambungan sekunder.

e. Unit Produksi

Suatu bagian dari sistem air bersih yang memiliki fungsi produksi air bersih yang memenuhi kriteria yang telah ditetapkan baik secara kualitas maupun kuantitasnya.

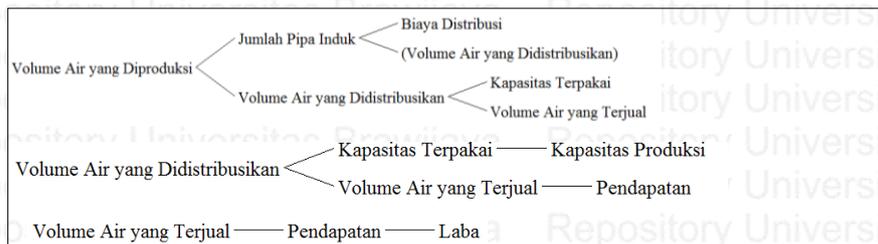
f. Volume Air yang Terjual.

Menunjukkan jumlah volume air yang sampai kepada pelanggan. Semakin besar volume yang didistribusikan maka semakin besar pula volume air yang terjual.

### g. Tingkat Kebocoran

Kehilangan air terjadi sepanjang proses pendistribusian air ke pelanggan. Tingkat kebocoran air sendiri menunjukkan perbandingan antara air yang sampai ke pelanggan (air yang terjual) dan air yang didistribusikan. Semakin besar tingkat kebocoran maka akan semakin sedikit air yang sampai pada pelanggan. Untuk memenuhi kebutuhan maka air yang didistribusikan harus ditingkatkan.

Pada gambar 4.7 berikut akan diilustrasikan variabel-variabel yang dipengaruhi oleh volume air yang diproduksi, volume air yang didistribusikan dan volume air yang terjual.



Gambar 4.7 Variabel yang dipengaruhi penyediaan air

#### a. Kapasitas Produksi Terpakai

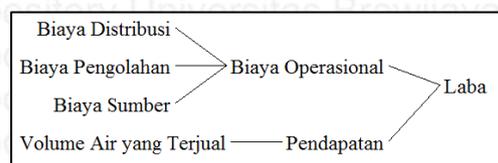
Menunjukkan kapasitas produksi yang dipakai untuk memenuhi kebutuhan air yang harus didistribusikan ke pelanggan.

#### b. Pendapatan

Jumlah pemasukan yang didapat dari penjualan air ke pelanggan. Oleh karena itu semakin banyak air yang terjual maka akan semakin besar pula pendapatan yang diperoleh PDAM Kota Malang.

### 3. Sub Model Laba

Sub model ini mengilustrasikan variabel-variabel yang berpengaruh dan dipengaruhi oleh laba. Berikut pada Gambar 4.8 merupakan variabel-variabel yang mempengaruhi laba:



Gambar 4.8 Variabel yang mempengaruhi laba

#### a. Biaya Operasional

Merupakan total biaya yang dibutuhkan dalam proses penyediaan air di Kota Malang. Semakin besar biaya operasional maka semakin kecil pula laba yang diperoleh.

b. Biaya Distribusi

Biaya ini merupakan biaya yang dibutuhkan untuk menyalurkan air hingga sampai pada pelanggan.

c. Biaya Pengolahan

Biaya ini merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk mengolah air tanah menjadi air bersih sesuai ketentuan PDAM.

d. Biaya Sumber

Biaya ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi air pada unit produksi air di PDAM Kota Malang.

e. Laba

Total pendapatan bersih yang diperoleh oleh PDAM Kota Malang.

Pada Gambar 4.9 merupakan variabel-variabel yang dipengaruhi oleh laba yang dihasilkan dari penjualan air.

Laba — PDRB Kota Malang — Anggaran Pemerintah

Gambar 4.9 Variabel yang dipengaruhi laba

a. PDRB Kota Malang

PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) merupakan total pendapatan Kota Malang per tahun. Semakin besar laba yang diperoleh PDAM Kota Malang maka semakin besar pula PDRB Kota Malang.

b. Anggaran Pemerintah

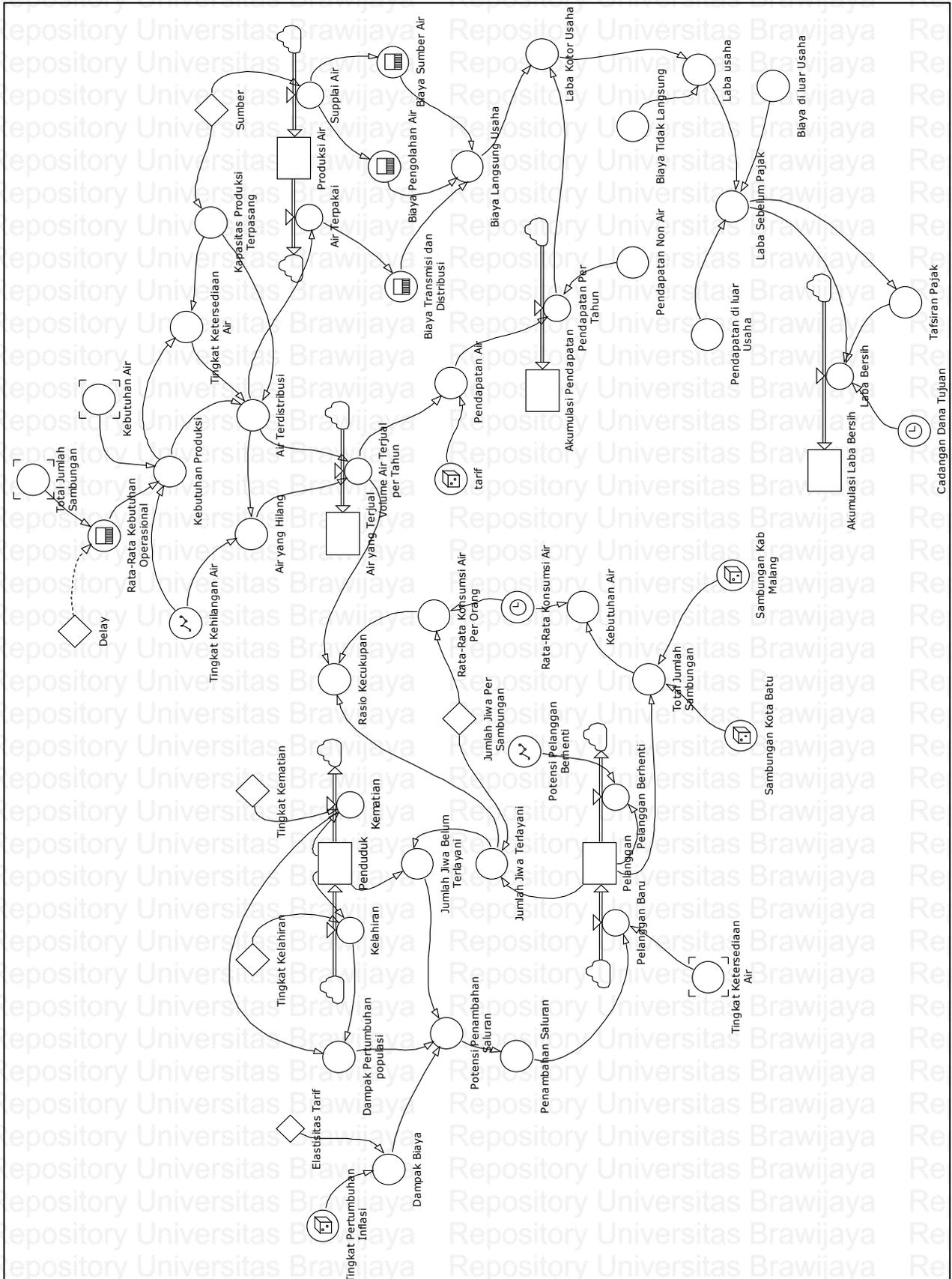
Menunjukkan jumlah anggaran pemerintah yang dialokasikan pada PDAM Kota Malang.

Penjelasan di atas merupakan bentuk dari penilaian struktur untuk menilai validitas dari model konseptual yang dibangun. Hasil penjabaran struktur model konseptual menunjukkan bahwa struktur model telah relevan dengan sistem yang ada sehingga model konseptual dapat dinyatakan valid.

#### 4.5 Pembuatan Model Simulasi

Model simulasi sistem dinamik dikenal dengan istilah *Stock and Flow Diagram*. Diagram ini digunakan untuk menggambarkan dan mensimulasikan sistem penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang. Pada Gambar 4.10 dapat dilihat *Stock and Flow Diagram* yang dikembangkan berdasarkan analisis faktor-faktor pada *Causal Loop Diagram* dan dikembangkan sesuai dengan variabel yang menjadi variabel utama dalam sistem

penyediaan air bersih sesuai dengan data dari bagian Penelitian dan Pengembangan PDAM Kota Malang.



Gambar 4.10 Stock and Flow Diagram penyediaan air di PDAM Kota Malang

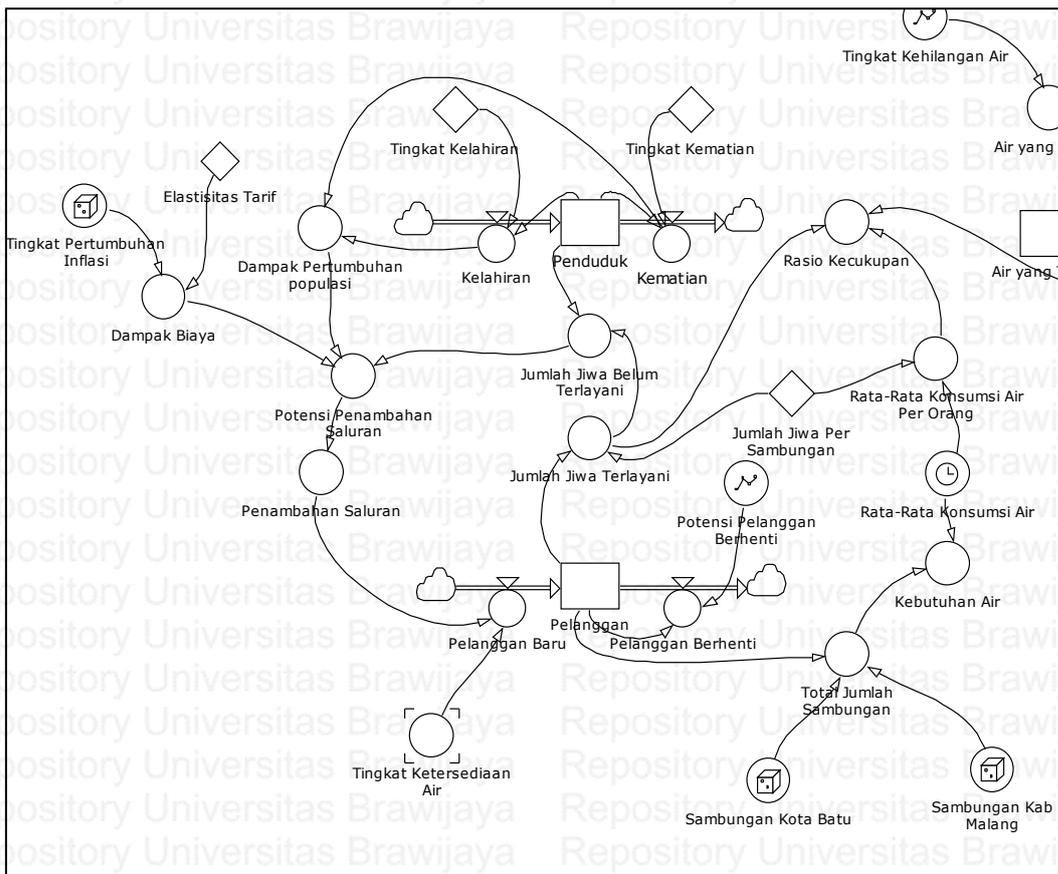
*Stock and Flow Diagram* dibagi ke dalam tiga sub model. Pembagian ini mengacu pada *Causal Loop Diagram* yang telah dibuat sebelumnya. Berikut merupakan penjelasan masing-masing sub model yang ada:

#### 1. Sub Model Kebutuhan Air

Sub Model ini menggambarkan model kebutuhan air Pada PDAM. Jumlah kebutuhan air tergantung total banyaknya sambungan dan rata-rata konsumsi air per sambungan. Total sambungan sendiri merupakan penjumlahan sambungan oleh pelanggan di Kota Malang dan sebagian kecil sambungan yang berada di wilayah Kota Batu dan Kabupaten Malang. Sub model sebagaimana yang tertera Gambar 4.11 juga menggambarkan hubungan antara penduduk dengan pelanggan baru. Jumlah pelanggan pada PDAM Kota Malang dipengaruhi oleh adanya pelanggan baru dan pelanggan yang berhenti. Jumlah pelanggan yang ada dalam satuan SR (sambungan rumah) kemudian akan dikonversikan ke dalam satuan jiwa dengan mengalikannya dengan jumlah jiwa per sambungan menurut ketentuan PDAM Kota Malang. Selanjutnya dengan mengurangi jumlah penduduk jumlah dengan jiwa yang terlayani maka akan diperoleh jumlah jiwa yang belum terlayani. Variabel potensi penambahan saluran didapatkan dari pengalihan antara jumlah jiwa yang belum terlayani dengan penjumlahan antar dampak pertumbuhan populasi dan dampak biaya. Variabel dampak biaya dipengaruhi oleh elastisitas tarif dan tingkat pertumbuhan inflasi. Elastisitas tarif merupakan prosentase perubahan permintaan terhadap perubahan harga (Belobaba, et al, 2009). Menurut Suryani et. al (2010) dalam penelitiannya mengenai peramalan permintaan penumpang pesawat terbang, dampak biaya merupakan perubahan biaya dikalikan dengan elastisitas harga. Perubahan biaya pada PDAM salah satunya dapat didekati dengan perubahan tingkat inflasi (Novanti, 2011). Potensi penambahan pelanggan tersebut akan menjadi *rate* pelanggan baru jika tingkat ketersediaan air PDAM Kota Malang lebih dari 0,2. Variabel kependudukan seperti penduduk, tingkat kelahiran dan tingkat kematian merupakan data PDAM Kota Malang pada tahun 2010. Adapun variabel-variabel yang terdapat pada Gambar 4.11 akan dijabarkan pada tabel 4.7. Masing-masing variabel merupakan perumusan fungsi dan ada pula yang terdefinisi nilainya dari data atau hasil wawancara dengan pihak PDAM Kota Malang.

Tabel 4.7  
Persamaan Sub Model Kebutuhan Air

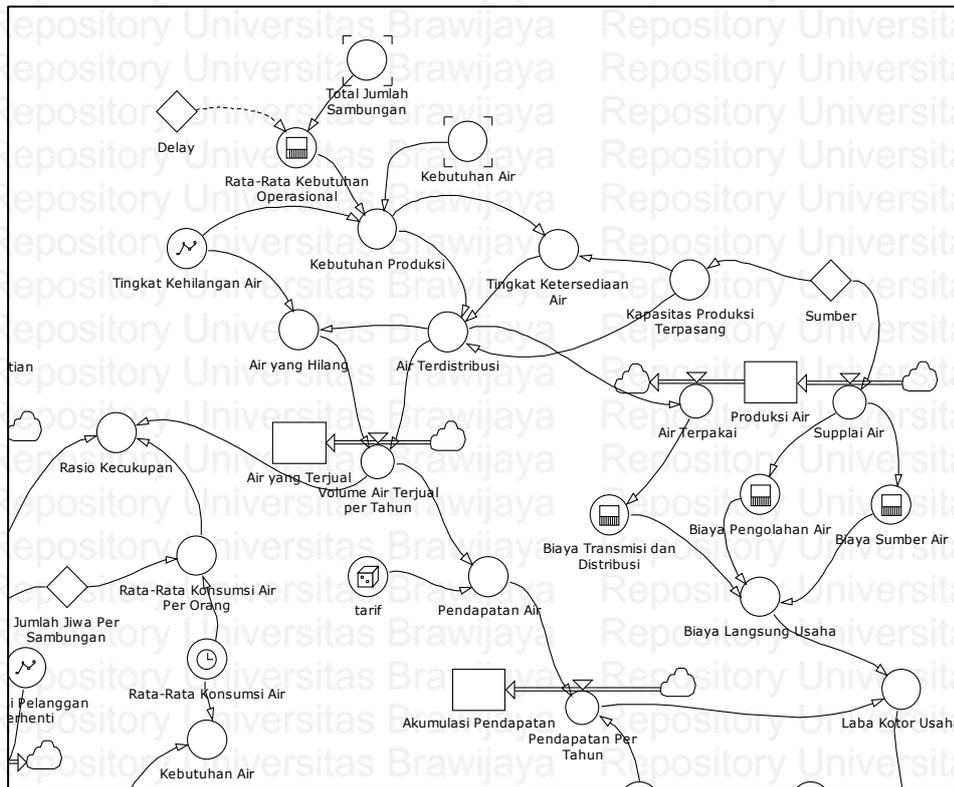
Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Penduduk	Level	$X_0 = 820243$	820243	jiwa
Kelahiran	Rate	$= \text{Penduduk} \times \text{Tingkat Kelahiran}$	Penduduk*Tingkat Kelahiran	jiwa
Kematian	Rate	$= \text{Penduduk} \times \text{Tingkat Kematian}$	Penduduk*Tingkat Kematian	Jiwa
Tingkat Kelahiran	Constant	$X = 0,005940$	0,005940	
Tingkat Kematian	Constant	$X = 0,000440$	0,000440	
Elastisitas Tarif	Constant	$X = 0,4976$	0,4976	
Tingkat Pertumbuhan Inflasi	Auxiliary	$\bar{x} = 0,22509$ $\sigma = 0,01709$	NORMAL(0,22509;-0,01709)	
Dampak Pertumbuhan Populasi	Auxiliary	$= \frac{\text{Kelahiran} - \text{Kematian}}{10.000}$	(Kelahiran-Kematian)/10000	
Potensi Penambahan Saluran	Auxiliary	$= \text{Jumlah Jiwa Belum Terlayani} / 5 \times ((0,05 \times \text{Dampak Biaya}) + (0,1 \times \text{Dampak Pertumbuhan Populasi}))$	Jumlah Jiwa Belum Terlayani / 5 * ((0,05 * Dampak Biaya) + (0,1 * Dampak Pertumbuhan Populasi))	
Penambahan Saluran	Auxiliary	$= \text{Potensi Penambahan Saluran}$	Potensi Penambahan Saluran * 1 <<SR>>	SR
Pelanggan Baru	Rate	Jika tingkat ketersediaan air lebih kecil dari 0,2 maka tidak ada penambahan saluran	IF('Tingkat Ketersediaan Air'>=0,2;'Penambahan Saluran';0<<SR>>)	SR
Pelanggan	Level	$X_0 = 92974$	92974	SR
Pelanggan Berhenti	Rate	$= \text{Pelanggan} \times \text{Prosentase Pelanggan Berhenti}$	Pelanggan*Prosentase Pelanggan Berhenti	SR
Prosentase Pelanggan Berhenti	Auxiliary	$X_{1..28} = \{2,0823; 0,5447; 0,46; 0,8543; 0,0274; 0,09222; 0,09098; 0,0699; 0,1812; 0,03044; 0,01635; 0,10934; 0,16877; 0,18471; 0,06644; 0,12358\} / 100$	GRAPH(TIME;1;1;{2,0823;0,5447;0,46;0,8543;0,0274;0,09222;0,09098;0,0699;0,1812;0,03044;0,01635;0,10934;0,16877;0,18471;0,06644;0,12358})/100	
Jumlah Jiwa Persambungan	Constant	$X = 5$	5	jiwa/SR
Jumlah Jiwa Terlayani	Auxiliary	$= \text{Pelanggan} \times \text{Jumlah Jiwa Per Sambungan}$	Pelanggan*Jumlah Jiwa Per Sambungan	jiwa
Jumlah Jiwa Belum Terlayani	Auxiliary	$= \text{Penduduk} - \text{Jumlah Jiwa Terlayani}$	Penduduk - Jumlah Jiwa Terlayani	jiwa



Gambar 4.11 Sub model kebutuhan air

## 2. Sub Model Penyediaan Air

Sub Model ini menggambarkan proses penyediaan air yang terjadi pada PDAM Kota Malang. Produksi air dipengaruhi oleh kapasitas terpasang sumber. Sedangkan volume air yang terjual per tahun dipengaruhi oleh air yang hilang dan air yang terdistribusi berdasarkan kebutuhan kapasitas produksi. Kebutuhan produksi sendiri merupakan penjumlahan antara kebutuhan air dengan kebutuhan operasional yang mempertimbangkan tingkat kebocoran sepanjang distribusi ke pelanggan. Sebagai indikator ketersediaan air maka dihitung pula tingkat ketersediaan air yang didapat dari perbandingan antara kapasitas terpasang dan kebutuhan kapasitas. Apabila nilai kebutuhan produksi lebih kecil daripada kapasitas terpasang maka jumlah air yang terdistribusi akan sama dengan nilai kebutuhan produksi. Apabila nilai kebutuhan produksi lebih besar daripada kapasitas terpasang maka jumlah air yang terdistribusi akan mengikuti nilai kapasitas terpasang tersebut. Adapun rincian variabel-variabel yang berpengaruh akan dijabarkan pada Tabel 4.8.



Gambar 4.12 Sub model penyediaan air

Tabel 4.8  
Persamaan Sub Model Penyediaan Air

Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Produksi Air	Level	$X_0 = 0$	0	m3
Suplai Air	Rate	$= Sumber$	Sumber	m3
Air Terpakai	Rate	$= Air\ Terdistribusi$	Air Terdistribusi	m3
Sumber	Constant	$X = 1660$	1660	liter/detik
Kapasitas Produksi Terpasang	Auxiliary	$= Sumber$	Sumber	m3/qt
Kebutuhan Produksi	Auxiliary	$= \frac{Kebutuhan\ Air + Rerata\ Kebutuhan\ Operasional}{1 - Tingkat\ Kehilangan\ Air}$	(Kebutuhan Air + Rata-Rata Kebutuhan Operasional) / (1-Tingkat Kehilangan Air)	liter/detik
Tingkat Ketersediaan Air	Auxiliary	$= \frac{Kapasitas\ Produksi\ Terpasang}{Kebutuhan\ Produksi}$	Kapasitas Produksi Terpasang / Kebutuhan Produksi	
Tingkat Kehilangan Air	Auxiliary	$X_{1..4} = 0,38; X_{5..8} = 0,34; X_{9..12} = 0,27; X_{13..16} = 0,2692; X_{17..20} = 0,2313; X_{21..24} = 0,1867; X_{25..28} = 0,2$	GRAPH(TIME;4;4;{0,38;0,34;0,27;0,2692;0,2313;0,1867;0,2})	
Air yang Hilang	Auxiliary	$= Tingkat\ Kehilangan\ Air \times Kapasitas\ Produksi\ Terpakai$	Tingkat Kehilangan Air * Kapasitas Produksi Terpakai	m3
Air Terdistribusi	Auxiliary	Jika tingkat ketersediaan air kurang dari 1 maka air ang terdistribusi sama dengan kapasitas produksi terpasang jika tidak maka sama dengan kebutuhan produksi	IF (Tingkat Ketersediaan Air < 1; Kapasitas Produksi Terpasang ; Kebutuhan Produksi)	

Tabel 4.8  
Persamaan Sub Model Penyediaan Air (Lanjutan)

Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Volume air Terjual per Tahun	Rate	= Air Masuk - Air yang Hilang	Air Masuk – Air yang Hilang	
Air yang Terjual	Level	$X_0 = 0$	0	
Rasio Kecukupan	Auxiliary	= Volume Air Terjual Per Tahun/(Rata – Rata Konsumsi Air Per Orang ×Jumlah Jiwa Terlayani)	Volume Air Terjual Per Tahun/(Rata-Rata Konsumsi Air Per Orang *Jumlah Jiwa Terlayani)	
Rata-Rata Konsumsi Air per Orang	Auxiliary	$= \frac{\text{Rata – Rata Konsumsi Air}}{\text{Jumlah Jiwa Per Sambungan}}$	Rata-Rata Konsumsi Air/Jumlah Jiwa Per Sambungan	
Rata-Rata Konsumsi Air	Auxiliary	$X_{1..12} = 21; X_{13..16} = 17;$ $X_{17..24} = 18; X_{25..28} = 17$	(21+STEP(-4;13)+STEP(1;17)+STEP(-1;25))*1<<m3/SR/bulan>>	m3/SR/bulan
Delay	Constant	$X = 3$	3	tahun
Rata-Rata Kebutuhan Operasional	Auxiliary	= Total Jumlah Sambungan ×DELAYPPL	Total Jumlah Sambungan * DELAYPPL(2;delay;0)	m3/SR/bulan
Kebutuhan Air	Auxiliary	= Total Jumlah Sambungan * (Rata – Rata Konsumsi Air + Rata – Rata Kebutuhan Operasional)	Total Jumlah Sambungan*(Rata-Rata Konsumsi Air+Rata-Rata Kebutuhan Operasional)	liter/detik
Sambungan Kota Batu	Auxiliary	$\bar{x} = 520,05$ $\sigma = 723,4$	(ABS(NORMAL(520,05;723,4)))*1<<SR>>	SR
Sambungan Kab. Malang	Auxiliary	$\bar{x} = 2332,7$ $\sigma = 3432,8$	ABS(NORMAL(2332,7;3432,8))*1 <<SR>>	SR
Total Jumlah Sambungan	Auxiliary	= Pelanggan + Sambungan Kab Malang + Sambungan Kota Batu	Pelanggan + Sambungan Kab Malang + Sambungan Kota Batu	SR

### 3. Sub Model Laba

Sub Model ini menggambarkan alur pendapatan hingga menjadi laba bersih pada PDAM Kota Malang. Pendapatan per tahun merupakan hasil penjumlahan antara pendapatan air dengan pendapatan non air. Pendapatan air diperoleh berdasarkan volume air yang terjual dengan mengalikannya dengan rata-rata harga air per m<sup>3</sup>. Untuk Mengetahui laba kotor usaha maka Pendapatan per tahun haruslah dikurangi dengan biaya langsung usaha yang meliputi biaya sumber air, biaya pengolahan air dan biaya transmisi dan distribusi. Sedangkan laba usaha merupakan hasil pengurangan antara laba kotor usaha dengan biaya tidak langsung. Pendapatan di luar usaha dan biaya di luar usaha merupakan pengurang selanjutnya untuk mendapatkan laba sebelum pajak. Sedangkan untuk mencari nilai dari laba bersih sendiri maka laba sebelum pajak dikurangi dengan cadangan dana tujuan dan nilai tafsiran pajak. Adapun variabel-variabel yang terdapat pada Gambar 4.13

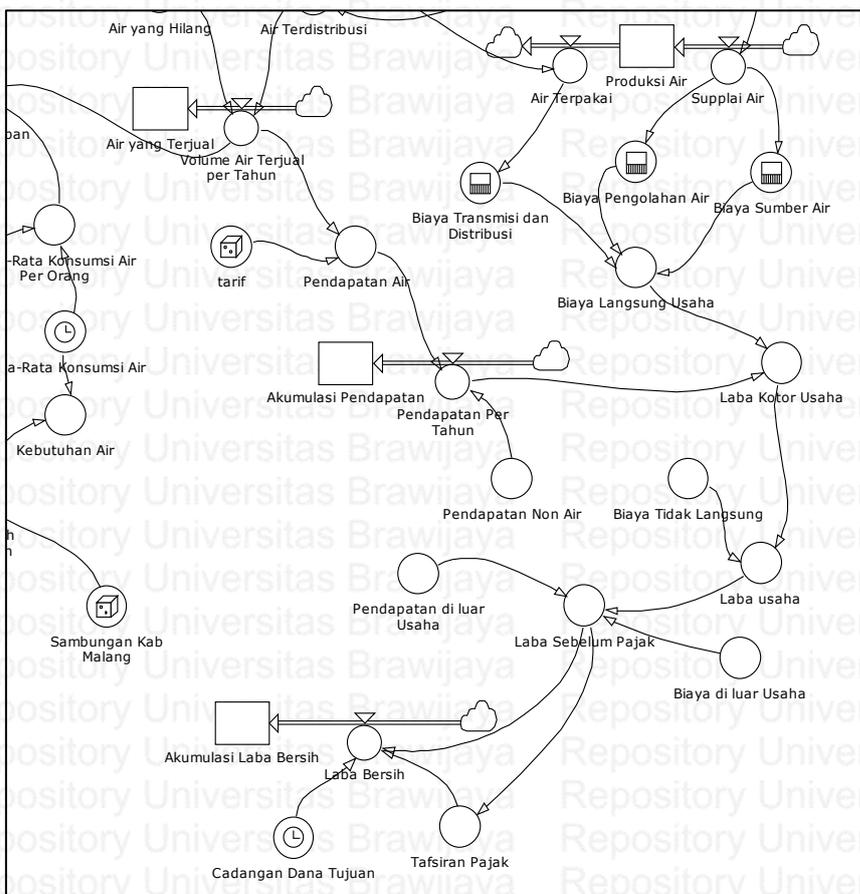
akan dijabarkan pada tabel 4.9. Masing-masing variabel merupakan perumusan fungsi berdasarkan laporan keuangan PDAM Kota Malang.

Tabel 4.9  
Persamaan Sub Model Laba

Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Biaya Sumber Air	Auxiliary	$= \text{Supplai Air} \times \{X_{1..4} = 127,51; X_{5..8} = 181,90; X_{9..12} = 237,71; X_{13..16} = 253,96; X_{17..20} = 254,21; X_{21..24} = 264,89; X_{25..28} = 264,89\} / 1000000$	Supplai Air * GRAPH(TIME;1;4;{127,51;181,90;237,71;253,96;254,21;264,89;264,89})/1000000 <<m3/juta>>	juta
Biaya Pengolahan Air	Auxiliary	$= \text{Supplai Air} \times \{X_{1..4} = 300,68; X_{5..8} = 328,43; X_{9..12} = 362,73; X_{13..16} = 391,94; X_{17..20} = 427,84; X_{21..24} = 455,87; X_{25..28} = 478,91\} / 1000000$	Supplai Air * GRAPH(TIME;1;4;{300,68;328,43;362,73;391,94;427,84;455,87;478,91})/1000000 <<m3/juta>>	juta
Biaya Tranmisi dan Distribusi	Auxiliary	$= \text{Air Terpakai} \times \{X_{1..4} = 543,55; X_{5..8} = 553,45; X_{9..12} = 634,47; X_{13..16} = 765,17; X_{17..20} = 819,24; X_{21..24} = 847,46; X_{25..28} = 873,85\} / 1000000$	Air Terpakai * GRAPH(TIME;1;4;{543,55;553,45;634,47;765,17;819,24;847,46;873,85})/1000000 <<m3/juta>>	juta
Biaya Langsung Usaha	Auxiliary	$= \text{Biaya Sumber Air} + \text{Biaya Pengolahan Air} + \text{Biaya Tranmisi dan Distribusi}$	Biaya Sumber Air + Biaya Pengolahan Air + Biaya Tranmisi dan Distribusi	juta
Lab Kotor Usaha	Auxiliary	$= \text{Pendapatan Per Tahun} - \text{Biaya Langsung Usaha}$	Pendapatan Per Tahun - Biaya Langsung Usaha	juta
Pendapatan Per Tahun	Rate	$= \text{Pendapatan air} + \text{Pendapatan Non Air}$	Pendapatan air + Pendapatan Non Air	juta
Pendapatan Non Air	Auxiliary	$X_{1..4} = 22901/4; X_{5..8} = 22570/4; X_{9..12} = 27542/4; X_{13..16} = 28466/4; X_{17..20} = 29415/4; X_{21..24} = 31023/4; X_{25..28} = 34657/4$	GRAPH(TIME;1;4;{22901/4;22570/4;27542/4;28466/4;29415/4;31023/4;34657/4}) * 1 <<juta>>	juta
Akumulasi Pendapatan	Level	$X_0 = 0$	0	juta
Pendapatan Air	Auxiliary	$= \text{Volume Air Terjual Per Tahun} \times \text{Rata} - \text{Rata Harga Air Per m3}$	Volume Air Terjual Per Tahun * Rata-Rata Harga Air Per m3	juta
Tarif	Auxiliary	$X_{1..4} = 4063,46; X_{5..8} = 4020,44; X_{9..12} = 5000,78; X_{13..16} = 5387,29; X_{17..20} = 5104,411; X_{21..24} = 5105,473; X_{25..28} = 5141,105$	GRAPH(TIME;1;4;{4063,46;4020,44;5000,78;5387,29;5104,411;5105,473;5141,105})	juta/m3
Lab Usaha	Auxiliary	$= \text{Lab Kotor} - \text{Biaya Tidak Langsung}$	Lab Kotor Usaha - Biaya Tidak Langsung	juta
Lab Sebelum Pajak	Auxiliary	$= \text{Lab Usaha} - \text{Biaya di Luar Usaha} + \text{Pendapatan di Luar Usaha}$	Lab Usaha - Biaya di Luar Usaha + Pendapatan di Luar Usaha	juta

Tabel 4.9  
Persamaan Sub Model Laba (Lanjutan)

Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Pendapatan di Luar Usaha	Auxiliary	$X_{1..4} = 515/4; X_{5..8} = 556/4;$ $X_{9..12} = 1098/4; X_{13..16} = 1143/4$ $; X_{17..20} = 1188/4$ $X_{21..24} = 1329/4; X_{25..28} = 1600/4$	GRAPH(TIME;1;4;{515/4;556/4;1098/4;1143/4;1188/4;1329/4;1600/4})	juta
Biaya di Luar Usaha	Auxiliary	$X_{1..4} = 550/4; X_{5..8} = 605/4;$ $X_{9..12} = 666/4; X_{13..16} = 732/4;$ $X_{17..20} = 805/4$ $X_{21..24} = 864/4; X_{25..28} = 901/4$	GRAPH(TIME;1;4;{550/4;605/4;666/4;732/4;805/4;864/4;901/4})	juta
Cadangan Dana Tujuan	Auxiliary	$X_{1..4} = 1000; X_{5..12} = 1250;$ $X_{13..20} = 1500; X_{21-28} = 1750;$	1000 + STEP (250;5) + STEP (250;13) + STEP (250;21)	juta
Tafsiran Pajak Penghasilan	Auxiliary	$= 0,28 \times \text{Laba Sebelum Pajak}$	0,28 * Laba Sebelum Pajak	juta
Laba Bersih	Rate	$= \text{Laba Sebelum Pajak}$ $- \text{Tafsiran Pajak Penghasilan}$ $- \text{Cadangan Dana Tujuan}$	Laba Sebelum Pajak - Tafsiran Pajak Penghasilan - Cadangan Dana Tujuan	juta
Akumulasi Laba Bersih	Level	$X_0 = 0$	0	juta



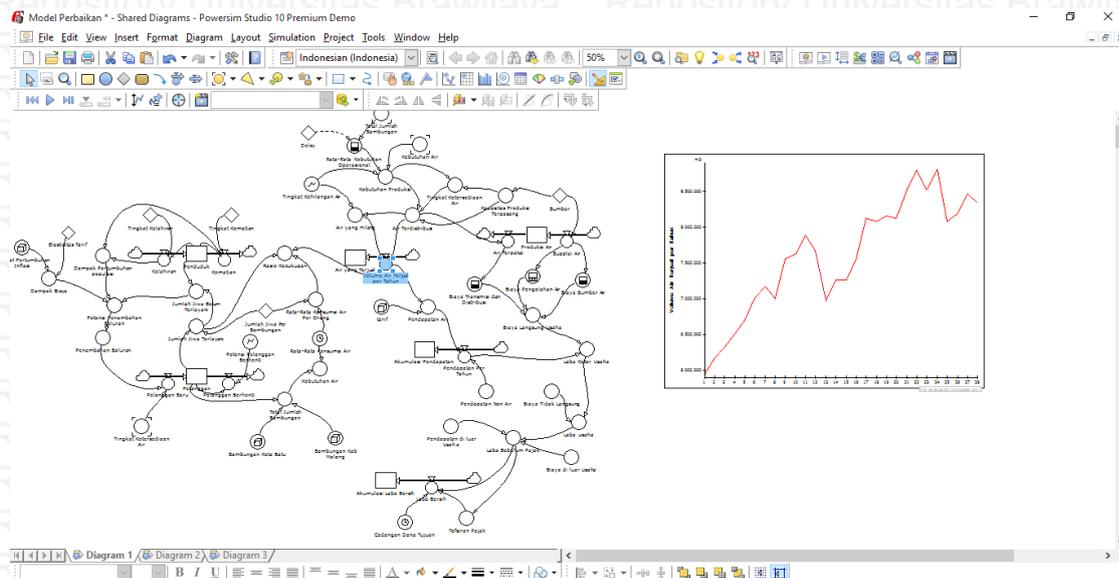
Gambar 4.13 Sub model laba

## 4.6 Simulasi

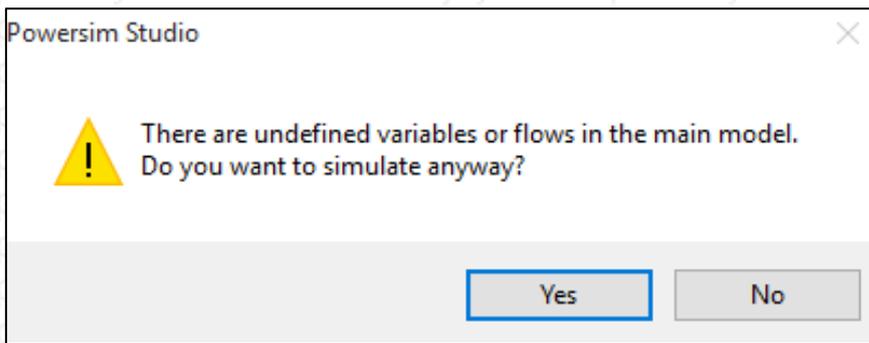
Dalam tahap ini dilakukan simulasi kondisi saat ini dari permodelan sistem yang telah dibuat pada tahap-tahap sebelumnya. Setelah model dasar sistem dinamis rampung dibuat menggunakan *software* Powersim 10.0 kemudian dilakukan pengecekan model melalui verifikasi dan validasi.

### 4.6.1 Verifikasi Model

Verifikasi dilakukan untuk memastikan model telah terbangun dengan tepat pada *software* simulasi (Banks, et al., 2004). Salah satu cara validasi adalah dengan melakukan kompilasi *error* dari model simulasi yang dibuat. 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. Model terverifikasi pada *software* Powersim 10.0 apabila tidak ada jendela peringatan yang muncul ketika program dijalankan. Gambar 4.15 menunjukkan jendela peringatan ketika terdapat *error* terjadi. Hasil simulasi dapat dianalisis ketika tidak ada lagi kesalahan dari model ditandai dengan tidak ada lagi jendela peringatan yang muncul ketika model dijalankan seperti pada gambar 4.14. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Verifikasi yang kedua dilakukan pula dengan memeriksa struktur model dengan memasukkan angka yang paling besar dan angka yang paling kecil. Hasilnya model pada penelitian tidak terjadi *error* yang ditandai dengan data bernilai negatif. Kesimpulan dari hasil dua uji verifikasi yang dilakukan adalah tidak terdapat *error* pada penelitian sehingga model penelitian terverifikasi.



Gambar 4.14 Tampilan yang muncul ketika tidak ada *error*



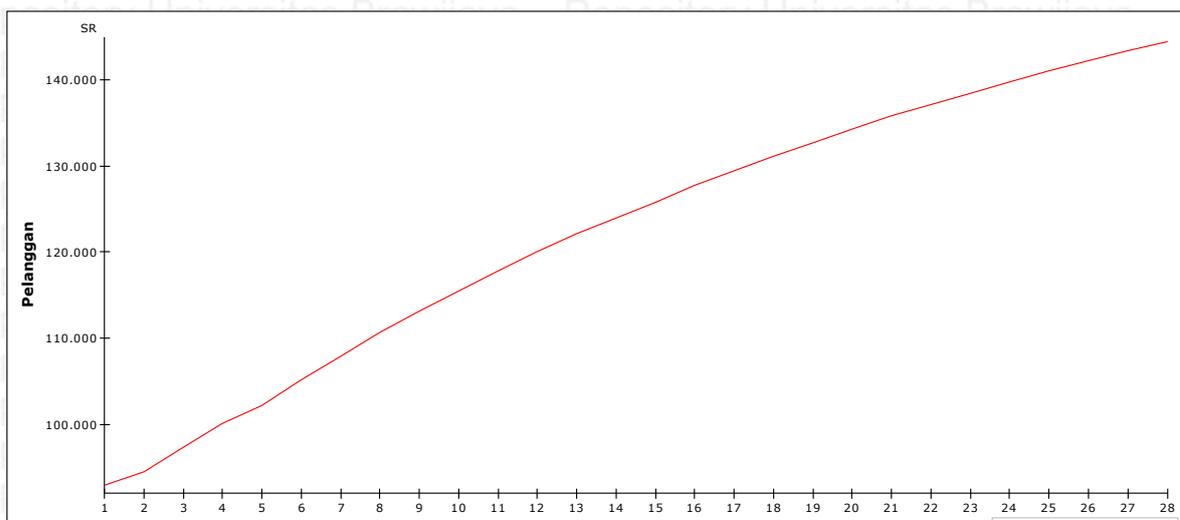
Gambar 4.15 Jendela peringatan ketika *error* terjadi

#### 4.6.2 Hasil Simulasi Model Dasar

Hasil simulasi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Berikut merupakan hasil simulasi dari tiga sub model pada model dasar penyediaan air di PDAM Kota Malang.

##### 1. Sub Model Kebutuhan Air

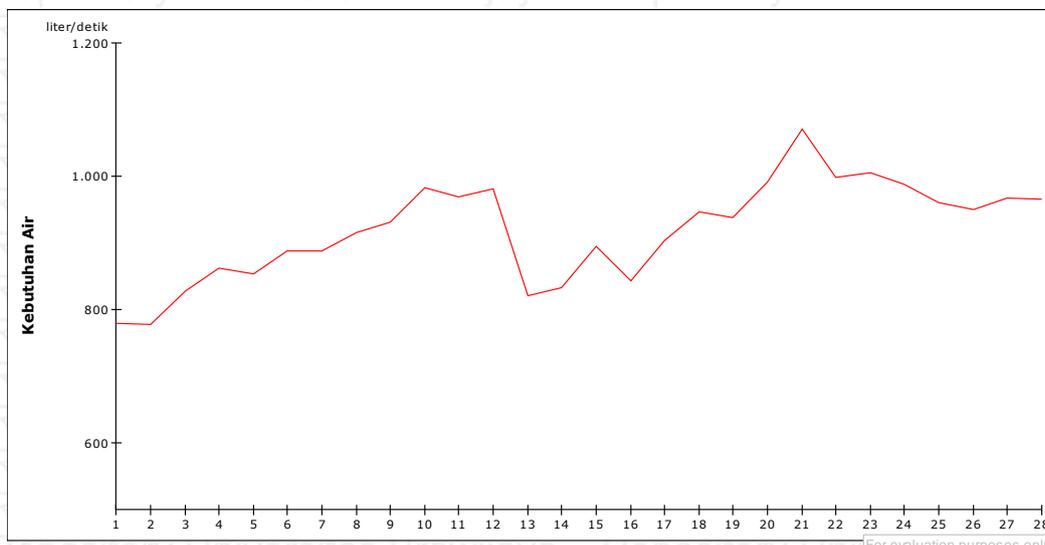
Jumlah pelanggan dan kebutuhan air merupakan dua variabel yang dapat dianalisis dalam sub model kebutuhan air. Gambar 4.16 menunjukkan adanya *trend* positif dari pertumbuhan jumlah pelanggan. Sejalan dengan hal tersebut kebutuhan air secara umum mengalami peningkatan, namun terdapat penurunan kebutuhan air secara signifikan pada kuartar ke-13 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. Hal ini dikarenakan pada kuartar tersebut terjadi penurunan angka konsumsi air rata-rata karena selain dipengaruhi oleh jumlah pelanggan kebutuhan air dipengaruhi pula oleh angka konsumsi rata-rata. Kecenderungan menurunnya konsumsi air bersih dipengaruhi oleh aspek penggunaan teknologi seperti penggunaan *shower* untuk mandi.



Gambar 4.16 Grafik jumlah pelanggan

Tabel 4.10  
Jumlah Pelanggan Kota Malang (SR)

Periode	Aktual	Simulasi	Periode	Aktual	Simulasi
qt1	92.974	92.974	qt15	118.971	125.808
qt2	94.361	94.519	qt16	121.508	127.718
qt3	95.651	97.349	qt17	125.067	129.456
qt4	96.453	100.020	qt18	128.135	131.078
qt5	98.529	102.203	qt19	130.724	132.712
qt6	99.758	105.181	qt20	134.163	134.236
qt7	101.115	107.916	qt21	138.955	135.751
qt8	102.893	110.642	qt22	139.744	137.110
qt9	105.965	113.170	qt23	142.779	138.468
qt10	108.335	115.456	qt24	146.589	139.775
qt11	109.890	117.798	qt25	149.419	141.017
qt12	112.301	120.082	qt26	153.520	142.220
qt13	114.859	122.120	qt27	156.150	143.320
qt14	117.005	123.951	qt28	157.637	144.440



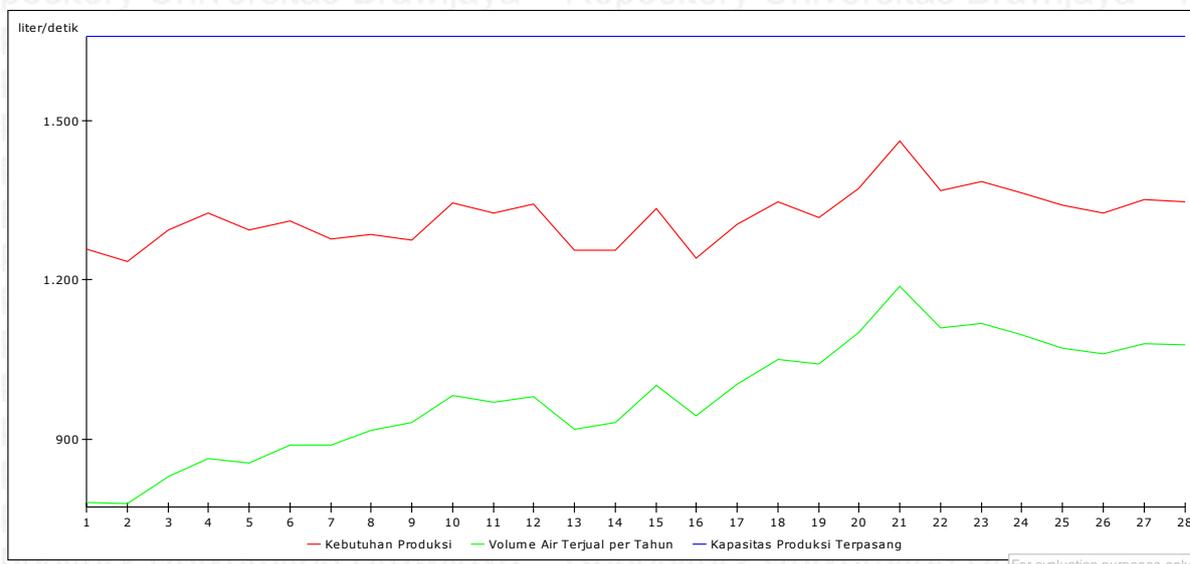
Gambar 4.17 Grafik kebutuhan air

Tabel 4.11  
Kebutuhan Air PDAM Kota Malang (liter/detik)

Periode	Aktual	Simulasi	Periode	Aktual	Simulasi
qt1	809,69	780	qt15	833,61	895
qt2	802,91	778	qt16	868,20	844
qt3	827,31	828	qt17	891,30	903
qt4	873,14	862	qt18	930,70	946
qt5	838,36	854	qt19	942,60	937
qt6	871,84	889	qt20	950,65	992
qt7	904,62	887	qt21	991,29	1.070
qt8	904,81	916	qt22	999,79	998
qt9	924,71	930	qt23	1.026,34	1.006
qt10	956,27	982	qt24	1.035,93	987
qt11	977,32	968	qt25	1.001,41	959
qt12	997,86	981	qt26	1.023,40	949
qt13	816,43	821	qt27	1.035,21	967
qt14	833,30	832	qt28	1.045,46	965

## 2. Sub Model Penyediaan Air

Gambar 4.18 merupakan grafik yang menunjukkan hasil simulasi terkait volume air yang terjual dan debit berdasarkan kebutuhan produksi yang keduanya pada satuan liter/detik. Volume air yang terjual menunjukkan *trend* pertumbuhan positif sesuai dengan pertumbuhan kebutuhan pelanggan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa selama tujuh tahun terakhir kebutuhan distribusi yang ditunjukkan dengan nilai kapasitas produksi terpakai masih dapat dipenuhi oleh suplai air berdasarkan kapasitas produksi terpasang. Seiring berjalannya periode terlihat bahwa *gap* antara air yang terjual dan kapasitas produksi semakin menyempit hal tersebut terjadi akibat upaya yang dilakukan PDAM Kota Malang untuk menurunkan tingkat kebocoran. Fluktuasi kebutuhan produksi dipengaruhi oleh kebutuhan air dari pelanggan.



Gambar 4.18 Grafik untuk sub model penyediaan air

Tabel 4.12

Volume Air yang Terjual ( $m^3$ )

Periode	Aktual	Simulasi	Periode	Aktual	Simulasi
qt1	6.296.165	6.061.832	qt15	7.244.747	7.781.481
qt2	6.243.422	6.053.328	qt16	7.545.359	7.333.864
qt3	6.433.162	6.441.585	qt17	7.700.830	7.806.143
qt4	6.789.525	6.703.609	qt18	8.041.251	8.171.071
qt5	6.519.084	6.640.893	qt19	8.144.031	8.099.472
qt6	6.779.396	6.909.325	qt20	8.213.575	8.568.932
qt7	7.034.359	6.900.664	qt21	8.564.704	9.244.701
qt8	7.035.809	7.121.680	qt22	8.638.148	8.621.106
qt9	7.190.583	7.234.572	qt23	8.867.564	8.688.173
qt10	7.435.981	7.634.439	qt24	8.950.428	8.526.599
qt11	7.599.650	7.529.461	qt25	8.703.112	8.337.993
qt12	7.759.376	7.627.478	qt26	8.894.212	8.251.254
qt13	7.095.420	7.132.569	qt27	8.996.842	8.403.271
qt14	7.242.071	7.234.096	qt28	9.085.905	8.385.387

Tabel 4.13  
Kebutuhan Produksi (liter/detik)

Periode	Aktual	Simulasi	Periode	Aktual	Simulasi
qt1	1.306	1.257	qt15	1.243	1.335
qt2	1.274	1.236	qt16	1.278	1.242
qt3	1.293	1.294	qt17	1.288	1.306
qt4	1.343	1.326	qt18	1.326	1.347
qt5	1.270	1.294	qt19	1.324	1.317
qt6	1.287	1.312	qt20	1.317	1.374
qt7	1.302	1.277	qt21	1.354	1.462
qt8	1.270	1.285	qt22	1.371	1.369
qt9	1.267	1.274	qt23	1.414	1.385
qt10	1.310	1.345	qt24	1.433	1.365
qt11	1.338	1.326	qt25	1.399	1.340
qt12	1.366	1.343	qt26	1.430	1.326
qt13	1.249	1.255	qt27	1.446	1.351
qt14	1.258	1.257	qt28	1.461	1.348

### 3. Sub Model Laba

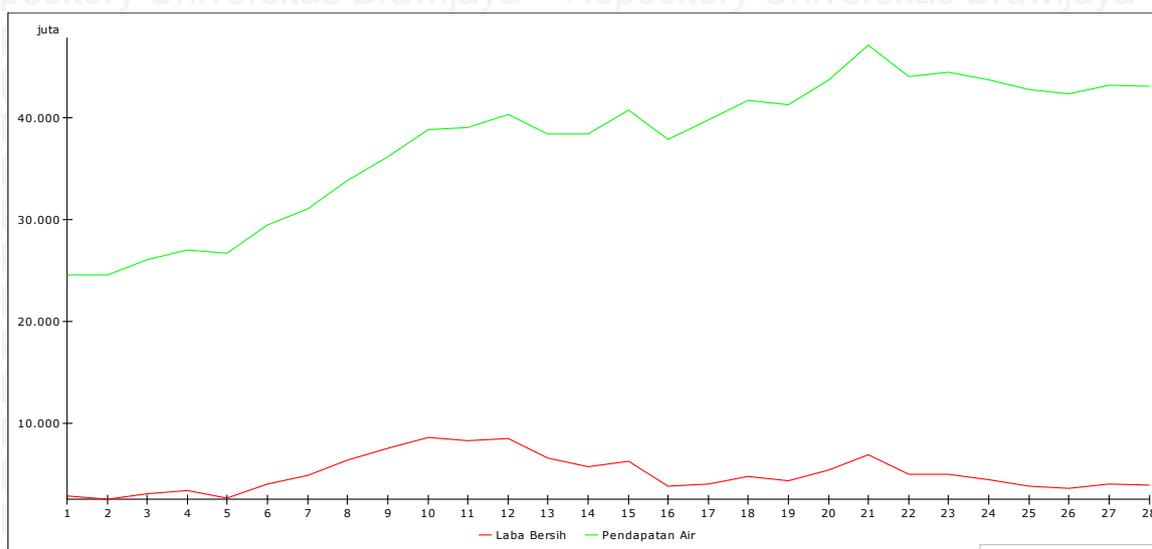
Gambar 4.18 menampilkan grafik pendapatan dan laba yang diperoleh oleh PDAM Kota Malang. Pendapatan PDAM Kota Malang meningkat sejalan dengan meningkatnya kebutuhan air oleh pelanggan. Laba bersih yang diperoleh hingga kuartier ke-12 secara umum mengalami *trend* positif dengan peningkatan signifikan kemudian menurun di kuartier selanjutnya. *Trend* penurunan laba ini disebabkan karena meningkatnya berbagai komponen biaya pada PDAM Kota Malang.

Tabel 4.14  
Jumlah Pendapatan Air PDAM Kota Malang (juta rupiah)

Periode	Aktual	Simulasi	Periode	Aktual	Simulasi
qt1	25.584	24.632	qt15	39.030	40.820
qt2	25.370	24.532	qt16	40.649	37.954
qt3	26.141	26.037	qt17	39.308	39.846
qt4	27.589	27.024	qt18	41.046	41.711
qt5	26.210	26.699	qt19	41.570	41.347
qt6	27.256	29.472	qt20	41.925	43.746
qt7	28.281	31.126	qt21	43.727	47.199
qt8	28.287	33.869	qt22	44.102	44.092
qt9	35.958	36.179	qt23	45.273	44.512
qt10	37.185	38.916	qt24	45.696	43.760
qt11	38.004	39.108	qt25	44.744	42.866
qt12	38.802	40.354	qt26	45.726	42.421
qt13	38.225	38.425	qt27	46.254	43.202
qt14	39.015	38.461	qt28	46.712	43.110

Tabel 4.15  
Jumlah Laba PDAM Kota Malang (juta rupiah)

Periode	Aktual	Simulasi
2010	15311	11.717
2011	12739	17.721
2012	33212	32.811
2013	28561	22.339
2014	19056	18.453
2015	22639	21.174
2016	22903	17.490



Gambar 4.19 Grafik pendapatan air

#### 4.6.3 Validasi Model Dasar

Validasi model adalah suatu cara yang dilakukan untuk melakukan pengecekan apakah model simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi dengan data yang diperoleh dari pihak perusahaan atau dalam hal ini adalah PDAM Kota Malang. Hal ini dilakukan untuk membuktikan secara nyata bahwa data simulasi telah sesuai dengan data perusahaan sehingga model yang dibuat dapat dinyatakan telah valid. Pada penelitian ini cara validasi yang digunakan adalah *behaviour validity test*, yaitu fungsi yang digunakan untuk memeriksa kemampuan model yang dibangun dalam menghasilkan tingkah laku (*behaviour*) output yang diterima. Terdapat dua macam pengujian dalam validasi dengan cara ini yaitu dengan menghitung perbandingan rata-rata dan perbandingan variasi amplitudo. Menurut Barlas (1994), pada pengujian dengan perbandingan rata-rata suatu model dikatakan valid apabila memiliki tingkat *error* kurang dari 5% , sedangkan pada pengujian dengan perbandingan variasi amplitudo model dikatakan valid apabila memiliki variasi *error* kurang dari 30%.. Perhitungan tingkat *error* dapat dilihat pada persamaan 4-1 untuk perbandingan rata-rata dan persamaan 4-2 untuk perbandingan variasi amplitudo.

$$\text{Tingkat error} = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (4-1)$$

Keterangan :

$\bar{S}$  = rata-rata hasil simulasi

$\bar{A}$  = rata-rata data aktual

$$\text{Tingkat error} = \frac{|S_s - S_a|}{S_a} \quad (4-2)$$

Keterangan :

Ss = standar deviasi model simulasi

Sa = standar deviasi data aktual

Berikut merupakan hasil perhitungan tingkat *error* menggunakan perbandingan rata-rata dan perbandingan variansi amplitudo pada data hasil simulasi:

1. Jumlah Pelanggan

$$Error \text{ Rata-Rata} = \frac{|122.375 - 121.195|}{121.195} \times 100\% = 0,97 \%$$

$$Error \text{ Variansi} = \frac{|15.829 - 20.392|}{20.392} \times 100\% = 22,37 \%$$

2. Kebutuhan Air

$$Error \text{ Rata-Rata} = \frac{|919 - 926|}{926} \times 100\% = 0,72 \%$$

$$Error \text{ Variansi} = \frac{|72 - 78|}{78} \times 100\% = 7,39 \%$$

3. Volume Air yang Terjual

$$Error \text{ Rata-Rata} = \frac{|7.623.035 - 7.680.168|}{7.680.168} \times 100\% = 0,74 \%$$

$$Error \text{ Variansi} = \frac{|827.610 - 885.551|}{885.551} \times 100\% = 6,54 \%$$

4. Kebutuhan Produksi

$$Error \text{ Rata-Rata} = \frac{|1320 - 1329|}{1329} \times 100\% = 0,72 \%$$

$$Error \text{ Variansi} = \frac{|49 - 63|}{63} \times 100\% = 21,39 \%$$

5. Pendapatan Air

$$Error \text{ Rata-Rata} = \frac{|37.551 - 37.417|}{37.417} \times 100\% = 0,35\%$$

$$Error \text{ Variansi} = \frac{|6.701 - 7274|}{7274} \times 100\% = 7,88 \%$$

6. Laba

$$Error \text{ Rata-Rata} = \frac{|21.665 - 22.060|}{22.060} \times 100\% = 1,79\%$$

$$Error \text{ Variansi} = \frac{|6.012,47 - 6.645,40|}{6.645,40} \times 100\% = 9,5 \%$$

Hasil perhitungan ke enam variabel yang dianggap mampu mewakili sistem penyediaan air bersih Kota Malang di atas menunjukkan bahwa nilai *error* rata-rata dan nilai *error* variansi variabel-variabel tersebut lebih kecil dari nilai standar yang disyaratkan yaitu 5% dan 30%. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwasannya model yang dibuat peneliti pada sistem penyediaan air bersih PDAM Kota Malang mampu merepresentasikan sistem nyata.

## 4.7 Pembuatan Skenario

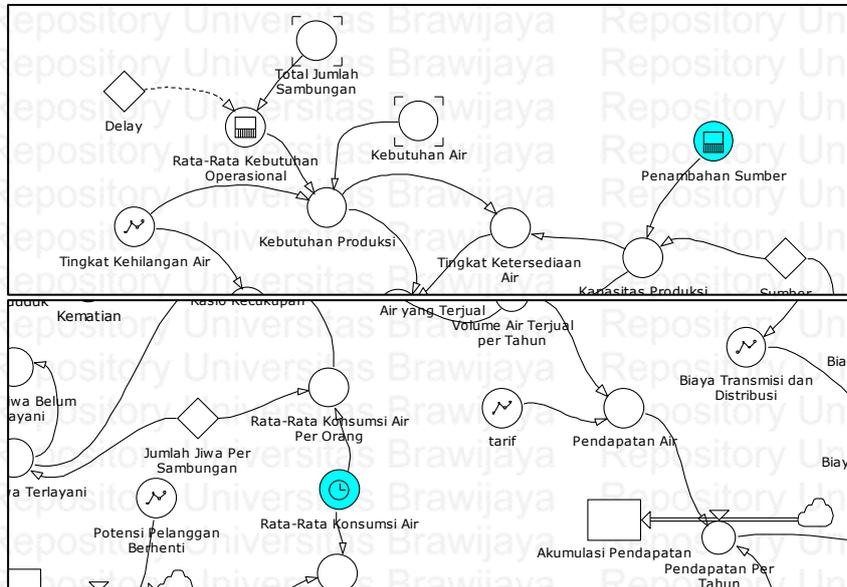
Langkah yang perlu dilakukan setelah model dasar yang dibuat terverifikasi dan tervalidasi adalah membuat skenario simulasi. Skenario dapat dibuat dengan cara mengubah beberapa parameter yang memiliki pengaruh terhadap keseluruhan model dasar (Salama dan Suryani, 2014). Perubahan tersebut kemudian akan berdampak pada variabel lainnya. Hal tersebut dilakukan guna menggambarkan berbagai kemungkinan yang akan terjadi di masa mendatang baik secara optimis, pesimis maupun rata-rata sering terjadi (*most likely*). Seluruh skenario yang dibuat akan merangkum sistem penyediaan air bersih mulai dari tahun 2010 hingga tahun 2040 atau selama 124 kuartar. Hal ini disesuaikan dengan perencanaan strategis jangka panjang yang dibuat setiap 15 tahun sekali sehingga analisis skenario ini merangkum dua kali periode perencanaan strategis.

### 4.7.1 Pengembangan dan Analisis Skenario Optimis

Skenario optimis ini dibangun pada beberapa perubahan parameter variabel dalam model dasar. Perubahan parameter tersebut didasarkan pada beberapa kemungkinan kebijakan yang diambil oleh PDAM Kota Malang. Skenario ini bertujuan untuk mencari tahu respon ketersediaan air terhadap kebutuhan pelanggan dalam kebijakan tersebut serta besaran nilai kapasitas produksi yang harus ditambahkan jika terjadi kekurangan air serta estimasi tahun untuk melaksanakan penambahan kapasitas tersebut guna menjamin kontinuitas *supplai* air hingga tahun 2040.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari PDAM Kota Malang sesuai yang tertuang dalam Rencana Induk PDAM Kota Malang Tahun 2014-2028, PDAM Kota Malang berencana untuk membangun dan mengelola sumber-sumber air baru, yang terdiri dari Sumber Pitu, Sumber Merjosari, Sumur Genting, Sumur Balearjosari, Sumur Block Office dan Sumur Kantor PDAM. Selain itu PDAM kota Malang juga memiliki rencana terkait pengelolaan Sumber Cinde yang ditujukan untuk mendukung *suplai* air dari Sumber Banyuning. Enam sumber baru tersebut akan meningkatkan kapasitas produksi sebesar 500 liter per detik dan ditambah pula dengan 40 liter/detik dari sumber Cinde. Sumber Pitu, Sumber Merjosari, Sumur Genting, Sumur Balearjosari, Sumur *Block Office*, Sumur Kantor PDAM serta sumur Cinde direncanakan akan beroperasi penuh pada tahun 2018. Pada skenario ini peningkatan ini terjadi pada kuartar awal tahun 2018. Rata-rata konsumsi air yang digunakan pada skenario ini adalah 17 m<sup>3</sup>/bulan/SR. Angka tersebut merupakan rata-rata konsumsi air terendah selama tujuh tahun terakhir. Adanya kecenderungan penurunan konsumsi air bersih dipengaruhi salah satunya oleh aspek

teknologi misalnya penggunaan *shower* di kamar mandi yang mengurangi kebutuhan air untuk mandi, ataupun sistem penyediaan tandon di rumah (PDAM Kota Malang, 2014). Pada tabel 4.16 merupakan persamaan dari skenario optimis dan gambar 4.20 menunjukkan perubahan baik struktur maupun parameter pada skenario optimis.



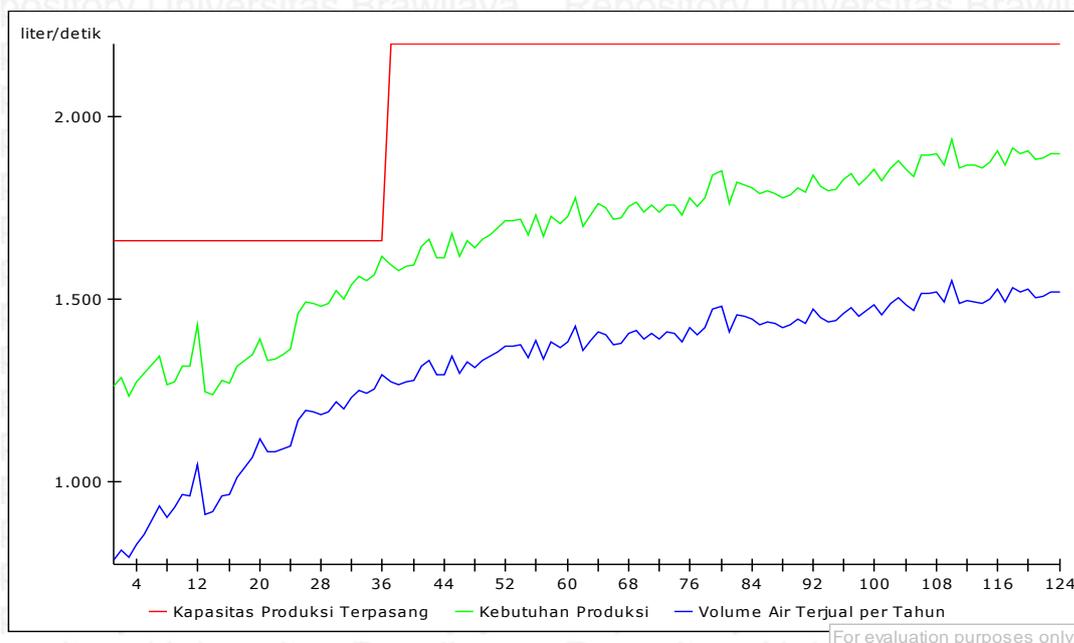
Gambar 4.20 Stock and Flow skenario optimis

Tabel 4.16  
Persamaan Variabel yang Digunakan Pada Skenario Optimis

Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Penambahan Sumber	Auxiliary	$X_{36} = 540$	DELAYPPL(540<<liter/detik >>;36;0<<liter/detik>>)	liter/detik
Sumber	Constant	$X = 1660$	1660	liter/detik
Kapasitas Produksi Terpasang	Auxiliary	$= \text{Sumber} + \text{Penambahan Sumber}$	Sumber + Penambahan Sumber	m <sup>3</sup> /qt
Rata-Rata Konsumsi Air	Auxiliary	$X_{1..12} = 21; X_{13..16} = 17; X_{17..24} = 18; X_{25..28} = 17$	(21+STEP(-4;13)+STEP(1;17)+STEP(-1;25))*1<<m <sup>3</sup> /SR/bulan>>	m <sup>3</sup> /SR/bulan

Hasil dari simulasi skenario optimis menunjukkan bahwa hingga tahun 2040 kebutuhan produksi air masih dapat dipenuhi sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.21. Pada akhir periode simulasi tercatat bahwa kebutuhan produksi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air pelanggan dengan mengingat terdapatnya angka kehilangan air adalah sebesar 1899,15 liter/detik. Angka tersebut masih dibawah kapasitas produksi terpasang yang berada pada angka 2.200 liter/detik. Selisih antara kebutuhan produksi dengan kapasitas terpasang adalah 310,45 liter/detik seperti tertera pada Tabel 4.17. Dapat disimpulkan pula bahwasannya, dengan asumsi parameter dalam skenario optimis,

penambahan kapasitas yang berasal dari Sumber Pitu, Sumber Merjosari, Sumur Genting, Sumur Balearjosari, Sumur *Block Office*, Sumur Kantor PDAM serta Sumur Cinde akan mampu mengatasi pertambahan kebutuhan air selama 88 periode atau selama 22 tahun. Skenario ini menunjukkan bahwa selepas tahun 2040 kapasitas terpasang dari PDAM Kota Malang masih dapat memenuhi permintaan air kedepannya tanpa dibutuhkan penambahan sumber sebelum tahun 2040.



Gambar 4.21 Grafik hasil skenario optimis

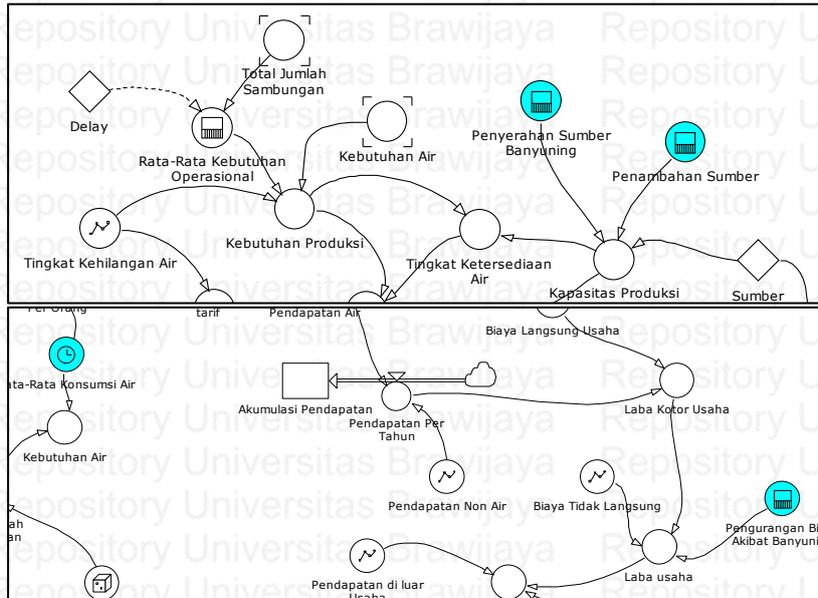
Tabel 4.17  
Hasil Skenario Optimis

<b>Controlled Variabel</b>	
Penambahan Kapasitas	540 liter/detik pada kuartar ke-37
Rata-Rata Konsumsi	17 m <sup>3</sup> /SR/bulan
<b>Response Variabel</b>	
Kapasitas Terpasang	2200 liter/detik
Kebutuhan Produksi Akhir Periode	1889,15 liter/detik
Periode Kekurangan Air	-
Periode tanpa Kekurangan Air Setelah Tambah Kapasitas	88 kuartar
Selisih Kapasitas Akhir Periode	310,45 liter/detik
Pendapatan Air Akhir Periode	Rp 60.738.270.000,00
Laba Akhir Periode	RP 13.911.910.000,00

#### 4.7.2 Pengembangan dan Analisis Skenario Skenario *Most Likely*

Skenario ini serupa pula dengan dua skenario lainnya terkait dengan penambahan jumlah sumber. Pada skenario ini kebijakan penyerahan Sumber Banyuning ke PDAM Kota Batu diterapkan pula. Kendati demikian, pada skenario ini penyerahan sumber Banyuning akan dilaksanakan pada perkiraan pelaksanaan paling lambat yaitu tahun 2020. Sehingga pada skenario ini juga terjadi pengurangan biaya tidak langsung

dikarenakan PDAM Kota Malang tidak perlu membayangi Rp 200 per liter ke Pemerintah Kota Malang. Pada skenario ini rata-rata konsumsi air yang digunakan adalah 18 m<sup>3</sup>/bulan/SR. Angka tersebut merupakan rata-rata konsumsi air selama tujuh tahun terakhir. Seperti yang telah dijelaskan pada skenario optimis, adanya kecenderungan penurunan konsumsi air bersih dipengaruhi salah satunya oleh aspek teknologi. Pada tabel 4.18 diperlihatkan persamaan dari skenario pesimis dan gambar 4.22 yang menunjukkan perubahan baik struktur maupun parameter pada skenario pesimis.



Gambar 4.22 Stock and Flow skenario most-likely

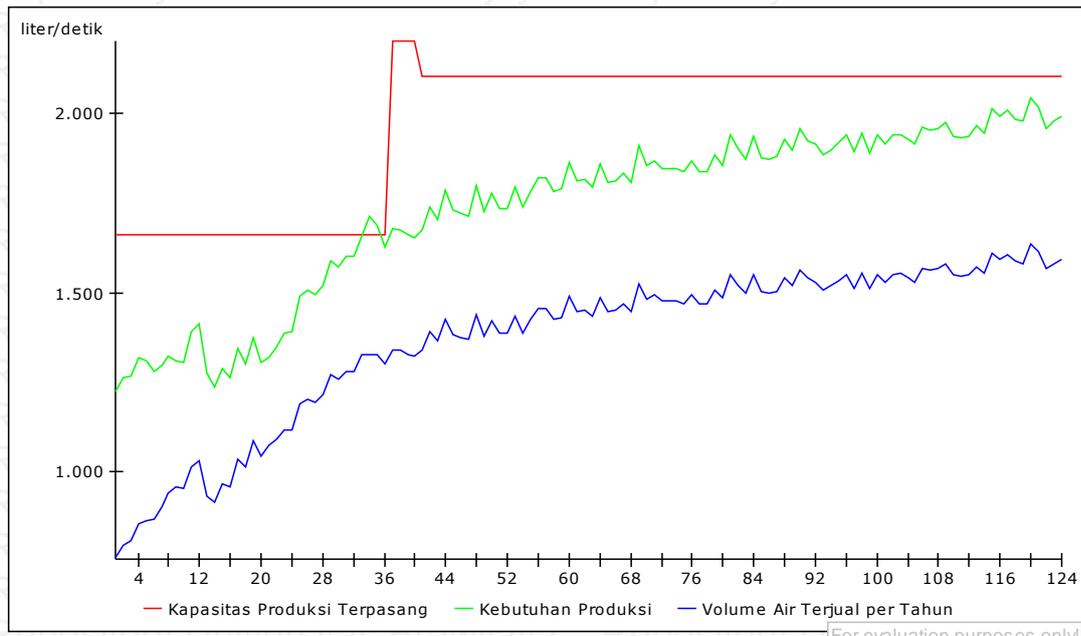
Tabel 4.18  
Persamaan Variabel yang Digunakan Pada Skenario Most-Likely

Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Penambahan Sumber	Auxiliary	$X_{36} = 540$	$DELAYPPL(540 \ll \text{liter/detik} \gg; 36; 0 \ll \text{liter/detik} \gg)$	liter/detik
Penyerahan Sumber Banyuning	Auxiliary	$40 = 100$	$DELAYPPL(100 \ll \text{liter/detik} \gg; 40; 0 \ll \text{liter/detik} \gg)$	liter/detik
Sumber	Constant	$X = 1660$	1660	liter/detik
Kapasitas Produksi Terpasang	Auxiliary	$= \text{Sumber} + \text{Penambahan Sumber} - \text{Penyerahan Sumber Banyuning}$	$\text{Sumber} + \text{Penambahan Sumber} - \text{Penyerahan Sumber Banyuning}$	m <sup>3</sup> /qt
Rata-Rata Konsumsi Air	Auxiliary	$X_{1..12} = 21; X_{13..16} = 17; X_{17..24} = 18; X_{25..28} = 17; X_{29..124} = 18$	$(21 + STEP(-4; 13) + STEP(1; 17) + STEP(-1; 25) + STEP(1; 29)) * 1 \ll \text{m}^3/\text{SR}/\text{bulan} \gg$	m <sup>3</sup> /SR/bulan
Pengurangan Biaya Akibat Banyuning	Auxiliary	$X_{40} = 630,72$	$DELAYPPL(630,72 \ll \text{juta} \gg; 40; 0 \ll \text{juta} \gg)$	juta
Laba Usaha	Auxiliary	$= \text{Laba Kotor Usaha} - \text{Biaya Tidak Langsung} + \text{Pengurangan Biaya Akibat Banyuning}$	$\text{Laba Kotor Usaha} - \text{Biaya Tidak Langsung} + \text{Pengurangan Biaya Akibat Banyuning}$	juta

Hasil dari skenario *most-likely* menunjukkan bahwa dengan asumsi parameter di skenario ini secara umum kapasitas produksi terpasang masih dapat mengimbangi kebutuhan distribusi air dari PDAM yang ditunjukkan dengan pertumbuhan kapasitas produksi terpakai. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.23. Tercatat bahwa terjadi kekurangan air baku mulai dari kuartar ke-36 yaitu akhir tahun 2019 sebelum terjadi penambahan kapasitas air sebesar 540 liter/detik pada kuartar ke-37. Pada kuartar ke-36 tersebut selisih antara kapasitas produksi terpakai dan kapasitas produksi berada pada angka 24 liter/detik. Angka ini dinilai relatif kecil jika dibandingkan dengan kekurangan air pada periode yang sama dalam skenario pesimis. Hal ini terjadi selain karena angka kebutuhan air yang lebih kecil yaitu 18 m<sup>3</sup>/bulan/SR. Kekurangan air baku tersebut diperkirakan terjadi karena penyerahan sumber Banyuning kepada Pemerintah Kota Batu. Dengan angka kebutuhan air yang demikian penambahan kapasitas sebesar 540 liter perdetik dapat mengimbangi proyeksi pertumbuhan kapasitas terpakai selama delapan puluh delapan kuartar yaitu dari kuartar ke-37 hingga kuartar ke-124 atau selama 22 tahun. Hingga tahun 2040 atau kuartar ke-124 angka proyeksi kebutuhan produksi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan adalah 1991,52 liter/detik. Angka kebutuhan kapasitas tersebut 101,48 angka lebih rendah dari kapasitas yang dimiliki oleh PDAM Kota Malang yang berada pada angka 2.100 liter/detik. Pada skenario ini penambahan kapasitas terpasang sebesar 540 liter/detik mampu mengimbangi laju kebutuhan produksi walaupun dengan pengurangan kapasitas akibat penyerahan sumber Banyuning ke Batu. Penyerahan sumber Banyuning sebenarnya memiliki dampak positif yaitu menurunkan biaya tidak langsung yang menyebabkan peningkatan laba bersih sejumlah Rp 630.720.000 mulai dari kuartar ke-41.

Tabel 4.19  
Hasil Skenario *Most-Likely*

<b>Controlled Variabel</b>	
Penambahan Kapasitas	540 liter/detik pada kuartar ke-37
Rata-Rata Konsumsi	18 m <sup>3</sup> /SR/bulan
Pengurangan Kapasitas	100 liter/detik pada kuartar ke-41
<b>Response Variabel</b>	
Kapasitas Terpasang	2100 liter/detik
Kebutuhan Produksi Akhir Periode	1991,52 liter/detik
Periode Kekurangan Air	2 kuartar
Periode tanpa Kekurangan Air Setelah Tambah Kapasitas	88 kuartar
Selisih Kapasitas Akhir Periode	101,48 liter/detik
Pendapatan Air Akhir Periode	Rp 63.692.220.000,00
Laba Akhir Periode	Rp 16.040.990.000,00



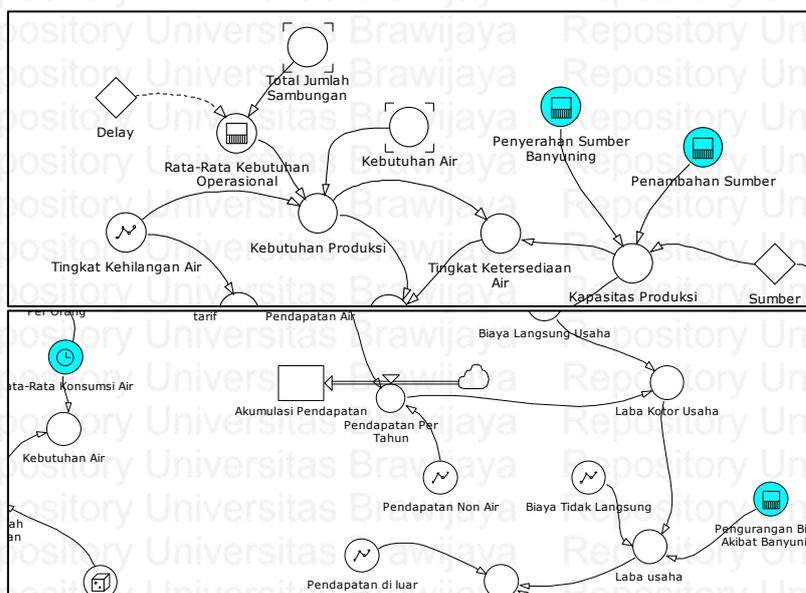
Gambar 4.23 Grafik hasil skenario *most-likely*

#### 4.7.3 Pengembangan dan Analisis Skenario Pesimis

Skenario ini memiliki tujuan serupa dengan skenario optimis. Skenario ini dibangun dengan parameter penambahan sumber serupa dengan skenario optimis yakni penambahan 540 liter/detik pada tahun 2018. Hal yang membedakan adalah pada skenario pesimis ini penambahan kapasitas terjadi pada kuartel akhir tahun 2018. Selain itu pada skenario ini terdapat penerapan rencana kebijakan penyerahan Sumber Banyuning ke PDAM Kota Batu. Menurut Perwakilan Bagian Penelitian dan Pengembangan, Bapak Fauzan, Sumber Banyuning sebenarnya merupakan substitusi dari Sumber Pitu, sehingga jika Sumber Pitu sudah beroperasi maka Sumber Banyuning direncanakan akan diserahkan pada Pihak PDAM Kota Batu dengan maksud agar PDAM Kota Batu dapat memberi pelayanan dengan lebih maksimal. Penyerahan Sumber Banyuning diproyeksikan akan berlangsung paling cepat pada tahun 2019. Penyerahan Sumber Banyuning akan mengakibatkan hilangnya kapasitas sumber PDAM sebesar 100 liter/detik, namun terjadi pula pengurangan biaya tidak langsung. Pengurangan tersebut terjadi karena PDAM Kota Malang tidak perlu lagi membayar kompensasi pemakaian sumber Banyuning ke Pemerintah Kota Batu senilai Rp 200 per liter. Pada skenario ini rata-rata konsumsi air yang digunakan adalah 21 m<sup>3</sup>/bulan/SR. Angka tersebut merupakan rata-rata konsumsi air tertinggi selama tujuh tahun terakhir. Pada tabel 4.20 diperlihatkan persamaan dari skenario pesimis dan gambar 4.24 yang menunjukkan perubahan baik struktur maupun parameter pada skenario pesimis.

Tabel 4.20  
Persamaan Variabel yang Digunakan Pada Skenario Pesimis

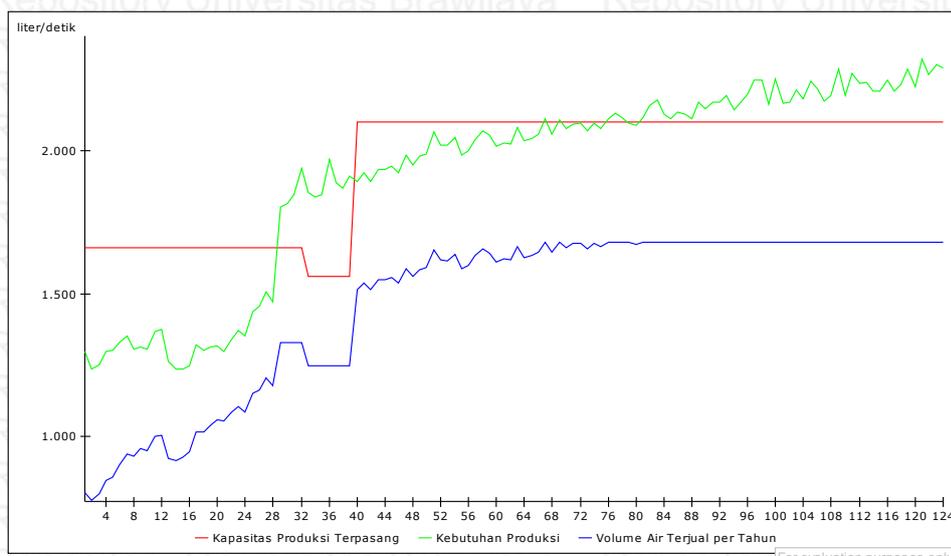
Variabel	Jenis Variabel	Persamaan Matematis	Definition	Satuan
Penambahan Sumber	Auxiliary	$X_{39} = 540$	DELAYPPL(540<<liter/detik>>; 39;0<<liter/detik>>)	liter/detik
Penyerahan Sumber Banyuning	Auxiliary	$X_{32} = 100$	DELAYPPL(100<<liter/detik>>; 32;0<<liter/detik>>)	liter/detik
Sumber	Constant	$X = 1660$	1660	liter/detik
Kapasitas Produksi Terpasang	Auxiliary	= Sumber + Penambahan Sumber - Penyerahan Sumber Banyuning	Sumber + Penambahan Sumber - Penyerahan Sumber Banyuning	m3/qt
Rata-Rata Konsumsi Air	Auxiliary	$X_{1..12} = 21; X_{13..16} = 17; X_{17..24} = 18; X_{25..28} = 17; X_{29..124} = 21$	(21+STEP(-4;13)+STEP(1;17)+STEP(-1;25)+STEP(4;29)) * 1<<m3/SR/bulan>>	m3/SR/bulan
Pengurangan Biaya Akibat Banyuning	Auxiliary	$X_{32} = 630,72$	DELAYPPL(630,72<<juta>>;32;0<<juta>>)	juta
Laba Usaha	Auxiliary	= Laba Kotor Usaha - Biaya Tidak Langsung + Pengurangan Biaya Akibat Banyuning	Laba Kotor Usaha - Biaya Tidak Langsung + Pengurangan Biaya Akibat Banyuning	juta



Gambar 4.24 Stock and Flow skenario pesimis

Hasil dari simulasi pesimis menunjukkan bahwa dengan asumsi parameter pada skenario ini secara umum kapasitas produksi terpasang tidak dapat mengimbangi kebutuhan pelanggan dari PDAM yang ditunjukkan dengan pertumbuhan kebutuhan produksi. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.25. Tercatat bahwa terjadi kekurangan air baku mulai dari kuartar ke-29 hingga kuartar ke-39 atau dari awal tahun 2017 hingga akhir tahun 2019 sebelum terjadi penambahan kapasitas air sebesar 540 liter/detik. Pada akhir tahun 2019

selisih antara kapasitas produksi terpakai dan kapasitas produksi berada pada angka 339,49 liter/detik. Hal ini terjadi selain karena angka kebutuhan air yang berada pada 21 m<sup>3</sup>/bulan/SR juga diperparah oleh adanya penyerahan sumber Banyuning kepada Pemerintah Kota Batu. Dengan angka kebutuhan air yang demikian penambahan kapasitas sebesar 540 liter perdetik dapat mengimbangi proyeksi pertumbuhan kapasitas terpakai selama dua puluh lima kuartar yaitu dari kuartar ke-40 hingga kuartar ke-64, selebihnya terjadi kekurangan air baku hingga akhir periode simulasi. Hingga tahun 2040 atau kuartar ke-124 angka proyeksi kebutuhan produksi air bersih di PDAM Kota Malang adalah 2.290,03 liter/detik. Angka kebutuhan kapasitas tersebut 190,03 angka lebih tinggi dari kapasitas yang dimiliki oleh PDAM Kota Malang yang berada pada angka 2100 liter/detik. Pada skenario ini harus dilakukan penambahan kapasitas terpasang sekurang-kurangnya 190,03 liter/detik pada kuartar ke-67 untuk menjamin kecukupan produksi hingga tahun 2040 mendatang. Pada skenario ini penyerahan sumber Banyuning berdampak positif yaitu menurunkan biaya tidak langsung sejumlah 630,72 juta mulai dari kuartar ke-33.



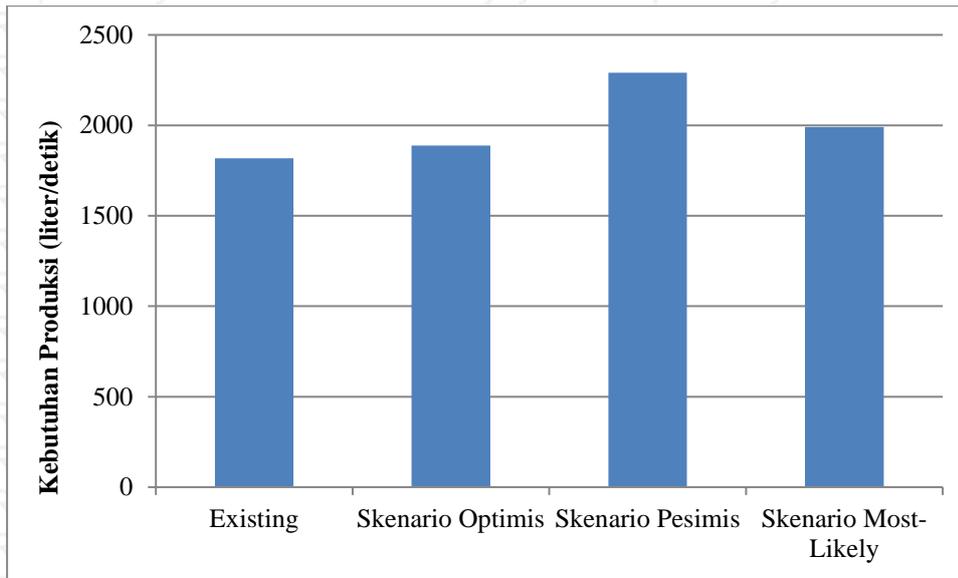
Gambar 4.25 Grafik hasil skenario pesimis

Tabel 4.21  
Hasil Skenario Pesimis

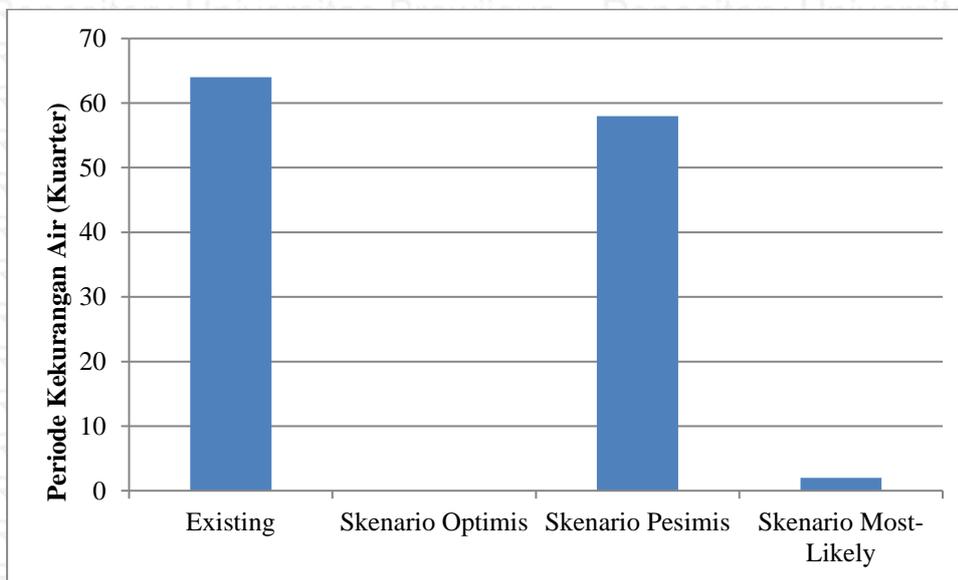
<b>Controlled Variabel</b>	
Penambahan Kapasitas	540 liter/detik pada kuartar ke-40
Rata-Rata Konsumsi	21 m <sup>3</sup> /SR/bulan
Pengurangan Kapasitas	100 liter/detik pada kuartar ke-33
<b>Response Variabel</b>	
Kapasitas Terpasang	2100 liter/detik
Kebutuhan Produksi Akhir Periode	2290,03 liter/detik
Periode Kekurangan Air	58 kuartar
Periode tanpa Kekurangan Air Setelah Tambah Kapasitas	74 kuartar
Selisih Kapasitas Akhir Periode	-190, 03 liter/detik
Pendapatan Air Akhir Periode	Rp 67.161750.000,00
Laba Akhir Periode	RP 18.008.290.000,00

#### 4.8 Analisis Hasil Skenario

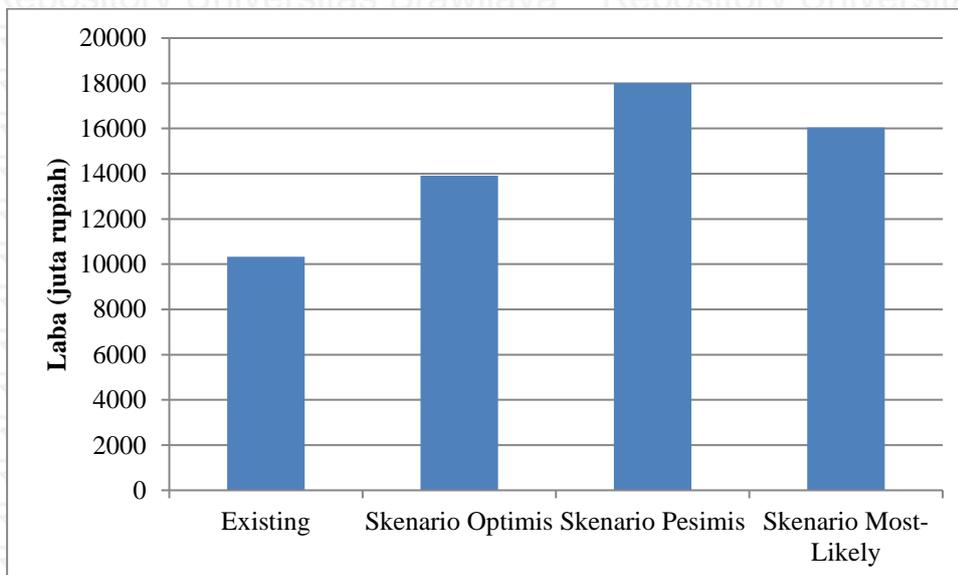
Berdasarkan hasil simulasi skenario optimis, pesimis dan *most-likely*, diketahui bahwa terdapat perbedaan respon ketersediaan air terhadap kebijakan pada masing-masing skenario. Pada skenario optimis kebutuhan akhir periode meningkat 3,9%. Pada skenario ini tidak terjadi kekurangan air sedangkan laba meningkat 34,7% dari kondisi *existing*. Pada skenario pesimis kebutuhan produksi pada akhir periode meningkat 25,9%, total periode dengan kekurangan air turun 9,37 % sedangkan laba naik 74,39%. Pada skenario *most-likely* kebutuhan produksi akhir periode naik 9,5%, total periode dengan kekurangan air turun 98,87% dan laba naik 55,34% dari kondisi *existing*. Pada seluruh skenario periode kekurangan air turun dari kondisi semula hal ini disebabkan oleh adanya penambahan kapasitas terpasang walaupun pada skenario pesimis dan *most-likely* terjadi penurunan kapasitas terpasang karena penyerahan Sumber Banyuning ke PDAM Kota Batu namun total kapasitas terpasang pada ketiga skenario tetap lebih besar dari kondisi *existing*. Perbandingan tiap skenario ditampilkan dalam grafik pada Gambar 2.26 hingga Gambar 2.28. Berdasarkan skenario optimis dan *most-likely* yang telah dianalisis maka penambahan kapasitas senilai 540 liter/detik dinilai mampu mengimbangi kebutuhan pelanggan walaupun terdapat pengurangan kapasitas senilai 100 liter/detik seperti pada skenario *most-likely*. Laba akhir periode pada skenario pesimis memang lebih besar dari pada dua skenario lainnya, hal ini dikarenakan pada skenario ini memakai rata-rata kebutuhan tertinggi yang menyebabkan jumlah air yang terjual lebih besar selain itu di skenario pesimis dan skenario *most-likely* juga terdapat pengurangan biaya tidak langsung yang meningkatkan laba bersih. Berdasarkan skenario yang telah dianalisis maka pihak PDAM Kota Malang dapat melakukan perencanaan terkait kebijakan penyediaan air bersih kedepannya.



Gambar 4.26 Kebutuhan produksi akhir periode tiap skenario



Gambar 4.27 Periode dengan kekurangan air tiap skenario



Gambar 4.28 Laba akhir periode tiap skenario

## BAB V PENUTUP

Pada Bab ini dibuat kesimpulan maupun saran sesuai dengan tujuan penelitian dan pembahasan dari Bab sebelumnya.

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan tujuan penelitian, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel yang relevan dengan dinamika sistem penyediaan air bersih di PDAM Kota Malang adalah pelanggan, dampak biaya, dampak pertumbuhan populasi, kebutuhan air, kebutuhan produksi, tingkat kehilangan air, kapasitas produksi terpasang, volume air yang terjual, tarif, pendapatan dan laba.
2. Variabel yang perlu ditambahkan untuk membuat skenario terkait analisis pengaruh kebijakan penambahan kapasitas dan penyerahan sumber Banyuning terhadap ketersediaan air PDAM Kota Malang adalah penambahan sumber, rata-rata konsumsi air, penyerahan sumber ke Banyuning yang didefinisikan sebagai pengurangan kapasitas serta variabel pengurangan biaya akibat penyerahan sumber Banyuning.
3. Berdasarkan hasil simulasi skenario optimis, pesimis dan *most-likely*, diketahui bahwa terdapat perbedaan respon ketersediaan air terhadap kebijakan pada masing-masing skenario. Pada skenario optimis kebutuhan akhir periode meningkat 3,9%. Pada skenario ini tidak terjadi kekurangan air sedangkan laba meningkat 34,7% dari kondisi *existing*. Pada skenario pesimis kebutuhan produksi pada akhir periode meningkat 25,9%, total periode dengan kekurangan air turun 9,37 % sedangkan laba naik 74,39%. Pada skenario *most-likely* kebutuhan produksi akhir periode naik 9,5%, total periode dengan kekurangan air turun 98,87% dan laba naik 55,34% dari kondisi *existing*. Berdasarkan skenario yang telah dianalisis maka pihak PDAM Kota Malang dapat melakukan perencanaan terkait kebijakan penyediaan air bersih kedepannya.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan depresiasi sumber akibat kondisi iklim dan berbagai sebab lainnya.
2. Perlu dilakukan analisis terkait tarif air per golongan pelanggan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Erma Suryani. 2014. Permodelan dan Simulasi untuk Meningkatkan Efektivitas dan Efisiensi Manajemen Distribusi Air menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol 1 No.1: hal 1-6.
- Andani, I Gusti Ayu. 2014. Peningkatan Penyediaan Air Bersih Perpipaan Kota Bandung dengan Pendekatan Pemodelan Dinamika Sistem. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota A SAPPK*. Vol 1 No 1: hal 69-78.
- Asghara, Ariya. 2007. Strategi Peningkatan Kapasitas Pelayanan Air Bersih Di Kota Bangko Kabupaten Merangin. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Program Pascasarjana Magister Teknik Pembangunan dan Kota Universitas Diponegoro Semarang.
- Bank Indonesia. 2017. Data Inflasi. <http://www.bi.go.id/id/moneter/inflasi/data.aspx> (diakses tanggal 2 Maret 2017).
- Banks, J., Carson, J. S. II, Nelson, B. L., & Nicol, D. M.. 2004. *Discrete-Event System Simulation Fourth Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Barlas, Y. 1994. Model Validation in System Dynamics. *International System Dynamic Conference*.
- Barlas, Y. 1996. Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics. *System Dynamic Review*. Vol 12 No 3: hal 183-211.
- Belobaba, Peter, Odoni, A., & Barnhart, Cynthia. 2009. *The Global Airline Industri*. USA: Wiley and Sons.
- Bodamer, Merlyn Yoseva. 2009. Identifikasi Sistem Transportasi Tebu di PTP. Nusntara II Kebun Helvetia Wilayah Helvetia. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Departemen Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- BPPSPAM. 2015. *Laporan Hasil Evaluasi Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Cooper, Donald R. dan C. William Emory. 1995. *Business Research Methods*. Chicago: Irwin.
- Eriyanto. 2003. *Analisis Wacana Pengantar Analisis Teks Media*. LKIS: Yogyakarta.
- Forrester, J. W.. 2009. *Some Basic Concepts in System Dynamics*. USA: McGraw-Hill.
- Forrester, J. W. 1994. System Dynamics, System Thinking and Soft OR. *System Dynamic Review*. Vol 10 No 2: hal 245-256.
- Forrester, J. W. & Senge, P. M.. 1980. Test for Building Confidence in System Dynamics Models. *Studies in the Management Sciences 14*. New York: North-Holland.hlm. 209-228.
- Forrester, J. W.. 1973. *World Dynamics*. (2nd ed.). Portland, OR: Productivity Press.hlm. 285.
- Kim, H. D.. 1992. Gudelines for Drawing Causal Loop Diagrams. *The System Thinker*. Vol 3 No 1.
- Law, A. M., & Kelton, W. D.. 2000. *Simulation Modelling and Analysis Third Edition*. New York: McGraw-Hill.

- Lyneis, J.. 2000. System Dynamic for Market Forecasting and Structural Analysis. *System Dynamics Review*. Vol 16: hal 3-25.
- McLucas, C. A. 2003. *Decision Making: Risk Management, Systems Thinking and Situation Awareness*, Canberra: Argos Press.
- Novanti, Cindy. 2011. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biaya Produksi pada PDAM Kabupaten Sukabumi. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Institut Pertanian Bogor.
- Park, Suwan, Vahideh Sahleh, So-Yeon Jung. 2015. A System Dynamics Computer Model to Assess the Effects of Developing an Alternate Water Source on the Water Supply Sytems Management. *Procedia Engineering 119*. 13<sup>th</sup> Computer Computer for Water Industry Conference, CCWI 2015. Hal 753-760.
- PDAM Kota Malang. 2014. *Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Pemerintah Kota Malang*. Malang: PDAM Kota Malang.
- PDAM Kota Malang. 2016. <http://www.pdamkotamalang.com/> (diakses tanggal 30 November 2016).
- Salama, U., Suryani, E.. 2014. Simulasi Sistem Dinamik Terhadap Analisis Faktor Pertumbuhan UKM Sektor Pertanian dan Pengaruhnya terhadap PDRB Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Teknik POMITS*.
- Sinulingga, Relli. 2014. Analisis Kepuasan Pelanggan Pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtasari di Kota Binjai. *Tesis*. Tidak Dipublikasikan. Program Studi Magister Studi Pembangunan Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Sumatera Utara.
- Sterman, D.J. 2000. *System Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: McGraw-Hill.
- Suryani, E, Chou, S.Y., & Chen, C.H.. 2010. Air Passanger Demand Forrcasting and Passanger Terminal Ccapacity Expansion: A System Dynamic Frame Work. *Expert Systems with Application*. Vol 37: Hal 2324-2339.
- System Dynamic Society. 2015. *Stock and Flow Diagram*. <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/stock.htm> (diakses tanggal 30 November 2016).

### Lampiran 1. Hasil Simulasi Skenario Optimis

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Laba Bersih (juta rupiah)
qt1	6082825,446	1660	1261,703805	24717,31789	2910,2473
qt2	6292822,488	1660	1284,543097	25502,95316	3050,6461
qt3	6146447,211	1660	1235,059641	24843,6323	2372,1393
qt4	6429513,213	1660	1272,062601	25918,62151	2676,91773
qt5	6645528,147	1660	1294,879378	26717,94718	2576,1504
qt6	6960350,894	1660	1321,190928	29689,55075	4145,06713
qt7	7262545,795	1660	1343,840815	32758,51169	5790,29015
qt8	7005307,325	1660	1264,404614	33315,10502	5972,52686
qt9	7225294,339	1660	1272,847669	36132,10742	7488,10813
qt10	7480522,415	1660	1317,449109	38131,27106	8161,7502
qt11	7475660,732	1660	1316,23237	38828,84349	8061,44802
qt12	8128567,271	1660	1430,797209	43005,50604	9991,71166
qt13	7065757,243	1660	1243,380127	38065,28334	6359,58364
qt14	7124604,34	1660	1237,688673	37878,45948	5410,28996
qt15	7450954,903	1660	1278,024585	39086,5955	5262,08211
qt16	7481329,116	1660	1267,21997	38716,85636	4202,39452
qt17	7865775,107	1660	1315,916681	40150,14898	4169,61073
qt18	8078200,926	1660	1332,132189	41236,60243	4509,47229
qt19	8288584,824	1660	1347,558572	42312,74479	4844,3107
qt20	8681253,97	1660	1391,780098	44319,60288	5712,55908
qt21	8418413,095	1660	1331,13839	42979,98076	4415,39198
qt22	8412457,514	1660	1335,657224	43024,51287	4298,22758
qt23	8459967,033	1660	1348,737028	43342,85604	4336,62171
qt24	8514124,73	1660	1362,989385	43696,1654	4393,53188
qt25	9073159,191	1660	1458,519674	46646,06408	5921,28595
qt26	9287420,081	1660	1492,962333	47747,60181	6545,88442
qt27	9247222,666	1660	1486,500557	47540,94269	6428,70371
qt28	9203026,721	1660	1479,396014	47313,72669	6299,86676
qt29	9246524,635	1660	1486,388348	47537,35403	6426,66886
qt30	9481043,92	1660	1524,087564	48743,0423	7110,3232
qt31	9325709,946	1660	1499,117468	47944,45403	6657,50438
qt32	9564684,47	1660	1537,532869	49173,04715	7354,14633
qt33	9706396,129	1660	1560,313164	49901,60167	7767,25432
qt34	9639653,087	1660	1549,584151	49558,46868	7572,68964
qt35	9747885,993	1660	1566,982702	50114,90542	7888,20269
qt36	10053951,88	1660	1616,183108	51688,42228	8780,42473
qt37	9902189,864	2200	1591,787208	50908,19782	8338,01863
qt38	9826581,799	2200	1579,633134	50519,48882	8117,61125
qt39	9881357,398	2200	1588,438368	50801,09593	8277,28927
qt40	9913735,352	2200	1593,643157	50967,55438	8371,67523
qt41	10229078,87	2200	1644,334952	52588,76853	9290,94278
qt42	10362472,74	2200	1665,778153	53274,56039	9679,80331
qt43	10036411,08	2200	1613,363406	51598,24317	8729,291
qt44	10033476,09	2200	1612,891604	51583,1541	8720,73513
qt45	10457595,01	2200	1681,069156	53763,59398	9957,09716
qt46	10066909,34	2200	1618,266033	51755,03794	8818,19741
qt47	10330342,37	2200	1660,613163	53109,37479	9586,13909
qt48	10204854,77	2200	1640,440904	52464,2299	9220,32637
qt49	10361336,19	2200	1665,595453	53268,7173	9676,49014
qt50	10432047,89	2200	1676,962431	53632,25359	9882,62399
qt51	10549543,84	2200	1695,850026	54236,31258	10225,14
qt52	10655250,3	2200	1712,842448	54779,76058	10533,2881

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Lab Bersih (juta rupiah)
qt53	10654958	2200	1712,79546	54778,25783	10532,436
qt54	10691960,2	2200	1718,743602	54968,49003	10640,3023
qt55	10423510,33	2200	1675,59001	53588,36108	9857,73588
qt56	10769464,76	2200	1731,202541	55366,94915	10866,2382
qt57	10396178,96	2200	1671,196464	53447,84764	9778,06136
qt58	10746910,19	2200	1727,57687	55250,99372	10800,4887
qt59	10627306,18	2200	1708,350402	54636,09694	10451,8274
qt60	10745796,68	2200	1727,397871	55245,26902	10797,2427
qt61	11068153,75	2200	1779,217102	56902,54057	11736,9556
qt62	10570422,14	2200	1699,206234	54343,65011	10286,003
qt63	10767175,52	2200	1730,834542	55355,1799	10859,5648
qt64	10968417,84	2200	1763,184452	56389,7878	11446,2124
qt65	10887332,93	2200	1750,149969	55972,92175	11209,8393
qt66	10696586,22	2200	1719,48724	54992,27292	10653,7878
qt67	10722128,42	2200	1723,593175	55123,58806	10728,2466
qt68	10919279,55	2200	1755,285422	56137,1627	11302,9679
qt69	10988499,71	2200	1766,412634	56493,03081	11504,7537
qt70	10808694,28	2200	1737,508725	55568,6322	10980,5974
qt71	10923571,38	2200	1755,975338	56159,22746	11315,4792
qt72	10818890,71	2200	1739,147812	55621,05313	11010,3213
qt73	10946427,96	2200	1759,649557	56276,73554	11382,1091
qt74	10932597,8	2200	1757,426345	56205,63324	11341,7923
qt75	10762887,11	2200	1730,145176	55333,13275	10847,0635
qt76	11052448,19	2200	1776,692417	56821,79666	11691,1719
qt77	10914358,98	2200	1754,494434	56111,8655	11288,6238
qt78	11056573,08	2200	1777,355498	56843,00317	11703,1965
qt79	11453481,41	2200	1841,158921	58883,55056	12860,2361
qt80	11509344,5	2200	1850,138969	59170,74855	13023,0843
qt81	10952031,83	2200	1760,550384	56305,54559	11398,4451
qt82	11312038,76	2200	1818,421869	58156,37904	12447,9123
qt83	11280836,06	2200	1813,406002	57995,96267	12356,9523
qt84	11231085,7	2200	1805,40858	57740,19082	12211,9235
qt85	11122982,41	2200	1788,030865	57184,42046	11896,7883
qt86	11182914,04	2200	1797,664937	57492,53529	12071,4969
qt87	11141200,51	2200	1790,959444	57278,08166	11949,8965
qt88	11064813,8	2200	1778,680202	56885,36956	11727,2192
qt89	11101810,82	2200	1784,627511	57075,57511	11835,0704
qt90	11234592,48	2200	1805,972299	57758,21956	12222,1463
qt91	11144033,17	2200	1791,414797	57292,64463	11958,154
qt92	11456109,38	2200	1841,581369	58897,0612	12867,897
qt93	11257860,71	2200	1809,712691	57877,84396	12289,9762
qt94	11185498,18	2200	1798,080339	57505,8206	12079,03
qt95	11211870,91	2200	1802,319784	57641,40561	12155,9099
qt96	11371019,31	2200	1827,903052	58459,60421	12619,8483
qt97	11468407,88	2200	1843,558365	58960,28907	12903,7487
qt98	11285140,75	2200	1814,097986	58018,09354	12369,5011
qt99	11403594,02	2200	1833,139471	58627,07424	12714,8078
qt100	11553178,66	2200	1857,185356	59396,10459	13150,8666
qt101	11336649,49	2200	1822,378069	58282,90538	12519,6558
qt102	11556981,67	2200	1857,796694	59415,65626	13161,9529
qt103	11690504,69	2200	1879,260656	60102,11211	13551,1899
qt104	11537701,47	2200	1854,697382	59316,53472	13105,7486
qt105	11415817,89	2200	1835,10447	58689,91842	12750,442
qt106	11776032,41	2200	1893,009325	60541,81909	13800,5144
qt107	11793129,3	2200	1895,757668	60629,71601	13850,354

<b>Periode (kuarter)</b>	<b>Volume Air Terjual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Kapasitas Terpasang (liter/detik)</b>	<b>Kebutuhan Produksi (liter/detik)</b>	<b>Pendapatan Air (juta rupiah)</b>	<b>Laba Bersih (juta rupiah)</b>
qt108	11810085,03	2200	1898,483319	60716,88719	13899,7822
qt109	11605886,12	2200	1865,658134	59667,07916	13304,5157
qt110	12042706,58	2200	1935,877472	61912,81901	14577,9044
qt111	11567722,54	2200	1859,5233	59470,87621	13193,2639
qt112	11615321,7	2200	1867,174913	59715,58846	13332,0217
qt113	11611057,11	2200	1866,489377	59693,66378	13319,5898
qt114	11573905,09	2200	1860,517151	59502,66133	13211,2868
qt115	11670980,96	2200	1876,122196	60001,73855	13494,2757
qt116	11860847,38	2200	1906,643418	60977,86175	14047,7611
qt117	11606183,96	2200	1865,706012	59668,61037	13305,384
qt118	11902736,82	2200	1913,377189	61193,21978	14169,8743
qt119	11818283,02	2200	1899,801154	60759,03391	13923,6804
qt120	11865448,52	2200	1907,383057	61001,51673	14061,174
qt121	11704625,27	2200	1881,530555	60174,70752	13592,3533
qt122	11732949,3	2200	1886,08367	60320,32429	13674,9215
qt123	11805349,15	2200	1897,722021	60692,53954	13885,9765
qt124	11814244,28	2200	1899,151922	60738,27032	13911,907

## Lampiran 2. Hasil Simulasi Skenario Pesimis

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Laba Bersih (juta rupiah)
qt1	6255728,752	1660	1297,567526	25419,90355	3306,96907
qt2	6048964,703	1660	1234,764825	24514,6695	2491,25609
qt3	6226000,042	1660	1251,04489	25165,18087	2554,5652
qt4	6563923,481	1660	1298,655326	26460,45552	2985,00618
qt5	6670773,035	1660	1299,798337	26819,44274	2633,98526
qt6	7007393,79	1660	1330,120456	29890,2134	4260,86247
qt7	7312917,174	1660	1353,161392	32985,71734	5922,88342
qt8	7231333,815	1660	1305,200674	34390,01807	6606,17404
qt9	7463860,731	1660	1314,87484	37325,12547	8197,79137
qt10	7403786,044	1660	1303,93451	37740,11451	7930,59664
qt11	7768399,645	1660	1367,774628	40349,33965	8954,25773
qt12	7804064,122	1660	1373,677894	41288,6694	8989,83756
qt13	7179103,188	1660	1263,325915	38675,91081	6713,78821
qt14	7123240,394	1660	1237,451727	37871,20796	5406,10186
qt15	7215400,861	1660	1237,621193	37850,91421	4551,59412
qt16	7357708,582	1660	1246,280588	38077,10393	3836,23063
qt17	7897857,447	1660	1321,283944	40313,91043	4262,90098
qt18	7899339,448	1660	1302,637116	40323,57245	3988,54065
qt19	8067536,941	1660	1311,620595	41184,30817	4199,51191
qt20	8215745,647	1660	1317,149725	41943,0863	4352,6174
qt21	8197929,153	1660	1296,274974	41854,30595	3770,32226
qt22	8441056,257	1660	1340,197885	43170,77774	4381,82653
qt23	8604455,271	1660	1371,772181	44083,11104	4758,60889
qt24	8449711,329	1660	1352,677722	43365,58313	4205,58097
qt25	8945033,892	1660	1437,923401	45987,35847	5547,78397
qt26	9047836,086	1660	1454,448959	46515,87534	5847,46579
qt27	9363658,567	1660	1505,217748	48139,55188	6768,12957
qt28	9161094,988	1660	1472,655444	47098,15125	6177,63028
qt29	10326528	1660	1804,207367	53089,76473	9575,01972
qt30	10326528	1660	1815,689043	53089,76473	9575,01972
qt31	10326528	1660	1843,908249	53089,76473	9575,01972
qt32	10326528	1660	1940,212301	53089,76473	9575,01972
qt33	9704448	1560	1853,607741	49891,58614	8215,69367
qt34	9704448	1560	1839,697751	49891,58614	8215,69367
qt35	9704448	1560	1847,13199	49891,58614	8215,69367
qt36	9704448	1560	1969,470762	49891,58614	8215,69367
qt37	9704448	1560	1888,447344	49891,58614	8215,69367
qt38	9704448	1560	1870,827952	49891,58614	8215,69367
qt39	9704448	1560	1911,123697	49891,58614	8215,69367
qt40	11769792,83	2100	1892,006307	60509,74078	14236,4436
qt41	11958658,54	2100	1922,366664	61480,71923	14787,0118
qt42	11772220,98	2100	1892,396633	60522,22412	14243,5219
qt43	12031589	2100	1934,090309	61855,66234	14999,6136
qt44	12042002,69	2100	1935,764322	61909,20026	15029,9709
qt45	12103038,89	2100	1945,575954	62222,99377	15207,8994
qt46	11952594,56	2100	1921,391872	61449,54364	14769,3345
qt47	12347866,87	2100	1984,932303	63481,68011	15921,6049
qt48	12123207,32	2100	1948,81805	62326,68178	15266,693
qt49	12317572,46	2100	1980,062445	63325,93334	15833,2927
qt50	12382397,99	2100	1990,483216	63659,20823	16022,2676
qt51	12860426,29	2100	2067,326757	66116,8019	17415,7826
qt52	12567270,77	2100	2020,201705	64609,65858	16561,1959
qt53	12561321,9	2100	2019,245418	64579,07481	16543,8542

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Laba Bersih (juta rupiah)
qt54	12724598,13	2100	2045,49224	65418,49507	17019,8257
qt55	12354765,27	2100	1986,041227	63517,14548	15941,7146
qt56	12438459,68	2100	1999,495191	63947,42727	16185,6948
qt57	12693520,53	2100	2040,496485	65258,72187	16929,2305
qt58	12872031,01	2100	2069,192227	66176,46297	17449,6118
qt59	12775450,51	2100	2053,666813	65679,93248	17168,0671
qt60	12535717,92	2100	2015,129553	64447,44208	16469,2153
qt61	12602888,87	2100	2025,927352	64792,775	16665,0274
qt62	12587035,96	2100	2023,378981	64711,27353	16618,8141
qt63	12955566,46	2100	2082,620637	66605,92751	17693,1286
qt64	12652806,52	2100	2033,951665	65049,40684	16810,5438
qt65	12699731,13	2100	2041,494845	65290,65122	16947,3352
qt66	12798936,57	2100	2057,442221	65800,67678	17236,532
qt67	13063680	2100	2111,019889	67161,75057	18008,2937
qt68	12800924,36	2100	2057,761761	65810,89625	17242,3267
qt69	13063680	2100	2107,637946	67161,75057	18008,2937
qt70	12919075,6	2100	2076,754693	66418,32415	17586,7529
qt71	13024337,49	2100	2093,675651	66959,48658	17893,6051
qt72	13031697,14	2100	2094,858723	66997,32333	17915,0595
qt73	12883524	2100	2071,039738	66235,54967	17483,1154
qt74	13040083,2	2100	2096,20679	67040,43694	17939,5059
qt75	12930861,15	2100	2078,649233	66478,91491	17621,1094
qt76	13063680	2100	2111,249991	67161,75057	18008,2937
qt77	13063680	2100	2132,136084	67161,75057	18008,2937
qt78	13063680	2100	2115,20581	67161,75057	18008,2937
qt79	13048153,13	2100	2097,504039	67081,92529	17963,0308
qt80	13001780,17	2100	2090,049539	66843,51705	17827,8476
qt81	13063680	2100	2114,686931	67161,75057	18008,2937
qt82	13063680	2100	2157,375299	67161,75057	18008,2937
qt83	13063680	2100	2179,651518	67161,75057	18008,2937
qt84	13063680	2100	2126,788428	67161,75057	18008,2937
qt85	13063680	2100	2113,306743	67161,75057	18008,2937
qt86	13063680	2100	2133,723425	67161,75057	18008,2937
qt87	13063680	2100	2127,107177	67161,75057	18008,2937
qt88	13063680	2100	2113,190223	67161,75057	18008,2937
qt89	13063680	2100	2170,204304	67161,75057	18008,2937
qt90	13063680	2100	2147,492043	67161,75057	18008,2937
qt91	13063680	2100	2170,534736	67161,75057	18008,2937
qt92	13063680	2100	2169,939412	67161,75057	18008,2937
qt93	13063680	2100	2192,367729	67161,75057	18008,2937
qt94	13063680	2100	2142,199215	67161,75057	18008,2937
qt95	13063680	2100	2170,947329	67161,75057	18008,2937
qt96	13063680	2100	2197,605193	67161,75057	18008,2937
qt97	13063680	2100	2246,62021	67161,75057	18008,2937
qt98	13063680	2100	2246,014093	67161,75057	18008,2937
qt99	13063680	2100	2162,550021	67161,75057	18008,2937
qt100	13063680	2100	2249,617256	67161,75057	18008,2937
qt101	13063680	2100	2167,229525	67161,75057	18008,2937
qt102	13063680	2100	2170,78666	67161,75057	18008,2937
qt103	13063680	2100	2213,154346	67161,75057	18008,2937
qt104	13063680	2100	2179,864	67161,75057	18008,2937
qt105	13063680	2100	2242,401757	67161,75057	18008,2937
qt106	13063680	2100	2217,331792	67161,75057	18008,2937
qt107	13063680	2100	2174,390392	67161,75057	18008,2937
qt108	13063680	2100	2193,425521	67161,75057	18008,2937

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Lab Bersih (juta rupiah)
qt109	13063680	2100	2286,44394	67161,75057	18008,2937
qt110	13063680	2100	2194,600527	67161,75057	18008,2937
qt111	13063680	2100	2270,471508	67161,75057	18008,2937
qt112	13063680	2100	2236,732617	67161,75057	18008,2937
qt113	13063680	2100	2239,658227	67161,75057	18008,2937
qt114	13063680	2100	2207,084168	67161,75057	18008,2937
qt115	13063680	2100	2207,136068	67161,75057	18008,2937
qt116	13063680	2100	2247,700165	67161,75057	18008,2937
qt117	13063680	2100	2208,086621	67161,75057	18008,2937
qt118	13063680	2100	2231,709265	67161,75057	18008,2937
qt119	13063680	2100	2284,455879	67161,75057	18008,2937
qt120	13063680	2100	2223,891555	67161,75057	18008,2937
qt121	13063680	2100	2319,553942	67161,75057	18008,2937
qt122	13063680	2100	2265,754259	67161,75057	18008,2937
qt123	13063680	2100	2302,864428	67161,75057	18008,2937
qt124	13063680	2100	2290,029049	67161,75057	18008,2937

### Lampiran 3. Hasil Simulasi Skenario *Most-Likely*

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Lab Bersih (juta rupiah)
qt1	5911773,866	1660	1226,2242	24022,26	2517,774
qt2	6195133,378	1660	1264,602	25107,05	2826,555
qt3	6300554,519	1660	1266,0258	25466,53	2725,529
qt4	6668239,452	1660	1319,294	26880,97	3224,114
qt5	6718750,715	1660	1309,1468	27012,33	2743,9
qt6	6749018,36	1660	1281,0765	28788,11	3624,875
qt7	7016694,681	1660	1298,3492	31649,57	5143,133
qt8	7335784,898	1660	1324,0533	34886,76	6898,994
qt9	7442108,793	1660	1311,0429	37216,35	8133,084
qt10	7417160,844	1660	1306,29	37808,29	7970,886
qt11	7891892,457	1660	1389,5179	40990,77	9330,892
qt12	8018398,872	1660	1411,4053	42422,64	9651,577
qt13	7262123,172	1660	1277,9352	39123,16	6973,225
qt14	7133812,322	1660	1239,2883	37927,41	5438,564
qt15	7522505,466	1660	1290,2973	39461,94	5477,896
qt16	7457085,326	1660	1263,1135	38591,39	4130,584
qt17	8044256,622	1660	1345,776	41061,19	4688,606
qt18	7899648,321	1660	1302,688	40325,15	3989,44
qt19	8458175,221	1660	1375,1306	43178,49	5339,008
qt20	8139937,896	1660	1304,9962	41556,07	4131,152
qt21	8346637,082	1660	1319,789	42613,53	4205,397
qt22	8493830,456	1660	1348,5769	43440,69	4536,094
qt23	8701546,826	1660	1387,2511	44580,54	5042,171
qt24	8692824,519	1660	1391,5967	44613,29	4914,957
qt25	9260041,408	1660	1488,5612	47606,85	6466,072
qt26	9368024,581	1660	1505,9196	48162	6780,857
qt27	9297143,62	1660	1494,5254	47797,59	6574,23
qt28	9461571,288	1660	1520,9573	48642,93	7053,558
qt29	9886704,535	1660	1589,2979	50828,59	8292,877
qt30	9784512,316	1660	1572,8704	50303,21	7994,973
qt31	9946773,425	1660	1598,9541	51137,41	8467,986
qt32	9947106,237	1660	1599,0076	51139,12	8468,956
qt33	10313246,74	1660	1657,865	53021,48	9536,303
qt34	10326528	1660	1712,3793	53089,76	9575,02
qt35	10326528	1660	1684,9105	53089,76	9575,02
qt36	10116402,4	1660	1626,2221	52009,49	8962,476
qt37	10435396,25	2200	1677,5007	53649,47	9892,385
qt38	10420221,95	2200	1675,0614	53571,46	9848,15
qt39	10325231,66	2200	1659,7916	53083,1	9571,241
qt40	10274696,83	2200	1651,6681	52823,3	9423,925
qt41	10410442,87	2100	1673,4894	53521,18	10273,76
qt42	10815504,49	2100	1738,6035	55603,64	11454,57
qt43	10606435,68	2100	1704,9954	54528,8	10845,11
qt44	11093357,35	2100	1783,2686	57032,11	12264,55
qt45	10763234,23	2100	1730,201	55334,92	11302,19
qt46	10694083,85	2100	1719,085	54979,41	11100,61
qt47	10648052,1	2100	1711,6853	54742,75	10966,42
qt48	11189826,64	2100	1798,7761	57528,07	12545,77
qt49	10728294,05	2100	1724,5843	55155,29	11200,34
qt50	11060602,86	2100	1778,0033	56863,72	12169,06
qt51	10793994,07	2100	1735,1457	55493,06	11391,86
qt52	10793784,3	2100	1735,1119	55491,98	11391,25
qt53	11159344,67	2100	1793,8761	57371,36	12456,91

Periode (kuarter)	Volume Air Terjual (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Terpasang (liter/detik)	Kebutuhan Produksi (liter/detik)	Pendapatan Air (juta rupiah)	Lab Bersih (juta rupiah)
qt54	10802010,3	2100	1736,4343	55534,27	11415,23
qt55	11086860,98	2100	1782,2243	56998,72	12245,61
qt56	11323234,06	2100	1820,2215	58213,94	12934,67
qt57	11326463,35	2100	1820,7406	58230,54	12944,08
qt58	11079164,67	2100	1780,9871	56959,15	12223,17
qt59	11129562,38	2100	1789,0886	57218,25	12370,09
qt60	11576381,93	2100	1860,9153	59515,4	13672,63
qt61	11262601,27	2100	1810,4747	57902,22	12757,91
qt62	11290842,78	2100	1815,0146	58047,41	12840,24
qt63	11147545,92	2100	1791,9795	57310,7	12422,51
qt64	11546087	2100	1856,0454	59359,65	13584,31
qt65	11237599,81	2100	1806,4557	57773,68	12685,03
qt66	11269443,56	2100	1811,5746	57937,39	12777,86
qt67	11402265,71	2100	1832,9259	58620,25	13165,05
qt68	11248708,48	2100	1808,2415	57830,79	12717,41
qt69	11864567,64	2100	1907,2415	60996,99	14512,72
qt70	11523623,72	2100	1852,4344	59244,16	13518,83
qt71	11612962,42	2100	1866,7957	59703,46	13779,26
qt72	11481157,83	2100	1845,6079	59025,84	13395,03
qt73	11470224,04	2100	1843,8503	58969,63	13363,16
qt74	11487664,6	2100	1846,6539	59059,29	13414
qt75	11430059,19	2100	1837,3938	58763,13	13246,08
qt76	11607269,57	2100	1865,8805	59674,19	13762,67
qt77	11411744,39	2100	1834,4497	58668,98	13192,69
qt78	11426498,21	2100	1836,8213	58744,83	13235,69
qt79	11709722,69	2100	1882,35	60200,91	14061,33
qt80	11540507	2100	1855,1484	59330,96	13568,05
qt81	12057511,76	2100	1938,2574	61988,93	15075,18
qt82	11833444,85	2100	1902,2384	60836,98	14422
qt83	11635648,91	2100	1870,4425	59820,09	13845,4
qt84	12040013,27	2100	1935,4445	61898,97	15024,17
qt85	11675852,05	2100	1876,9052	60026,78	13962,59
qt86	11640604,72	2100	1871,2392	59845,57	13859,84
qt87	11677464,24	2100	1877,1644	60035,07	13967,29
qt88	11976204,48	2100	1925,1872	61570,92	14838,16
qt89	11801936,03	2100	1897,1734	60674,99	14330,15
qt90	12166301,27	2100	1955,7454	62548,23	15392,32
qt91	11967426,22	2100	1923,7761	61525,79	14812,57
qt92	11897242,94	2100	1912,494	61164,98	14607,98
qt93	11723051,04	2100	1884,4925	60269,44	14100,19
qt94	11807964,98	2100	1898,1425	60705,99	14347,72
qt95	11917710,88	2100	1915,7843	61270,2	14667,64
qt96	12055940,78	2100	1938,0049	61980,86	15070,6
qt97	11763839,33	2100	1891,0493	60479,13	14219,09
qt98	12078919,14	2100	1941,6987	62098,99	15137,59
qt99	11748800,7	2100	1888,6318	60401,82	14175,25
qt100	12065865,75	2100	1939,6003	62031,88	15099,53
qt101	11894683,27	2100	1912,0826	61151,82	14600,52
qt102	12049341,79	2100	1936,9441	61946,93	15051,37
qt103	12068444,36	2100	1940,0148	62045,14	15107,05
qt104	11980308,1	2100	1925,8469	61592,02	14850,12
qt105	11899470,37	2100	1912,8521	61176,43	14614,47
qt106	12195390,59	2100	1960,4216	62697,78	15477,12
qt107	12140749,23	2100	1951,6379	62416,87	15317,83
qt108	12179099,16	2100	1957,8027	62614,03	15429,62

<b>Periode (kuarter)</b>	<b>Volume Air Terjual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Kapasitas Terpasang (liter/detik)</b>	<b>Kebutuhan Produksi (liter/detik)</b>	<b>Pendapatan Air (juta rupiah)</b>	<b>Laba Bersih (juta rupiah)</b>
qt109	12271103,74	2100	1972,5926	63087,03	15697,83
qt110	12035656,07	2100	1934,7441	61876,57	15011,47
qt111	12001853,83	2100	1929,3104	61702,79	14912,93
qt112	12048585,3	2100	1936,8225	61943,04	15049,16
qt113	12210937,68	2100	1962,9208	62777,71	15522,44
qt114	12089060,01	2100	1943,3288	62151,13	15167,15
qt115	12509574,9	2100	2010,927	64313,04	16393
qt116	12370064,86	2100	1988,5007	63595,8	15986,31
qt117	12486789,78	2100	2007,2643	64195,9	16326,58
qt118	12340535,19	2100	1983,7537	63443,99	15900,23
qt119	12289182,08	2100	1975,4987	63179,98	15750,53
qt120	12714462,69	2100	2043,863	65366,39	16990,28
qt121	12541789,76	2100	2016,1056	64478,66	16486,92
qt122	12166827,75	2100	1955,8301	62550,94	15393,85
qt123	12292439,92	2100	1976,0224	63196,72	15760,03
qt124	12388819,23	2100	1991,5154	63692,22	16040,99

**Lampiran 4. Data Inflasi Tahun 2010-2016**

Periode	Inflasi	Periode	Inflasi
Des-16	3.02 %	Jun-13	5.90 %
Nopember 2016	3.58 %	Mei-13	5.47 %
Okt-16	3.31 %	Apr-13	5.57 %
Sep-16	3.07 %	Mar-13	5.90 %
Agt-16	2.79 %	Feb-13	5.31 %
Jul-16	3.21 %	Jan-13	4.57 %
Jun-16	3.45 %	Des-12	4.30 %
Mei-16	3.33 %	Nopember 2012	4.32 %
Apr-16	3.60 %	Okt-12	4.61 %
Mar-16	4.45 %	Sep-12	4.31 %
Feb-16	4.42 %	Agt-12	4.58 %
Jan-16	4.14 %	Jul-12	4.56 %
Des-15	3.35 %	Jun-12	4.53 %
Nopember 2015	4.89 %	Mei-12	4.45 %
Okt-15	6.25 %	Apr-12	4.50 %
Sep-15	6.83 %	Mar-12	3.97 %
Agt-15	7.18 %	Feb-12	3.56 %
Jul-15	7.26 %	Jan-12	3.65 %
Jun-15	7.26 %	Des-11	3.79 %
Mei-15	7.15 %	Nopember 2011	4.15 %
Apr-15	6.79 %	Okt-11	4.42 %
Mar-15	6.38 %	Sep-11	4.61 %
Feb-15	6.29 %	Agt-11	4.79 %
Jan-15	6.96 %	Jul-11	4.61 %
Des-14	8.36 %	Jun-11	5.54 %
Nopember 2014	6.23 %	Mei-11	5.98 %
Okt-14	4.83 %	Apr-11	6.16 %
Sep-14	4.53 %	Mar-11	6.65 %
Agt-14	3.99 %	Feb-11	6.84 %
Jul-14	4.53 %	Jan-11	7.02 %
Jun-14	6.70 %	Des-10	6.96 %
Mei-14	7.32 %	Nopember 2010	6.33 %
Apr-14	7.25 %	Okt-10	5.67 %
Mar-14	7.32 %	Sep-10	5.80 %
Feb-14	7.75 %	Agt-10	6.44 %
Jan-14	8.22 %	Jul-10	6.22 %
Des-13	8.38 %	Jun-10	5.05 %
Nopember 2013	8.37 %	Mei-10	4.16 %
Okt-13	8.32 %	Apr-10	3.91 %
Sep-13	8.40 %	Mar-10	3.43 %
Agt-13	8.79 %	Feb-10	3.81 %
Jul-13	8.61 %	Jan-10	3.72 %

### Lampiran 5. Laporan Keuangan PDAM Kota Malang

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Pendapatan</b>							
Pendapatan Air	104.684	110.034	149.949	156.919	163.850	178.798	183.435
Pendapatan Non Air	22.901	22.570	27.542	28.466	29.415	31.023	34.657
Jumlah Pendapatan Usaha	127.585	132.604	177.491	185.385	193.265	209.821	218.092
<b>Biaya Langsung Usaha</b>							
Biaya Sumber Air	6.584	9.392	12.274	13.113	13.126	13.677	14.523
Biaya Pengolahan Air	15.525	16.958	18.729	20.237	22.091	23.538	24.728
Biaya Transmisi dan Distribusi	22.048	22.072	26.051	29.913	33.478	36.721	38.974
Jumlah	44.157	48.422	57.054	63.263	68.695	73.936	78.225
Laba Kotor Usaha	83.428	84.182	120.437	122.122	124.570	135.885	139.867
<b>Biaya Tidak Langsung</b>							
Biaya Umum dan Administrasi	52.361	56.576	65.513	72.423	82.135	88.921	91.042
Biaya Pinjaman	4.211	2.920	2.323	2.109	8.018	7.932	9.387
Jumlah	56.572	59.496	67.836	74.532	90.153	96.853	100.429
Laba Usaha	26.856	24.686	52.601	47.590	34.417	39.032	39.438
<b>Pendapatan di Luar Usaha</b>							
Pendapatan Bunga	41	56	571	586	601	708	889
Pendapatan Lain-Lain	474	500	527	557	587	621	711
Jumlah Pendapatan di Luar Usaha	515	556	1.098	1.143	1.188	1.329	1.600
<b>Biaya di Luar Usaha</b>							
Biaya Lain-Lain	550	605	666	732	805	864	901
Jumlah Biaya di Luar Usaha	550	605	666	732	805	864	901
Laba Sebelum Pajak	26.821	24.637	53.033	48.001	34.800	39.497	40.137
Tafsiran Pajak Penghasilan	7.510	6.898	14.821	13.440	9.744	9.858	10.234
Cadangan Dana Tujuan	4.000	5.000	5.000	6.000	6.000	7.000	7.000
Laba Bersih	15.311	12.739	33.212	28.561	19.056	22.639	22.903

## Lampiran 6. Sebaran Sumber Air Baku Baru

KOTA/KAB.	KECAMATAN	DESA/KEL.	SUMBER AIR BAKU BARU	TARGET DEBIT (l/d)	TANDON
Kota Malang	Kecamatan Klojen	Kel. Rampalcelaket	Sumber Air Merjosari	200	Betek
		Kel. Oro-Oro Dowo			
		Kel. Gadingkasri			
		Kel. Klojen			
		Kel. Kauman			
	Kel. Bareng				
Kota Malang	Kecamatan Kedungkandang	Kel. Sawojajar	Sumber Pitu	200	Buringbawah
		Kel. Kedungkandang			
		Kel. Buring			
	Kecamatan Sukun	Kel. Wonokoyo			
		Kel. Bandungrejosari			
	Kel. Gadang				
Kab. Malang	Pakisaji	Desa Kebonagung			
Kota Malang	Kecamatan Blimbing	Kel. Balearjosari	Sumur Balearjosari	30	Langsung SR
		Kel. Polowijen			
		Kel. Arjosari			
		Kel. Purwodadi			
		Kel. Pandanwangi			
	Kel. Blimbing				
Kota Malang	Kecamatan Kedungkandang	Kel. Bumiayu	Sumur Block Office	20	Langsung SR
Kota Malang	Kecamatan Kedungkandang	Kel. Telogowaru	Sumur Block Office Dan Sumber Pitu	20 + 200	Buring bawah
		Kel. Arjowinangun			
Kota Malang	Kecamatan Lowokwaru	Kel. Merjosari	Sumur Genting	20	Reservoir Genting (baru). Pelayanan Merjosari
	Kecamatan Sukun	Kel. Karangbesuki			
Kota Malang	Kecamatan Kedungkandang	Kel. Madyopuro	Sumur Kantor Pdam	30	Tandon - Tower PDAM (baru)
		Kel. Cemorokandang			
		Kel. Lesanpuro			

### Lampiran 7. Kapasitas Terpasang

No.	Nama Sumber	Jenis	Lokasi	Kapasitas Terpasang (liter/detik)
1	Sumber Binangun Lama	Sumber Air	Kota Batu	90
2	Sumber Binangun Baru	Sumber Air	Kota Batu	146
3	Sumber Banyuning	Sumber Air	Kota Batu	100
4	Sumber Karang	Sumber Air	Kabupaten Malang	30
5	Sumber Sumber Sari	Sumber Air	Kabupaten Malang	16
6	Sumber Wendit I	Sumber Air	Kabupaten Malang	376
7	Sumber Wendit II	Sumber Air	Kabupaten Malang	372
8	Sumber Wendit III	Sumber Air	Kabupaten Malang	453
9	Sumur Badut II	Sumur Bor	Kota Malang	20
10	Sumur Badut III	Sumur Bor	Kota Malang	20
11	Sumur Sumber Sari I	Sumur Bor	Kota Malang	2
12	Sumur Istana Dieng	Sumur Bor	Kota Malang	15
13	Sumur Supit Urang I	Sumur Bor	Kota Malang	10
14	Sumur Supit Urang II	Sumur Bor	Kota Malang	10
			<b>Jumlah</b>	<b>1660</b>