

TUGAS AKHIR – TI 184833

**Pengembangan Alternatif Kebijakan Penurunan *Non Revenue Water* dalam Rangka Peningkatan Pendapatan Usaha PDAM Surabaya**

MAYLVIN ANDRIAN ERIDANI

NRP. 02411540000125

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirjo, M. Eng.

NIP. 195503081979031001

Dosen Ko-Pembimbing

Diesta Iva Maftuhah, S.T, M.T.

NIP. 199005302015042002

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI**

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **Pengembangan Alternatif Kebijakan Penurunan *Non Revenue Water* dalam Rangka Peningkatan Pendapatan Usaha PDAM Surabaya**

Nama Mahasiswa : Maylvin Andrian Eridani  
NRP : 02411540000125  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M. Eng  
Ko-Pembimbing : Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T.

### **ABSTRAK**

Tingkat kehilangan air atau *Non Revenue Water* (NRW) di Kota Surabaya yang sebesar 115.124.954 m<sup>3</sup> menyebabkan PDAM Surabaya kehilangan potensi pendapatan usaha PDAM Surabaya. Hal tersebut turut berpengaruh terhadap kapasitas produksi air bersih PDAM dalam pemenuhan air bersih di Kota Surabaya. Tingkat NRW yang tinggi menandakan terdapat permasalahan pada *Urban Water Management* (UWM) dalam pemenuhan air bersih di Kota Surabaya dan peningkatan pendapatan usaha PDAM. Aspek yang ditinjau pada penelitian ini adalah ketersediaan air baku, produksi dan distribusi air bersih, laba pendapatan PDAM, *coverage*, dan energi. Melihat permasalahan yang kompleks, dari sisi variabilitas dan interdependensi pada penelitian ini metode yang sesuai adalah *system dynamic*, dilanjutkan simulasi pengembangan alternatif kebijakan terhadap penurunan NRW dalam rangka pemenuhan air bersih di Kota Surabaya dan peningkatan pendapatan usaha PDAM. Hasil pada penelitian ini dilihat berdasarkan aspek yang ditinjau. Pada aspek produksi dan distribusi ditinjau kapasitas produksi dan NRW yang rendah. Pada aspek energi ditandai dengan tingkat penggunaan energi yang efisien. Pada aspek laba penjualan ditandai dengan laba usaha. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh skenario terbaik yaitu perbaikan dan rehabilitasi pipa sepanjang 42 Km, dengan nilai investasi Rp 184.800.000.000,00 mampu meningkatkan Rp 12.184.121.847,00 dari laba pendapatan awal. Sedangkan dari segi kuantitas, jumlah air berekening meningkat 315.753.585,05 m<sup>3</sup> dan menekan NRW hingga 44.043.369,19 m<sup>3</sup>. Dengan menerapkan skenario terpilih diharapkan PDAM Surabaya dapat memenuhi kebutuhan air bersih di Kota Surabaya serta mampu meningkatkan pendapatan usaha.

**Kata kunci:** Air Bersih, *Non Revenue Water* (NRW), *Urban Water Management* (UWM), *System Dynamic*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **Development of Alternative Policies for Reducing Non-Revenue Water in the Context of Increasing PDAM Surabaya Business Revenues**

Name : Maylvin Andrian Eridani  
NRP : 02411540000125  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M. Eng  
Co-Supervisor : Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T.

### **ABSTRACT**

The level of water loss or Non-Revenue Water (NRW) in the city of Surabaya which amounted to 115,124,954 m<sup>3</sup> caused PDAM Surabaya to lose the potential revenue of PDAM Surabaya. This also affects the capacity of PDAMs clean water production in meeting the clean water demand in Surabaya. The high NRW level indicates that there is a problem with Urban Water Management (UWM) in the fulfillment of clean water in Surabaya and an increase in PDAM business revenues. The aspects reviewed in this research are the availability of raw water, clean water production and distribution, income from PDAM revenues, coverage, and energy. Seeing the complex problems, in terms of variability and interdependence in this study, an appropriate method is a system dynamic, followed by a simulation of developing alternative policies to reduce NRW in the context of fulfilling clean water in Surabaya and increasing PDAM business revenues. The results of this research are seen based on the aspects reviewed. In the aspect of production and distribution, the production capacity and NRW are considered low. The energy aspect is marked by the level of efficient energy use. In the aspect of sales profit is characterized by operating income. Based on the simulation results, the best scenario was obtained, namely the repair and rehabilitation of the 42 Km pipeline, with an investment value of Rp 184.800.000.000 able to increase Rp 12.184.121.847 from the initial income. While in terms of quantity, the amount of billed water increased by 315.753.585 m<sup>3</sup> and suppressed NRW to 44.043.369 m<sup>3</sup>. By applying the selected scenario, it is expected that PDAM Surabaya can meet the needs of clean water in Surabaya and be able to increase business revenues.

**Keyword:** Clean Water, Non Revenue Water (NRW), Urban Water Management (UWM), System Dynamic

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENGEMBANGAN ALTERNATIF KEBIJAKAN PENURUNAN *NON REVENUE WATER* DALAM RANGKA PENINGKATAN PENDAPATAN USAHA PDAM SURABAYA

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

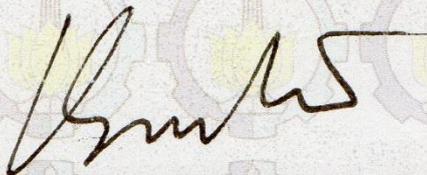
Oleh:

**MAYLVIN ANDRIAN ERIDANI**

**NRP. 02411540000125**

Mengetahui dan Menyetujui,

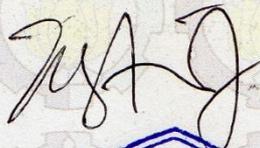
Pembimbing Tugas Akhir



**Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirjo, M. Eng.**

**NIP. 195503081979031001**

Ko-Pembimbing Tugas Akhir



**Diesta Iva Mafunah, S.T. M.T.**

**NIP. 199005302015042002**

**SURABAYA, FEBRUARI 2020**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas nikmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengembangan Alternatif kebijakan Penurunan *Non Revenue Water* dalam Rangka Peningkatan Pendapatan Usaha PDAM Surabaya”.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi Strata-1 dan memperoleh gelar sarjana Teknik Sistem dan Industri, pada Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dari pihak lain. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang berlimpah pada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M.Eng. dan Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dan ko-pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu, ide, saran, arahan, wawasan serta meluangkan waktunya bagi penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Wafi dari PDAM Surya Sembada Surabaya selaku penyedia data dan pembimbing eksternal yang telah memberikan wawasan dan informasi untuk mendukung penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak dan Ibu penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan mengenai penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D., selaku kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS yang telah memberikan banyak bantuan selama proses perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir.
5. Seluruh bapak dan ibu dosen serta karyawan Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS.
6. Bapak Heri Yulianto dan Ibu Sri Yulianti selaku orang tua penulis yang telah memberikan doa, dukungan dan motivasi yang tidak terhingga selama ini.

7. Keluarga besar Icarus, Rumah Kepemimpinan, JMMI ITS dan BEM ITS yang telah memberi banyak pengalaman dan pembelajaran selama proses perkuliahan di Surabaya.
8. Seluruh teman, kerabat, sahabat dan banyak pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu demi satu oleh penulis, terima kasih atas dukungan, doa, nasihat dan dukungan lain selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan keterbatasan dalam Tugas Akhir ini, oleh karenanya penulis memohon maaf atas segala kekurangan dan keterbatasan yang ada. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat bagi berbagai pihak dan dapat menjadi masukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan bangsa.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Batasan dan Asumsi .....	6
1.5.1 Batasan .....	7
1.5.2 Asumsi .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 Air .....	9
2.2 PDAM Surabaya .....	10
2.2.1 Produksi Air Bersih .....	11
2.2.2 Distribusi Air Bersih .....	12
2.2.3 Tarif Air Bersih PDAM Surabaya .....	12
2.3 <i>Urban Water Cycle (UWC)</i> .....	16
2.3.1 Sumber Daya Air .....	16
2.3.2 Pengolahan Produksi Air .....	17
2.3.3 Distribusi air .....	17
2.3.4 Konsumsi Air .....	17
2.3.5 Pengumpulan Air Limbah .....	17
2.3.6 Pengolahan Air Limbah .....	17
2.4 <i>Non Revenue Water (NRW)</i> .....	18
2.5 Landasan Hukum Pada Penyediaan Air Bersih .....	20
2.5.1 Penyediaan .....	20
2.5.2 Pengolahan .....	20

2.6	Konsep Permodelan <i>System Dynamic</i> .....	21
2.6.1	Pendekatan <i>System Dynamic</i> .....	21
2.6.2	Tahapan Permodelan <i>System Dynamic</i> .....	22
2.6.3	Komponen <i>System Dynamic</i> .....	23
2.6.4	Konsep Pengujian Model .....	24
2.7	Penelitian-Penelitian Terdahulu .....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian .....	29
3.2	Pengumpulan Data.....	31
3.3	Identifikasi Variabel .....	31
3.4	Konseptualisasi Model .....	31
3.5	Validasi Model Konseptual .....	32
3.6	Pembuatan Model Simulasi .....	32
3.7	Verifikasi dan Validasi Model Simulasi.....	33
3.8	Perancangan Alternatif Skenario Kebijakan .....	33
3.9	Analisis dan Interpretasi .....	33
3.10	Penarikan Kesimpulan dan Saran .....	34
BAB IV PERANCANGAN MODEL SIMULASI.....		35
4.1	Identifikasi Sistem Amatan .....	35
4.2	Konseptualisasi Model .....	41
4.2.1	Identifikasi Variabel.....	41
4.2.2	Diagram <i>Input-Output</i> .....	46
4.2.3	<i>Causal Loop Diagram</i> .....	47
4.3	<i>Stock and Flow Diagram</i> .....	50
4.3.1	Sub Model Produksi dan Distribusi Air Bersih.....	56
4.3.2	Sub Model Energi .....	58
4.3.3	Sub Model Laba Pendapatan Air .....	58
4.3.4	Sub Model <i>Coverage</i> .....	59
4.3.5	Sub Model Air Baku .....	60
4.4	Verifikasi Model.....	60
4.5	Validasi Model .....	63
4.5.1	Uji Struktur Model .....	63

4.5.2	Uji Parameter Model.....	63
4.5.3	Uji Kecukupan Batasan.....	65
4.5.4	Uji Kondisi Ekstrem.....	65
4.5.5	Uji Perilaku Model.....	67
4.6	Simulasi Model.....	70
4.6.1	Sub Model Produksi dan Distribusi .....	70
4.6.2	Sub Model Laba Penjualan Air .....	72
4.6.3	Sub Model <i>Coverage</i> .....	73
4.6.4	Sub Model Energi .....	74
4.6.5	Sub Model Air Baku .....	75
BAB V MODEL SKENARIO ALTERNATIF.....		77
5.1	Skenario 1: Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa.....	78
5.2	Skenario 2: Perbaikan dan Rehabilitasi Meteran.....	82
5.3	Skenario 3: Penambahan SDM <i>Sweeping</i> .....	84
5.4	Skenario 4: Penambahan Kapasitas Produksi.....	85
5.5	Skenario 5: Kombinasi .....	86
5.6	Analisis Perbandingan Skenario.....	88
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....		93
6.1	Kesimpulan.....	93
6.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA .....		95
LAMPIRAN I FORMULASI MODEL <i>STOCK AND FLOW DIAGRAM</i> .....		99
LAMPIRAN II Diskusi terkait Validasi CLD .....		105
BIOGRAFI PENULIS .....		107

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Produksi Air Bersih.....	11
Tabel 2. 2 Klasifikasi Kehilangan Air.....	18
Tabel 2. 3 Komponen <i>System Dynamic</i> .....	23
Tabel 2. 4 Penelitian-Penelitian Terdahulu .....	26
Tabel 4. 1 <i>Water Balance</i> 2019.....	39
Tabel 4. 2 Identifikasi Variabel <i>Causal Loop Diagram</i> .....	42
Tabel 4. 3 Identifikasi <i>Causal Loop Diagram</i> .....	44
Tabel 4. 4 Simbol yang digunakan <i>Software Stella</i> .....	50
Tabel 4. 5 Air Baku di Kota Surabaya .....	50
Tabel 4. 6 Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya.....	51
Tabel 4. 7 Laba Penjualan PDAM Surabaya .....	54
Tabel 4. 8 Energi yang Digunakan PDAM Surabaya .....	55
Tabel 4. 9 <i>Coverage</i> PDAM Surabaya.....	55
Tabel 4. 10 Produksi Air Bersih.....	67
Tabel 4. 11 NRW .....	68
Tabel 4. 12 Pendapatan Air.....	68
Tabel 4. 13 Hasil Uji <i>t-Test</i> Produksi Air Bersih.....	68
Tabel 4. 14 Hasil Uji <i>t-Test</i> NRW.....	68
Tabel 4. 15 Hasil Uji <i>t-Test</i> Pendapatan Air .....	69
Tabel 4. 16 Hasil Uji Perilaku Model <i>P-value</i> .....	69
Tabel 4. 17 Hasil Simulasi Produksi Air Bersih, Konsumsi Resmi, dan NRW.....	71
Tabel 4. 18 Hasil Simulasi Pendapatan Air dan Pendapatan Potensial dari NRW	72
Tabel 4. 19 Hasil Simulasi Persentase Wilayah Terlayani .....	74
Tabel 4. 20 Hasil Simulasi Konsumsi Energi Hilang .....	74
Tabel 4. 21 Hasil Simulasi Air Baku Surabaya.....	76
Tabel 5. 1 Skenario-Skenario Alternatif .....	78
Tabel 5. 2 <i>Output</i> Simulasi Saat Ini .....	78
Tabel 5. 3 <i>Output</i> Simulasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa 30 Km.....	79
Tabel 5. 4 <i>Output</i> Simulasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa 60 Km.....	80
Tabel 5. 5 <i>Output</i> Simulasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa 42 Km.....	80
Tabel 5. 6 Biaya Investasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa .....	81

Tabel 5. 7 <i>Output</i> Perbandingan Rata-Rata Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa.....	81
Tabel 5. 8 <i>Output</i> Perbaikan dan Rehabilitasi 30.000 Meter Baru .....	82
Tabel 5. 9 <i>Output</i> Perbaikan dan Rehabilitasi 60.000 Meter Baru .....	83
Tabel 5. 10 Biaya Investasi Perbaikan dan Pergantian Meter.....	83
Tabel 5. 11 <i>Output</i> Perbandingan Rata-Rata Perbaikan dan Pergantian Meter .....	83
Tabel 5. 12 <i>Output</i> penambahan 50 SDM <i>Sweeping</i> .....	84
Tabel 5. 13 <i>Output</i> Penambahan Kapasitas Produksi .....	85
Tabel 5. 14 <i>Output</i> Kombinasi Perbaikan Pipa dan Meter.....	86
Tabel 5. 15 <i>Output</i> Kombinasi Perbaikan Pipa dan SDM <i>Sweeping</i> .....	87
Tabel 5. 16 Biaya Investasi Skenario Kombinasi .....	87
Tabel 5. 17 <i>Output</i> Perbandingan Rata-Rata Skenario Kombinasi.....	87
Tabel 5. 18 Perbandingan Skenario Kapasitas Produksi dan NRW.....	88
Tabel 5. 19 Perbandingan Skenario Investasi dan Pendapatan Air.....	90
Tabel 5. 20 Perbandingan Skenario Energi yang Dapat Diselamatkan .....	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pelanggan PDAM Surabaya.....	1
Gambar 1. 2 <i>Non Revenue Water 2011-2019</i> .....	3
Gambar 1. 3 Siklus Air Perkotaan.....	4
Gambar 2. 1 Klasifikasi Kualitas Air.....	9
Gambar 2. 2 Peta Cakupan Wilayah Pelayanan.....	12
Gambar 2. 3 Tarif PDAM Surya Sembada Surabaya .....	13
Gambar 2. 4 Siklus Air Perkotaan.....	16
Gambar 2. 5 <i>Stakeholder</i> Terkait NRW.....	19
Gambar 2. 6 Tahapan Simulasi Model pada Sebuah Studi Simulasi.....	22
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Tugas Akhir .....	29
Gambar 4. 1 Produksi Air Bersih PDAM Surabaya .....	35
Gambar 4. 2 Pendapatan Air PDAM Surabaya.....	36
Gambar 4. 3 <i>Non Revenue Water 2011-2019</i> .....	37
Gambar 4. 4 Diagram <i>Input-Output</i> .....	47
Gambar 4. 5 <i>Causal Loop Diagram</i> .....	49
Gambar 4. 6 Model <i>Stock and Flow Diagram</i> .....	56
Gambar 4. 7 Sub Produksi dan Distribusi.....	57
Gambar 4. 8 Sub Energi.....	58
Gambar 4. 9 Sub Laba Pendapatan Air.....	59
Gambar 4. 10 Sub <i>Coverage</i> .....	59
Gambar 4. 11 Sub Air Baku.....	60
Gambar 4. 12 Keterkaitan antara Produksi Air Bersih dan Pelanggan PDAM .....	61
Gambar 4. 13 Verifikasi Unit Model .....	62
Gambar 4. 14 Verifikasi Model Keseluruhan .....	62
Gambar 4. 15 Keterkaitan antara Jumlah Pelanggan dan Produksi Air Bersih .....	64
Gambar 4. 16 Keterkaitan Konsumsi Resmi dan Pendapatan Air .....	64
Gambar 4. 17 Kondisi Awal.....	66
Gambar 4. 18 Uji Ekstrem Rendah .....	66
Gambar 4. 19 Uji Ekstrem Tinggi.....	67
Gambar 4. 20 Hasil Simulasi Produksi Air Bersih, Konsumsi Resmi, dan NRW.....	70

Gambar 4. 21 Hasil Simulasi Pendapatan Air dan Pendapatan Potensial dari NRW .....	72
Gambar 4. 22 Hasil Simulasi Persentase Wilayah Terlayani.....	73
Gambar 4. 23 Hasil Simulasi Konsumsi Energi Hilang.....	74
Gambar 4. 24 Hasil Simulas Air Baku Surabaya.....	75
Gambar 5. 1 Perbandingan NRW.....	89
Gambar 5. 2 Perbandingan Laba Pendapatan Usaha .....	91

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada bab satu pendahuluan akan dijelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam pembuatan laporan penelitian.

### 1.1 Latar Belakang

Fenomena urbanisasi yang terjadi di Kota Surabaya menyebabkan bertambahnya tingkat permintaan air bersih. Kebutuhan air bersih untuk aktivitas domestik, pemerintahan, bisnis, sosial, industri dan pelabuhan setiap tahun meningkat. Berdasarkan data dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surabaya, jumlah permintaan air bersih di Surabaya mengalami peningkatan yang disebabkan peningkatan jumlah pelanggan PDAM. Grafik pada Gambar 1.1 menunjukkan peningkatan jumlah pelanggan dan cakupan pelanggan terlayani oleh PDAM Surabaya dari tahun 2015 hingga 2019.



Gambar 1. 1 Pelanggan PDAM Surabaya  
(PDAM Surabaya, 2019)

Berdasarkan Gambar 1.1, Pada tahun 2019 cakupan layanan PDAM sudah meliputi 99.9% dari total jumlah penduduk Kota Surabaya. Artinya 99.9% wilayah telah dijangkau oleh layanan PDAM Surabaya (PDAM Surya Sembada Kota

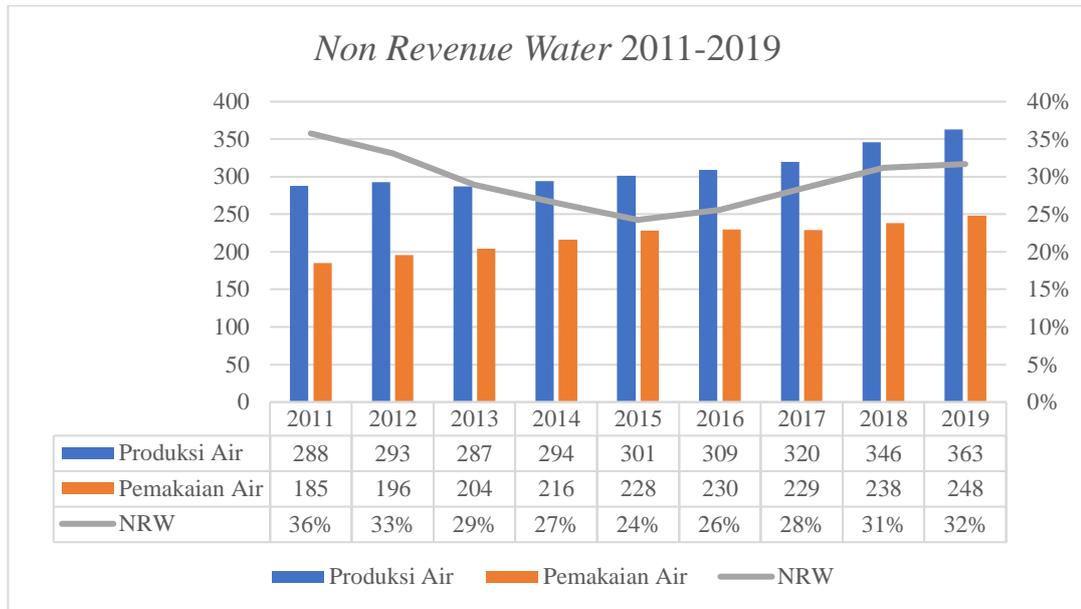
Surabaya, 2019). Peningkatan cakupan layanan tersebut tidak lepas dari program *master meter* yang dilakukan sejak tahun 2009 untuk pemukiman masyarakat prasejahtera di Surabaya (USAID, 2016). Hal tersebut berdampak positif terhadap kualitas hidup masyarakat Surabaya.

Jumlah pelanggan yang meningkat menyebabkan permintaan terhadap air bersih turut meningkat. Rata-rata konsumsi setiap pelanggan per harinya adalah 180 liter. Dalam memenuhi permintaan tersebut Kota Surabaya memiliki sumber air baku yang bersumber dari Kali Surabaya dengan debit sebesar 10.25 m<sup>3</sup>/detik dan mata air dari Umbulan dan Pandaan yang sebesar 5 m<sup>3</sup>/detik (PDAM Surabaya, 2019). Dari data tersebut 33% pemenuhan air baku PDAM Surabaya bergantung dari luar Kota Surabaya. Dalam memenuhi kebutuhan air baku di masa depan, Surabaya bisa memanfaatkan air marginal seperti air laut, air rawa, dan air pembuangan sebagai sumber air baku alternatif dengan memanfaatkan pengembangan teknologi penjernihan air.

Peningkatan kapasitas produksi dari tahun ke tahun adalah upaya PDAM Surabaya untuk memenuhi kebutuhan air bersih Kota Surabaya. Hal ini ditujukan seiring dengan meningkatnya arus urbanisasi ke Kota Surabaya. Dalam jangka sembilan tahun, sejak 2011 hingga 2019 telah terjadi peningkatan kapasitas produksi 75 juta m<sup>3</sup> air bersih. Akan tetapi tidak semua air hasil produksi dapat dikonversi menjadi uang karena beberapa faktor seperti kehilangan fisik dan non fisik, perawatan pipa, dan kebutuhan pemadam kebakaran Kota Surabaya. Air yang tidak dapat diuangkan ini disebut *Non Revenue Water* (NRW). Faktor penyebab utama NRW adalah kehilangan fisik dan non fisik. Kehilangan fisik berupa kehilangan kapasitas air, kebocoran pipa, dan kelebihan kapasitas. Lalu kehilangan non fisik yaitu kerugian komersial yang berupa pencurian air, kerusakan meteran, dan kesalahan pada sistem tagihan.

Pada tahun 2011, NRW mencapai tingkat tertinggi yaitu 36% lalu menurun menjadi 24% pada tahun 2015 dan kembali meningkat pada tahun 2019 menjadi sebesar 32%. Dalam kurun waktu 5 tahun terdapat peningkatan NRW sebesar 8% (PDAM Surabaya, 2019). Hal tersebut menandakan sedang terjadi persoalan dalam sistem tata kelola air bersih di Surabaya yang menyebabkan tingkat NRW

meningkat. Berikut adalah grafik NRW 2011-2019 yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.

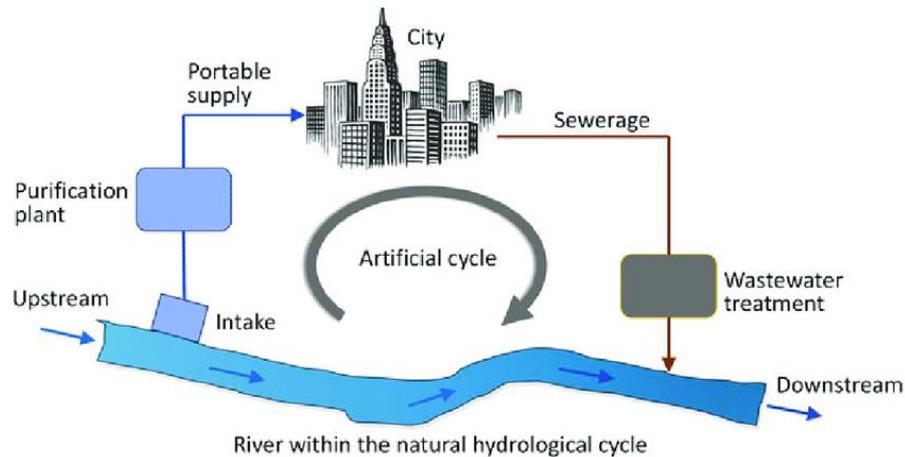


Gambar 1. 2 *Non Revenue Water 2011-2019*  
(PDAM Surabaya, 2019)

Dampak negatif dari fenomena NRW adalah kerugian dalam bentuk fisik dan non fisik. Kerugian fisik berupa tingkat kehilangan air yang tinggi. Sedangkan untuk kerugian non fisik yaitu berupa kehilangan potensi pemasukan PDAM. Nilai pemasukan yang hilang akibat NRW ditaksir sebesar Rp 5.592.670.000,- per 3.728.000 m<sup>3</sup>/tahun (Sutjahjo, 2013).

Sebagai kota besar kedua dengan jumlah populasi sebesar tiga juta jiwa (BPS, 2019), Surabaya memiliki tantangan dalam memenuhi salah satu kebutuhan pokok penduduknya yaitu pemenuhan kebutuhan air bersih. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih terdapat dua solusi alternatif yang dapat digunakan. Pertama adalah melakukan eksplorasi terhadap sumber air baku alternatif sehingga kebutuhan air bersih dapat terpenuhi. Kedua adalah melakukan upaya penurunan NRW sehingga air yang hilang saat pendistribusian ke pelanggan dapat terselamatkan (Hui & Weng, 2015).

Siklus air pada kota besar mengikuti *urban water cycle* (Sowby, 2014). Siklus ini terdiri dari enam fase yaitu sumber daya air, pengolahan produksi air, distribusi air, konsumsi air, pengumpulan air limbah, pengolahan air limbah, dan kembali ke badan air seperti ditunjukkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1. 3 Siklus Air Perkotaan  
(Sumber: Wang XC, 2015)

Prospek pemenuhan air bersih di Surabaya menghadapi tantangan karena pada tahun 2030 PBB memproyeksikan 66.6% penduduk dunia tinggal di perkotaan. Hal tersebut akan berdampak terhadap meningkatnya kebutuhan air bersih di Surabaya. Untuk memastikan ketersediaan air bersih di Kota Surabaya, diperlukan tata kelola air bersih yang baik meliputi ketersediaan air baku PDAM, NRW, laba usaha PDAM Surabaya, konsumsi energi, distribusi air bersih, dan laju populasi penduduk.

PDAM Surabaya menghadapi berbagai tantangan. Tantangan pertama adalah kebiasaan masyarakat Surabaya terhadap konsumsi air bersih. Berdasarkan data dari PDAM Surabaya rata-rata konsumsi masyarakat Surabaya sebesar 180-200 liter/orang/hari lebih besar dibandingkan rata-rata konsumsi nasional yang sebesar 120 liter/orang/hari (Jajeli, 2017). Hal ini menandakan bahwa kesadaran masyarakat terhadap pemanfaatan air masih rendah.

Tantangan selanjutnya adalah tingkat kualitas air yang rendah. Di beberapa tempat di Kota Surabaya air mengandung polutan berupa partikel residu serta berbau yang disebabkan kebocoran pipa dan persoalan teknis (Baihaqi, 2019). Tantangan yang ketiga adalah terjadinya kelangkaan air di beberapa titik di Surabaya pada waktu tertentu (Haryono, 2019). Hal ini berhubungan terhadap pola distribusi penyediaan air bersih. Tantangan yang terakhir adalah tidak adanya sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk penggunaan domestik sehingga air tidak dapat digunakan kembali.

Hal ini menunjukkan urgensi untuk mengurangi NRW yang saat ini di angka 32%. Jika angka ini berhasil diturunkan, maka PDAM Surabaya bisa mengakomodir budaya konsumsi air bersih masyarakat Surabaya. Di sisi lain kualitas air bersih juga bisa ditingkatkan karena tingkat kebocoran pipa berhasil ditekan. Tingkat NRW yang rendah atau dalam kata lain distribusi air yang efektif juga bisa mengurangi kelangkaan air yang selama ini terjadi di beberapa lokasi di Surabaya.

Pentingnya penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha membuat PDAM Surabaya membutuhkan wahana dalam merumuskan kebijakan yang praktis dan implementatif. Metode yang tepat untuk digunakan adalah simulasi *system dynamics* karena dapat menggambarkan semua variabel-variabel yang terkait dan menunjukkan variabel kritis dalam NRW. *System dynamics* merupakan pendekatan yang cocok untuk mengatasi permasalahan yang kompleks, dilihat dari sisi variabilitas dan interdependensi antar variabel pada kasus ini.

Pada tahun 2012, Zargami dan Akbariyeh melakukan penelitian tentang aplikasi *urban water cycle* menggunakan permodelan *system dynamic* di Kota Tabriz, Iran. Pada penelitian tersebut penulis mencoba mengintegrasikan manajemen air perkotaan sebagai upaya memitigasi krisis air di masa depan. Bahkan Ramirez (2008) secara spesifik membahas cara-cara menurunkan NRW dengan menggunakan metode *system dynamic* pada tata kelola air bersih di Kolombia.

Kelebihan *system dynamic* adalah mampu memberikan pemahaman yang holistik dalam menyelesaikan permasalahan dengan melakukan perancangan skenario-skenario. Dengan memanfaatkan *system dynamic*, pembuat kebijakan dapat merumuskan kebijakan yang tepat dengan melakukan beberapa skenario dalam waktu yang bersamaan sehingga solusi yang dibangun dapat memberikan *output* yang diharapkan. Oleh karena itu, pada penelitian ini, *system dynamic* digunakan pada pengembangan alternatif kebijakan penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya.

Dengan menggunakan *system dynamic* pada tata kelola air bersih di PDAM Surabaya, dapat dilihat variabel kritis yang dapat digunakan oleh PDAM Surabaya sebagai pertimbangan dalam merumuskan kebijakan yang mendukung penurunan

NRW di Surabaya. Aspek yang ditinjau adalah kuantitas air bersih yang terdistribusi dilihat dari tingkat NRW dan pendapatan usaha PDAM Surabaya. Kolaborasi dari berbagai elemen masyarakat (akademisi, industri, pemerintah, dan komunitas) sangat penting dan menjadi hal yang absolut bagi pentingnya air bersih untuk kehidupan bersama.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berangkat dari latar belakang permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya. Permasalahan penting dalam penelitian ini adalah belum adanya wahana yang dapat digunakan dalam usaha penurunan NRW di Kota Surabaya dan upaya peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Memahami faktor-faktor yang memengaruhi penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya dari waktu ke waktu.
- b) Mencari alternatif skenario penurunan NRW dari waktu ke waktu dalam mengantisipasi permintaan air bersih yang disebabkan penambahan jumlah penduduk Surabaya.
- c) Mencari alternatif skenario yang dapat meningkatkan pendapatan usaha PDAM Surabaya.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah memperoleh sebuah wahana model yang dapat digunakan oleh berbagai pihak terkait penurunan NRW di Kota Surabaya dengan memberikan pilihan skenario kebijakan dalam usaha menjamin pemenuhan kebutuhan air bersih yang secara ekonomis menguntungkan.

## **1.5 Batasan dan Asumsi**

Batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut.

### 1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Penelitian ini terbatas pada kuantitas produksi dan distribusi air bersih di Kota Surabaya.
- b) Kebocoran fisik dibatasi pada kebocoran pipa penghubung dan pipa transmisi.
- c) Kebocoran non fisik (komersial) dibatasi pada pemakaian sambungan *illegal* dan *meter error*.
- d) Kajian dalam penelitian ini sebatas pemberian informasi terkait variabel-variabel yang berdampak atau berperan signifikan pada produksi dan distribusi air bersih.

### 1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Segmen konsumen yang meliputi domestik, industri, pemerintahan, pelabuhan diasumsikan sama sebagai kesatuan.
- b) Objek amatan pada penelitian ini dapat merepresentasikan kondisi produksi dan distribusi air bersih di PDAM Surabaya.
- c) Variabel lain di luar sistem tata kelola air bersih Surabaya tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap model yang telah dibangun.
- d) Aktivitas penurunan NRW dilakukan secara periodik setiap tahun.
- e) Setiap konsumsi resmi dapat direkeningkan menjadi pendapatan air.
- f) Tingkat NRW yang rendah merepresentasikan jumlah air yang mampu diselamatkan untuk pemenuhan air bersih di Surabaya.

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab dua ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka dari hal-hal yang menyangkut penelitian yang dilakukan. Kajian pustaka ini terdiri dari air bersih, PDAM Surabaya, *urban water cycle*, landasan hukum pada setiap proses, konsep permodelan *system dynamic*, dan penelitian-penelitian terdahulu.

### 2.1 Air

Air adalah zat alam berunsur H<sub>2</sub>O yang merupakan kebutuhan elemen setiap makhluk hidup. Sebagai sumber kehidupan sudah menjadi hal mutlak bagi kita untuk menjaganya karena kebutuhan terhadap air bersih bertambah seiring dengan bertambahnya populasi. Meningkatnya tingkat populasi menyebabkan perubahan terhadap kualitas air bersih. Berikut adalah terminologi umum kualitas air yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Klasifikasi Kualitas Air

(Sumber: EcoEthic Inc., 2017)

Menurut EcoEthic (2017), secara umum air dibagi menjadi 3 kategori yaitu air bersih, *greywater*, dan *blackwater*. Air bersih adalah air yang dapat dikonsumsi biasanya berasal dari sumber mata air, sumur, air PDAM, dan air hujan. *Greywater* adalah air yang tidak bisa dikonsumsi namun dapat digunakan untuk menyirami tanaman dan tidak mengandung zat kimia yang kasar. *Blackwater* adalah air yang sudah tidak bisa dimanfaatkan lagi karena mengandung limbah zat kimia yang kasar

bagi tubuh manusia. Di Indonesia kualitas air bersih di atur dalam PerMenKes 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

## **2.2 PDAM Surabaya**

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) adalah perusahaan yang memproduksi dan mendistribusikan air bersih di Surabaya. Awal mula PDAM adalah perusahaan air milik belanda yang didirikan pada tahun 1890. Hingga pada tahun 1950, PDAM diserahkan ke pemerintah Kota Surabaya. Pada tahun 1976 menjadi Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) berdasarkan: Peraturan Daerah No. 7 tahun 1976 tanggal 30 Maret 1976; Surat Keputusan Gubernur Kepala Daerah Tingkat I Jawa Timur, tanggal 06 November 1976 No. II/155/76; Lembaran Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya tahun 1976 seri C pada tanggal 23 November 1976 No. 4/C.

Sebagai perusahaan yang menyediakan air bersih di Surabaya, PDAM memiliki visi & misi untuk memberikan pelayanan prima yang berorientasi terhadap profit untuk penyediaan air bersih di Surabaya. Berikut adalah visi & misi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

Visi:

Menjadi Perusahaan Air Minum Modern

Misi:

- a) Memastikan pengelolaan keuangan yang transparan untuk kesejahteraan masyarakat
- b) Membangun masyarakat yang bijak dalam penggunaan air
- c) Menyediakan air minum yang efisien dan berkelanjutan
- d) Membangun lingkungan kerja yang memprioritaskan integritas dan prestasi

Dalam hal pengendalian mutu, PDAM bertekad mewujudkan pengelolaan penyediaan air minum yang terbaik dengan melakukan peningkatan berkesinambungan sesuai Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015. Untuk mewujudkan pelayanan yang terbaik, segenap insan PDAM Surya Sembada Kota

Surabaya senantiasa memberikan pelayanan prima pada pelanggan, menyediakan sistem informasi manajemen, menyediakan SDM unggul, menciptakan budaya bersih dan kompetitif, dan meningkatkan pertumbuhan laba usaha.

### 2.2.1 Produksi Air Bersih

Dalam memproduksi air bersih, PDAM membutuhkan sumber air baku yang berasal dari air permukaan (Kali Surabaya) dan mata air (sekitar Pandaan dan Umbulan). Dua sumber tersebut dimanfaatkan untuk aktivitas produksi air bersih. Sumber dari Kali Surabaya digunakan untuk Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM) Ngagel I,II,III dan IPAM Karangpilang I,II,III. Sedangkan sumber mata air dari luar Surabaya digunakan untuk Instalasi Penjernihan Air (IPA) Sumber Air. Tabel 2.1. berikut ini adalah kapasitas produksi dari masing-masing IPA.

Tabel 2. 1 Produksi Air Bersih

Nama	Tahun Pengembangan Terakhir	Kapasitas
<b>Dalam Kota</b>		
IPAM Ngagel I	1996	1.800 L/detik
IPAM Ngagel II	1959 (kerjasama dengan Prancis)	1.000 L/detik
IPAM Ngagel III	1997	1.500 L/detik
IPAM Karangpilang I	2006	1.450 L/detik
IPAM Karangpilang II	2002	2.500 L/detik
IPAM Karangpilang III	2009	2.000 L/detik
<b>Luar Kota</b>		
Umbulan		5.000 L/detik
Plintahan I		96 L/detik
Plintahan II		15 L/detik
Plintahan III		15 L/detik
Karangjati		10 L/detik
Durensewu		8.5 L/detik
Toyo Arang		66 L/detik
Jambangan		4.5 L/detik
Bulak Ruyung		3.5 L/detik

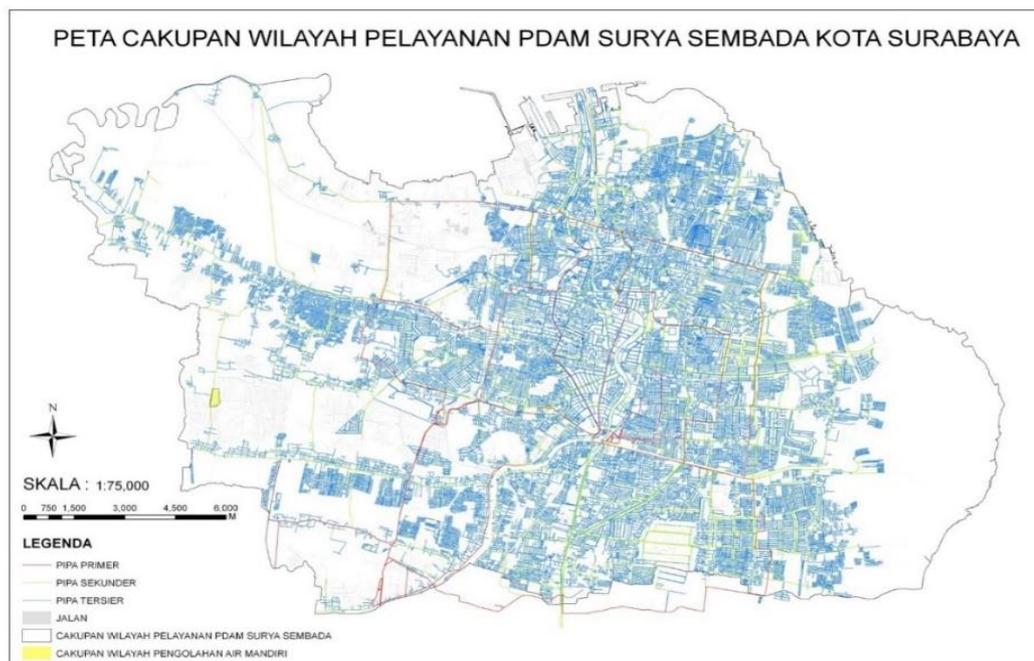
Tabel 2. 1 Produksi Air Bersih (lanjutan)

Nama	Tahun Pengembangan Terakhir	Kapasitas
Kesambi		5 L/detik
Bumbungan		4 L/detik
Lamer		2 L/detik
Kalong		2,5 L/detik
Winong		3 L/detik
Klampok I		10 L/detik
Klampok II		3,5 L/detik
Klampok III		3 L/detik
<b>Total Debit Air</b>		<b>15.501,5 L/detik</b>

(Sumber: PDAM Surya Sembada Surabaya, 2015)

### 2.2.2 Distribusi Air Bersih

Dalam pendistribusian air bersih, PDAM memiliki jaringan pipa sepanjang 5670 Km untuk memenuhi wilayah cakupan layanan menggunakan pipa dengan diameter 15 mm – 1500 mm. Berikut peta distribusi PDAM yang meliputi wilayah operasi IPAM Ngagel I,II,III dan IPAM Karangpilang I,II,III yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Peta Cakupan Wilayah Pelayanan

Sumber: Bapekko Surabaya, 2019

### 2.2.3 Tarif Air Bersih PDAM Surabaya

Untuk memenuhi biaya produksi dan distribusi air bersih di Surabaya. PDAM menerima pemasukan dari pelanggan yang menggunakan jasa air bersih PDAM. Setiap pelanggan PDAM dibebankan tarif yang disesuaikan dengan tingkat golongan masing-masing pelanggan. Klasifikasi kelompok pelanggan terdiri dari kelompok I hingga kelompok XI. Penentuan tarif berdasarkan peraturan Walikota no. 55 tahun 2005. Berikut adalah rincian klasifikasi pelanggan dan tarif air bersih PDAM Kota Surabaya per kelompok pelanggan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

**KLASIFIKASI PELANGGAN DAN TARIF AIR MINUM  
PDAM KOTA SURABAYA**

Berdasarkan Peraturan Walikota No. 55 Tahun 2005 tanggal 29 Nopember 2005 tentang Tarif Air Minum dan Struktur Pemakaian Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya, dan berdasarkan Peraturan Perusahaan, Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya No. 04 Tahun 2008 tanggal 03 Maret 2008 tentang Klasifikasi Kelompok Pelanggan Air Minum, maka dengan ini ditetapkan pengelompokan pelanggan PDAM Kota Surabaya.

K L A S I F I K A S I	Kode Tarif	Pemak. Air ( M <sup>3</sup> )	Tarif Air ( Rp/M <sup>3</sup> )	Pemak. Min/Bin ( P <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5
<b>KELOMPOK PELANGGAN I</b> 1. Hidran umum; 2. Tempat ibadah; 3. Rumah susun sewa (Rusunawa).	1	Non Progresif	600	10
<b>KELOMPOK PELANGGAN II</b> 1. Pondok Pesantren, Panti Asuhan, Panti Jompo, Panti Sosial; 2. Sekolah negeri, Madrasah, Sekolah swasta (TK, SD, SLTP,SLTA) dengan akreditasi C; 3. Balai pertemuan RT dan RW; 4. Rumah susun milik (Rusunami) dengan penjualan curah; 5. Rumah tangga (RT) 1, yaitu : Kelompok pelanggan rumah tangga yang memenuhi <b>semua</b> kriteria sebagai berikut : a. Didepannya terdapat jalan dengan lebar termasuk saluran/got dan berm < 3meter; b. Daya listrik terpasang < 1300 VA; c. Nilai Jual Obyek Pajak (NJOP) < Rp.50juta; d. Luas bangunan < 36 m <sup>2</sup> .	2A	0 - 10 11 - 20 21 - 30 >30	350 600 900 1.800	10
<b>KELOMPOK PELANGGAN III</b> 1. Layanan kesehatan milik Pemerintah (Puskesmas, Poliklinik, BKIA, Rumah Sakit) non komersial; 2. Kamar mandi umum, ponten / WC umum.	2B	0 - 10 11 - 20 >20	500 1.000 2.250	10
<b>KELOMPOK PELANGGAN IV</b> 1. Rumah tangga (RT) 2, yaitu : Kelompok pelanggan rumah tangga yang <b>tidak memenuhi salah satu</b> kriteria RT3, RT4,RT5 dan memenuhi salah satu <b>kriteria</b> sebagai berikut : a. Didepannya terdapat jalan dengan lebar termasuk saluran/got dan berm ≥ 3 meter akan tetapi < 5 meter; b. Daya listrik yang terpasang < 1300 VA; c. Nilai Jual Obyek Pajak (NJOP) ≥ Rp.50juta akan tetapi < Rp.150 juta; d. Luas bangunan ≥ 36 m <sup>2</sup> akan tetapi < 120m <sup>2</sup> .	3A	0 - 10 11 - 20 >20	500 1.200 1.900	10

Gambar 2. 3 Tarif PDAM Surya Sembada Surabaya

Sumber: PDAM Surya Sembada Surabaya

1	2	3	4	5
<p><b>KELOMPOK PELANGGAN V</b></p> <p>1. Kursus ketrampilan, Warnet/Wartel &gt; 4 unit;  2. Salon kecantikan, usaha kesegaran jasmani, laundry;  3. Depot/Cafe, katering rumah tangga;  4. Lab. Medis, Apotik, Poliklinik swasta, BKIA swasta;  5. Rumah sakit swasta kategori kecil;  6. Losmen/Wisma/Penginapan/Guest House/Hotel non bintang;  7. Gedung pertemuan/Mess milik Pemerintah yang dikomersialkan;  8. Industri rumah tangga;  9. Kegiatan usaha/industri/profesi perorangan yang berskala Ekonomi kecil;  10. Layanan kesehatan milik Pemerintah yang dikomersialkan.</p>	3B	0 - 10 11 - 20 >20	1.500 3.500 6.000	10
<p><b>KELOMPOK PELANGGAN VI</b></p> <p>1. Sekolah Swasta (TK, SD, SLTP, SLTA) dengan akreditasi A &amp; B;  2. Pasar tradisional milik Pemerintah dan atau milik masyarakat;  3. Usaha kost lebih dari 5 kamar;  4. Perguruan Tinggi Negeri dan Swasta selain Akreditasi A;  5. Ruko/Rukan dengan lebar jalan termasuk berm <math>\leq</math> 9 meter;  6. Rumah tangga (RT) 5, yaitu :  Kelompok pelanggan rumah tangga yang memenuhi <b>salah satu</b> kriteria sebagai berikut:  a. Di depannya terdapat jalan protocol, jalan Utama, jalan lainnya yang mempunyai Nilai ekonomis tinggi;  b. Didepannya terdapat jalan dengan lebar termasuk saluran/got dan berm <math>\geq</math> 15 meter;  c. Daya listrik yang terpasang <math>\geq</math> 4400 VA;  d. Nilai Jual Obyek Pajak (NJOP) <math>\geq</math> Rp.500 juta;  e. Luas bangunan <math>\geq</math> 300 m<sup>2</sup>.</p>	3C	0 - 10 11 - 20 >20	2.300 4.000 5.500	10
<p><b>KELOMPOK PELANGGAN VII</b></p> <p>1. Rumah susun milik dengan penjualan non curah;  2. Rumah tangga (RT) 3, yaitu :  Kelompok pelanggan rumah tangga yang tidak memenuhi salah satu kriteria RT4, RT5 dan memenuhi <b>salah satu</b> kriteria berikut:  a. Didepannya terdapat jalan dengan lebar termasuk saluran/got dan berm <math>\geq</math> 5 meter akan tetapi &lt; 6,5 meter;  b. Daya listrik yang terpasang <math>\geq</math> 1300 VA, akan tetapi &lt; 2200 VA;  c. Nilai Jual Obyek Pajak (NJOP) <math>\geq</math> Rp.150 juta akan tetapi &lt; Rp.250 juta;  d. Luas bangunan <math>\geq</math> 120 m<sup>2</sup> akan tetapi &lt; 200m<sup>2</sup>.</p>	4A	0 - 10 11 - 20 >20	1.000 1.500 2.500	10
<p><b>KELOMPOK PELANGGAN VIII</b></p> <p>1. Kantor Pemerintah/ Asing/ Parpol;  2. Apartemen milik;  3. Rumah tangga (RT) 4, yaitu :  Kelompok pelanggan rumah tangga yang tidak memenuhi <b>salah satu</b> kriteria RT 5 dan memenuhi salah satu kriteria sebagai berikut:  a. Didepannya terdapat jalan dengan lebar termasuk saluran/got dan berm <math>\geq</math> 6,5 meter akan tetapi &lt; 15 meter;  b. Daya listrik yang terpasang <math>\geq</math> 2200 VA, akan tetapi &lt; 4400 VA;  c. Nilai Jual Obyek Pajak (NJOP) <math>\geq</math> Rp.250 juta akan tetapi &lt; Rp.500 juta;  d. Luas bangunan <math>\geq</math> 200 m<sup>2</sup> akan tetapi &lt; 300m<sup>2</sup>.</p>	4B	0 - 10 11 - 20 >20	1.500 2.200 3.500	10

Gambar 2. 3 Tarif PDAM Surya Sembada Surabaya (lanjutan)

Sumber: PDAM Surya Sembada Surabaya

1	2	3	4	5
<b>KELOMPOK PELANGGAN IX</b> 1. Usaha Pabrik/ Industri besar; 2. Semua usaha yang menggunakan air sebagai bahan Baku operasional; 3. Usaha pendinginan, pemanasan, tenaga uap, penyamakan; 4. Rumah Sakit kategori besar; 5. Perguruan tinggi negeri dan swasta akreditasi A.	4C	0 - 10 11 - 20 >20	4.000 6.000 7.500	10
<b>KELOMPOK PELANGGAN X</b> 1. Gudang, Kantor; 2. Restoran/rumah makan, Dept. Store/Swalayan, Pertokoan, Ruko/Rukan di jalan Protokol atau Lebar jalan termasuk berm > 9 meter; 3. Lembaga Pendidikan Profesi ; 4. Cuci/Salon Mobil Besar, Bengkel Automotive Besar; 5. Hotel berbintang, Rental Kondominium Dan Apartemen; 6. Kolam Renang, Fitness Centre, Tempat Hiburan; 7. Stasiun TV, Radio, BUMN, BUMD, Bank; 8. Apotik Besar, Lab.Medis Besar, gedung / fasilitas pemerintah yang dikomersialkan; 9. Pasar Pemerintah yang mengikutsertakan modal swasta / swakeloa; 10.Usaha besar swasta yang terdiri atas PMDN/PMA; 11.Usaha bersama atau besar lainnya diluar kategori usaha kecil.	4D	0 - 10 11 - 20 >20	6.000 8.000 9.500	10
<b>KELOMPOK PELANGGAN XI</b> 1. Pelabuhan Udara 2. Pelabuhan Laut	5	Non Progresif	10.000	10

Dikeluarkan di : Surabaya  
 Tanggal : 03 Maret 2008

A. n. Direksi Perusahaan Daerah Air Minum  
 Kota Surabaya

**DIREKTUR UTAMA**



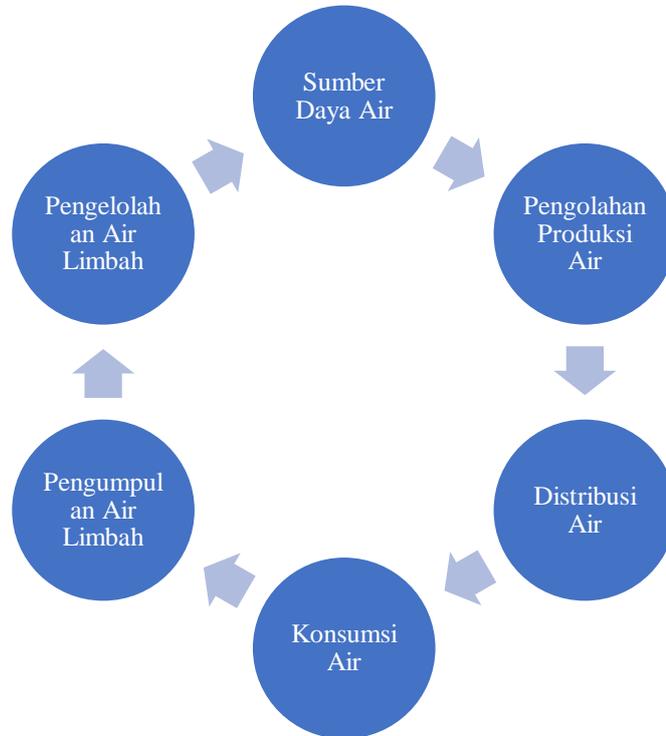
**MOHAMAD SELIM**

Gambar 2. 3 Tarif PDAM Surya Sembada Surabaya (lanjutan)

Sumber: PDAM Surya Sembada Surabaya

### 2.3 Urban Water Cycle (UWC)

*Urban Water Cycle (UWC)* adalah proses hidrologi skala lokal dan dalam lingkungan yang direkayasa (Sowby, 2014). Pada siklus UWC terdapat tahapan yang diantaranya sumber daya air, pengolahan produksi air, distribusi air, konsumsi air, pengumpulan air limbah, pengolahan air limbah. Gambar 2.4 menunjukkan siklus UWC.



Gambar 2. 4 Siklus Air Perkotaan  
(Sumber: Wang, 2015)

#### 2.3.1 Sumber Daya Air

Banyak sumber air tawar ditemukan di lingkungan sebagai akibat dari fenomena geologis dan meteorologis. Air permukaan seperti danau, waduk, dan sungai adalah yang paling terlihat dan sering disadap untuk persediaan air publik. Air tanah, yang ada hampir di mana-mana pada kedalaman tertentu, dapat diekstraksi dengan sumur. Pilihan sumber air tergantung pada banyak faktor, termasuk kualitas, ketersediaan, kedekatan, ekonomi, dan masalah hukum.

### **2.3.2 Pengolahan Produksi Air**

Agar sesuai untuk distribusi dan penggunaan manusia, air baku harus diolah untuk menghilangkan kontaminan dan patogen. Desain proses pengolahan yang tepat tergantung pada kualitas air. Pada tingkat dasar, disinfeksi diperlukan untuk menonaktifkan mikroorganisme berbahaya. Perawatan yang lebih maju melibatkan serangkaian penyaringan, penyelesaian, penyaringan, disinfeksi, dan penyesuaian bahan kimia di fasilitas pengolahan air.

### **2.3.3 Distribusi air**

Setelah pengolahan, air jadi didistribusikan ke pelanggan melalui sistem pipa, pompa, katup, dan reservoir penyimpanan bertekanan. Sementara banyak dari infrastruktur ini terkubur dan tidak terlihat, ini adalah sistem penting yang memastikan bahwa air tersedia kapan dan di mana kita membutuhkannya.

### **2.3.4 Konsumsi Air**

Pelanggan air menggunakan air yang disediakan untuk berbagai keperluan. Industri menggunakan air untuk pembuatan dan pembersihan. Bisnis dan kantor menggunakan air untuk operasi sehari-hari. Di rumah, penghuni menggunakan air untuk memasak, mandi, mencuci, minum, dan lanskap.

### **2.3.5 Pengumpulan Air Limbah**

Kebalikan dari distribusi, sistem pengumpulan air limbah (selokan) mengumpulkan air bekas dan membawanya, biasanya dengan gravitasi, ke fasilitas pengolahan air limbah. Ini terjadi melalui jaringan pipa yang semakin besar. Aliran air limbah perkotaan yang khas adalah lebih dari 99% air dan kurang dari 1% limbah.

### **2.3.6 Pengolahan Air Limbah**

Setelah digunakan, kualitas air telah terintegrasi dan membutuhkan perawatan sebelum dapat diperkenalkan kembali ke lingkungan. Pengolahan air limbah menggunakan proses fisik, kimia, dan biologis untuk menghilangkan limbah.

## 2.4 Non Revenue Water (NRW)

*Non Revenue Water (NRW)* adalah air hasil produksi yang tidak dapat dikonversi menjadi uang karena beberapa faktor seperti kehilangan fisik dan non fisik, perawatan pipa, dan kebutuhan pemadam kebakaran Kota Surabaya. Tabel 2.2 berikut adalah klasifikasi kehilangan air yang dibuat oleh *International Water Association*.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Kehilangan Air

<i>Input Sistem</i>	Konsumsi Resmi	Konsumsi Resmi Berekening	Konsumsi Melalui Meter Bisa Direkeningkan	Air Bisa Direkeningkan (ABR)
			Konsumsi Tanpa Meter Bisa Direkeningkan	
		Konsumsi Resmi Tak Berekening	Konsumsi Melalui Meter Tidak Bisa Direkeningkan	Air Tak Bisa Direkeningkan (ATBR) Atau <i>Non Revenue Water (NRW)</i>
			Konsumsi Tanpa Melalui Meter Tidak Bisa Direkeningkan	
	Kehilangan Air	Kebocoran Non Fisik	Konsumsi Tak Resmi	
			Meter Tak Akurat Dan Kesalahan Data	
		Kebocoran Fisik	Kebocoran Pada Perpipaan Dan Peralatannya	
			Kebocoran Pada Pipa Dinas Sampai Meter Pelanggan	
			Luapan Pada Tangki Dan Reservoir	

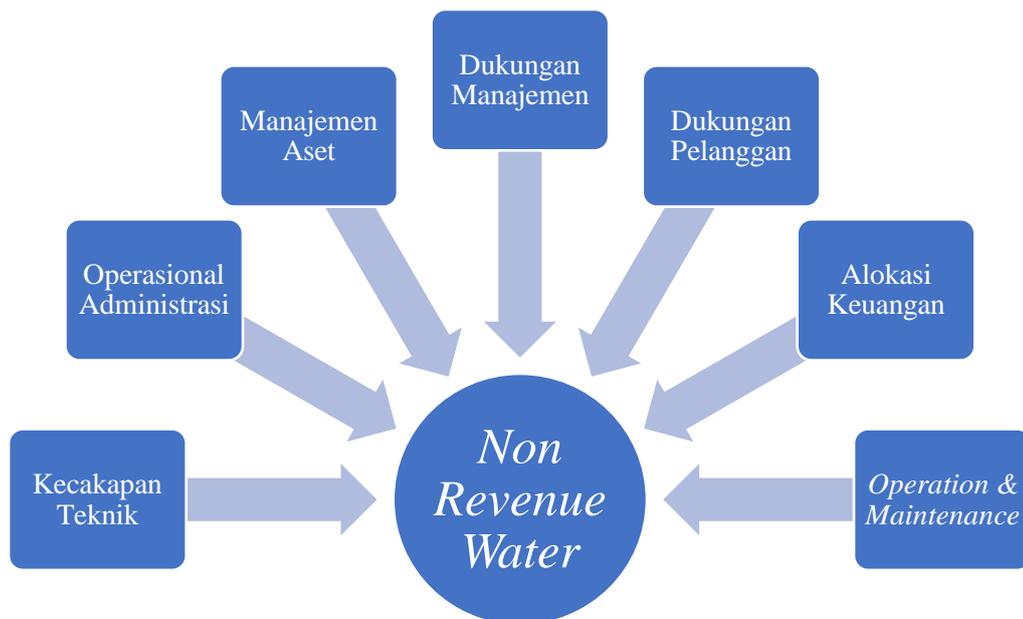
Sumber: Institute Water Associate (2014)

Berdasarkan Tabel 2.2 di atas, kehilangan terbagi menjadi kehilangan fisik dan non fisik. Kehilangan fisik menyebabkan air tidak dapat disalurkan (dijual) kepada pelanggan karena air keluar dari jaringan pipa oleh sebab-sebab tertentu.

Kehilangan fisik meliputi kebocoran pada pipa, *joint*, *fitting*, kebocoran pada tangki atau *reservoir*, limpahan air yang keluar dari *reservoir* serta *open drain* atau sistem *blow-offs* yang tidak memadai.

Sementara itu, kehilangan non fisik adalah kebocoran yang menyebabkan air tidak terukur (tercatat dengan baik dan tepat) karena sebab-sebab tertentu sehingga tidak menjadi pendapatan dari jasa pengelolaan penyediaan air. Termasuk di dalamnya adalah meteran yang tidak akurat baik meteran di tingkat produksi maupun meteran pelanggan, ditambah dengan konsumsi tidak resmi seperti pencurian atau pemakaian ilegal.

Untuk menekan tingkat NRW dibutuhkan investasi yang mencakup perbaikan-perbaikan operasional dan program untuk mengurangi NRW. Tingkat NRW yang menurun berdampak pada rendahnya biaya operasional perusahaan dan meningkatnya pendapatan dari hasil penjualan air. Untuk mewujudkan hal tersebut dibutuhkan kolaborasi dan pelaksanaan program secara komprehensif oleh setiap *stakeholder* terkait. Gambar 2.5 berikut adalah komponen-komponen yang mengurangi tingkat NRW.



Gambar 2. 5 Stakeholder Terkait NRW

Sumber: Kementerian PU, 2016

Dengan menurunnya tingkat NRW diharapkan mampu menjaga kredibilitas perusahaan, menjaga stabilitas tarif, mengurangi biaya produksi, meningkatkan

pendapatan air dari sambungan baru, dan menunda investasi baru pada IPAM/Sumur bor.

## **2.5 Landasan Hukum Pada Penyediaan Air Bersih**

Sumber daya air adalah sumber daya yang dilindungi dan dijaga keberadaannya. Hal ini diatur dalam rangka melestarikan ketersediaan air untuk kesejahteraan dan kehidupan makhluk hidup. Berikut adalah beberapa peraturan dan undang-undang yang terkait dengan penelitian ini.

### **2.5.1 Penyediaan**

Peraturan mengenai konservasi dan pengolahan sumber daya air diatur dalam Undang-Undang Nomor 37 tahun 2014 tentang konservasi tanah dan air yang berisi Konservasi Tanah dan Air adalah upaya perlindungan, pemulihan, peningkatan, dan pemeliharaan Fungsi Tanah pada Lahan sesuai dengan kemampuan dan peruntukan Lahan untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan dan kehidupan yang lestari.

### **2.5.2 Pengolahan**

Berikut adalah peraturan mengenai pengolahan limbah sebelum dilimpahkan ke badan air.

1. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu (BM) Air Limbah Domestik. Di sebutkan pada pasal 1 ayat 1, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.
2. Keputusan menteri Kep-58-MENLH/12/1995. Isinya menyangkut baku mutu limbah cair yang bisa dibuang ke aliran sungai terdekatnya. setiap rumah sakit harus melakukan pemilahan jenis-jenis limbahnya. Sebelum dilimpahkan ke badan air, limbah cair harus diolah terlebih dahulu. Sebab desinfektan *savlon* dan *hibi scrub* bisa membunuh bakteri dalam air karena berpotensi merusak lingkungan.

3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2009 mewajibkan rumah sakit untuk pemenuhan ketentuan mengenai kesehatan, keselamatan lingkungan, dan pengolahan limbah B3.

## **2.6 Konsep Permodelan *System Dynamic***

Pada sub bab ini akan membahas konsep permodelan *system dynamic*. Sistem adalah sekelompok faktor yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan tertentu (Sterman, 2000). Dalam sebuah sistem, setiap faktor mempunyai fungsi yang beragam dalam interaksi dengan yang lainnya. Interaksi antar faktor tersebut membuat sebuah sistem memiliki keterkaitan dan pengaruh oleh perubahan yang terjadi pada lingkungan sistem. Faktor dari sebuah sistem dapat berubah dan pengaruh perubahan yang terjadi pada sistem dapat menjadikan suatu sistem dikatakan kompleks.

### **2.6.1 Pendekatan *System Dynamic***

Permasalahan dalam sistem yang kompleks dapat diselesaikan dengan memodelkan kondisi nyata dari suatu sistem. Permodelan merupakan sebuah cara untuk mengoptimalkan kinerja sistem dengan mengetahui dan menganalisis permasalahan sistem sebelum dilakukan implementasi solusi pada sebuah sistem (Borschev dan Fillippov, 2004). Sedangkan menurut Steerman (2000), Permodelan simulasi adalah tiruan dan penyederhanaan dari sistem yang kompleks dan dibuat secara virtual. Hal ini dilakukan jika eksperimen atau implementasi langsung pada sistem menghasilkan biaya yang terlalu mahal, waktu yang lama dan sulit untuk dilakukan (Dinata, 2014).

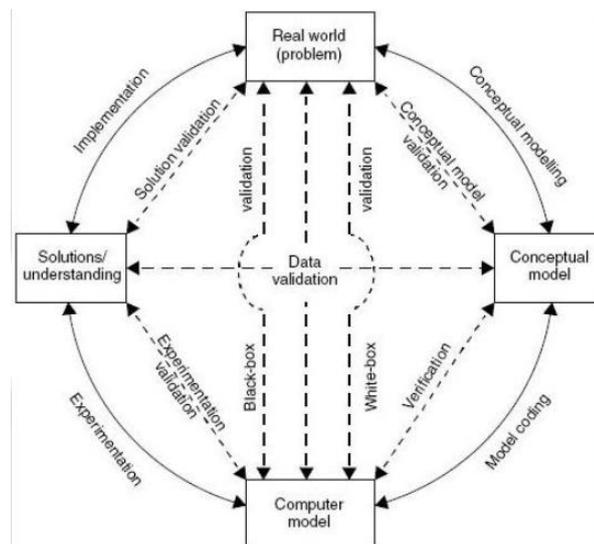
Sistem yang dinamis menunjukkan fenomena perubahan dari waktu ke waktu dan memiliki karakter unik yang saling berkaitan. Perilaku dari sebuah sistem dipengaruhi oleh faktor dan perilaku yang ada di dalam sistem. Pendekatan *system dynamic* menekankan hubungan antar faktor yang membentuk suatu sistem dan menerapkan prinsip sebab akibat umpan balik yang menganalisis permasalahan dinamis. Menurut (Forrester, 1994) *system dynamic* digunakan untuk menyimulasikan sistem yang kompleks dan memiliki hubungan timbal balik. Dengan *system dynamic*, permasalahan dapat dilihat secara holistik sehingga

pembuat kebijakan dapat memetakan komponen-komponen kritis dan dapat merancang kebijakan yang sesuai dengan kebutuhan. Berfokus pada pemecahan masalah, *system dynamic* dapat memahami interaksi antara proses fisik, aliran informasi dan intervensi proses kebijakan sehingga mampu menciptakan sebuah wadah untuk menguji alternatif kebijakan (Forrester, 1994).

### 2.6.2 Tahapan Permodelan *System Dynamic*

Tahapan permodelan *system dynamic* secara umum serupa dengan tahapan permodelan simulasi pada umumnya. Berupa lingkaran tertutup (*close-loop*) yang melibatkan dunia nyata, konseptual model, model komputer (perangkat lunak STELLA), dan pengertian (dalam hal *system dynamic* lebih cenderung sebagai pengertian).

Tahap awal dalam pembuatan model seperti pada Gambar 2.6 adalah melakukan identifikasi masalah secara menyeluruh terhadap kondisi nyata. Lalu dilanjutkan dengan pembuatan model konseptual dengan acuan dunia nyata yang akan dilakukan sebagai bahan pada proses validasi. Tahap ketiga adalah pembuatan model komputasi dengan *software* STELLA yang akan mengacu pada konseptual model untuk proses verifikasi dan pemahaman, intuisi, pengalaman mengenai kondisi nyata untuk proses validasi dibantu dengan data sebagai bahan pertimbangan sekunder pada *system dynamic*.



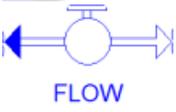
Gambar 2. 6 Tahapan Simulasi Model pada Sebuah Studi Simulasi  
(Sumber: Landry et al., 1983)

Selanjutnya adalah proses memahami perilaku model atau mendapatkan suatu pengetahuan dari model yang telah melalui proses validasi dan verifikasi. Pemahaman perilaku dan faktor-faktor utama pada model ini dilakukan dengan membuat skenario dan memberlakukan skenario pada model simulasi yang dibuat untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil *output* maupun faktor *respond*.

### 2.6.3 Komponen System Dynamic

Pada permodelan *system dynamic*, model simulasi yang dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya dapat digambarkan dengan *stock and flow diagram*. Pada diagram ini terdapat beberapa variabel seperti *level*, *rate*, *auxiliary*, *constant*, dan garis penghubung. Jenis komponen penting diketahui secara jelas sehingga konseptualisasi permodelan *system dynamic* dapat dilakukan dengan tepat (Purnomo 2012). Salah satu *software* yang digunakan dalam membuat *stock and flow diagram* adalah STELLA. Komponen-komponen pada *software* ini memiliki beberapa simbol khusus seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Komponen System Dynamic

No.	Komponen	Simbol	Keterangan
1.	<i>Stock</i>		<i>Stock</i> adalah variabel yang menyatakan akumulasi sejumlah benda. Variabel <i>stock</i> dipengaruhi oleh variabel <i>flow</i> .
2.	<i>Flow</i>		<i>Flow</i> menggambarkan aliran material dan informasi dalam sistem yang bergerak sesuai dengan fungsi waktu.
3.	<i>Conveter</i>		<i>Converter</i> merupakan variabel tambahan berisi persamaan atau informasi yang memengaruhi nilai pada variabel lain. <i>Converter</i> juga dapat mengambil dan mengubah informasi untuk digunakan variabel lainnya.
4.	<i>Connector</i>		<i>Connector</i> adalah variabel yang digunakan untuk mengirimkan informasi maupun <i>input</i> untuk pengaturan flow.

#### **2.6.4 Konsep Pengujian Model**

Pengujian model merupakan cara untuk mengevaluasi suatu model yang telah dibangun apakah telah sesuai dengan kondisi nyata atau belum. Salah satu cara untuk melakukan pengujian model adalah dengan validasi. Pengujian model dapat dilakukan dengan menguji struktur dan perilaku model (Schreckengost, 1985). Terdapat beberapa pengujian yang dapat dilakukan pada sebuah model sistem. Seperti ditunjukkan dibawah ini:

##### **2.6.4.1 Uji Struktur Model**

Tujuan dari uji struktur model ini adalah untuk mengetahui apakah model yang dibangun sudah mampu merepresentasikan kondisi sistem nyata. Pengujian ini diukur dengan sejauh mana interaksi variabel dalam model dapat menirukan interaksi pada sistem nyata. Dalam *system dynamic*, hal utama yang dipertimbangkan adalah eksploitasi sistem nyata, pengalaman dan intuisi (hipotesis), sedangkan data memainkan peranan sekunder (Schreckengost, 1985).

##### **2.6.4.2 Uji Parameter Model**

Tujuan dari uji parameter model adalah untuk mengetahui konsistensi nilai parameter yang telah dimasukkan dalam model. Uji parameter model dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu validasi variabel *input* dan validasi logika dalam hubungan antar variabel. Validasi variabel *input* dilakukan dengan membandingkan data historis nyata dengan data yang diinputkan ke dalam model. Sedangkan validasi logika antar variabel dilakukan dengan mengecek logika yang ada dalam sistem, baik *input* maupun *output* (Schreckengost, 1985).

##### **2.6.4.3 Uji Kecukupan Batasan**

Uji kecukupan batasan dilakukan dengan menguji variabel dalam sistem apakah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tujuan model. Setiap variabel yang berkaitan dengan model harus dimasukkan karena merupakan representasi dari sistem nyata. Oleh karena itu, dalam *system dynamic* tidak

ada batasan model yang digunakan, namun hanya dibatasi oleh uji kecukupan batasan (Stermann, 2004).

#### **2.6.4.4 Uji Kondisi Ekstrem**

Tujuan dari kondisi ekstrem ini adalah untuk menguji kemampuan model yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik pada kondisi ekstrem. Pengujian ini akan menunjukkan kesalahan struktural maupun kesalahan nilai parameter. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan nilai ekstrem terbesar maupun terkecil pada variabel terukur dan terkendali (Wirjodirjo, 2012).

#### **2.6.4.5 Uji Perilaku Model**

Uji perilaku model atau replikasi dilakukan untuk mengetahui apakah model sudah berperilaku sama dengan kondisi nyata atau representatif (Barlas, 1996).

## 2.7 Penelitian-Penelitian Terdahulu

Berikut adalah Tabel 2.4 yang menjelaskan tentang penelitian-penelitian sistem manajemen air yang telah dilakukan sebelumnya, diantaranya:

Tabel 2. 4 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Tahun	Judul Penelitian	Fokus Penelitian			Hasil Penelitian
				Ekonomi	Energi	Infrastruktur	
1.	Tim ITS Surabaya	2018	Surabaya <i>Drainage Master Plan 2018-2038</i>			√	Rancangan kebijakan pembuatan infrastruktur drainase di Kota Surabaya sebagai solusi untuk penampungan, pengaliran air, dan pembuatan manajemen limbah terpadu.
2.	Mahdi Zargami, Simin Akbariyeh	2012	<i>System dynamic modelling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran</i>	√			Desain model <i>system dynamic</i> untuk kota Tabriz. Tujuannya adalah mengintegrasikan manajemen air perkotaan di kota tersebut sebagai upaya terhadap krisis air di masa depan.
3.	Ines Winz Gary Brierley Sam Trowsdale	2008	<i>The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management</i>	√			Menggarisbawahi betapa pentingnya pemanfaatan metode <i>system dynamic</i> dalam membantu agenda keberlanjutan, <i>multiple bottom lines</i> , dan partisipasi <i>stakeholder</i> dalam upaya efisiensi pada tantangan yang dinamis.
4.	Valeria Puleo Vincenza Notaru Gabriele Freni Goffredo La Loggia	2016	<i>Water and Energy Saving in Urban Water System: the ALADIN project</i>		√		Nexus antara air dan energi. ALADIN adalah model yang mengintegrasikan penggunaan air, kehilangan air, efisiensi energi berdasarkan pipa, sistem drainase, fasilitas pengolahan, dan <i>service level</i> pelanggan.

Tabel 2. 4 Penelitian-Penelitian Terdahulu (lanjutan)

No.	Nama	Tahun	Judul Penelitian	Fokus Penelitian			Hasil Penelitian
				Ekonomi	Energi	Infrastruktur	
5.	Kementerian PU BAPPENAS WASAP	2012	<i>Java Water Resources Strategy Study (JWRSS)</i>	√	√	√	Studi makro tentang keberlanjutan sungai dan sumber air di pulau Jawa. Hasil laporan tersebut memberikan data tentang kondisi air pada tahun 2030 dengan berbagai pendekatan. Dalam laporan ini juga disebutkan bencana-bencana yang (mungkin) terjadi di masa yang akan datang.
6.	Muhammad Wakeel Bin Chen	2016	<i>Energy Consumption in Urban Water Cycle</i>	√	√		Kesadaran tentang pentingnya air dan energi di masyarakat dibahas pada penelitian ini. Mulai dari proses hulu hingga hilir tentang hubungan air dan konsumsi energi dibahas pada penelitian ini.
7.	Carlos Anres Pena-Guzman Daniel Prats Andres Torres	2017	<i>Urban Water Cycle Simulation/Management Modles: A Review</i>	√	√		Dari <i>review</i> penelitian ini terdapat 4 bagian utama pada <i>urban water cycle</i> yaitu air hujan, polutan, energi, dan bahan kimia. Pada model tersebut dijelaskan juga secara rinci proses pada UWC.
8.	Juan Camilo Barrera Ramirez	2008	<i>Non-Revenue Water Reduction Programs in Colombia: Methodology Analysis using a System Dynamics Approach.</i>	√	√		Dalam penelitian ini membandingkan tata kelola air di Colombia dengan beberapa model skenario penurunan NRW. Pada penelitian ini, skenario dirancang berdasarkan tujuan bagaimana hasil akhir NRW diharapkan.

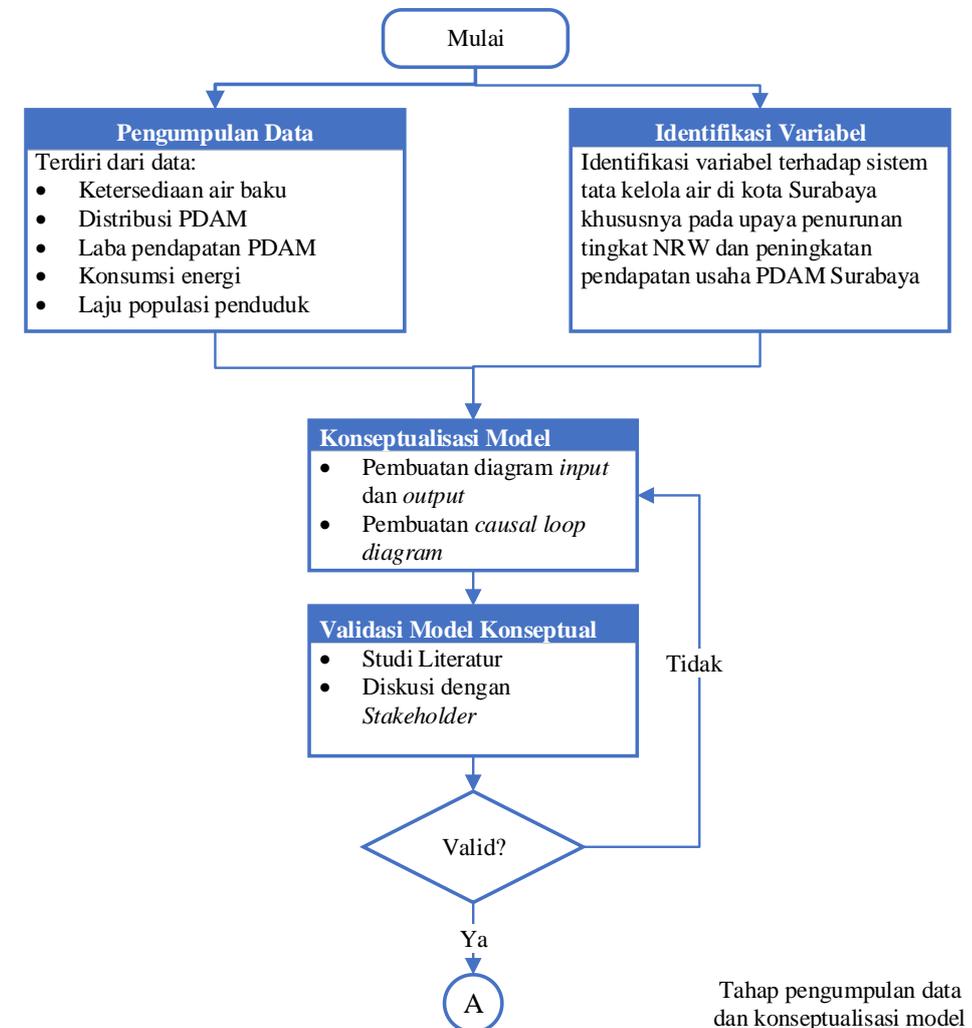
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

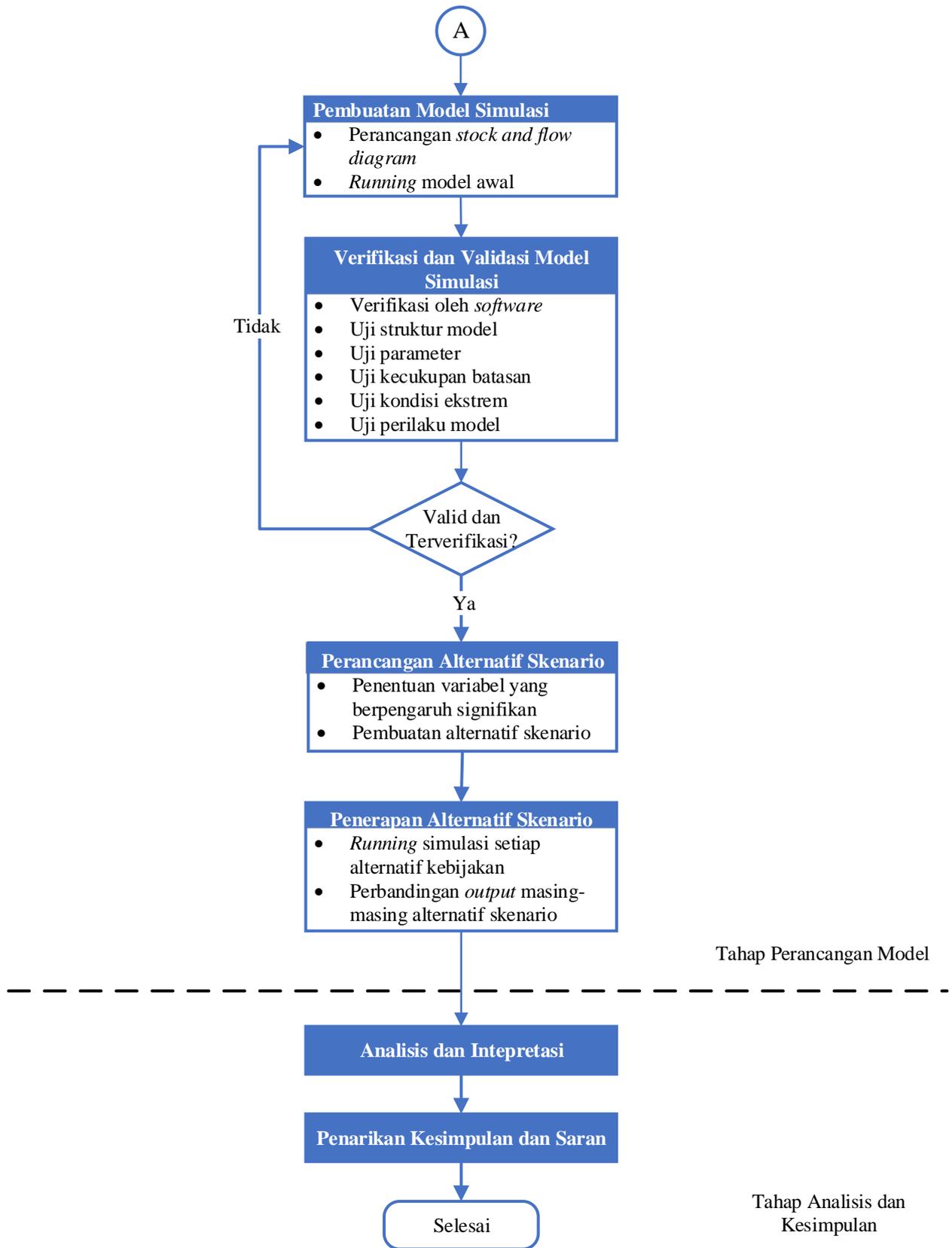
Metodologi penelitian merupakan kerangka berpikir yang digunakan sebagai acuan peneliti dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Metode penelitian yang disusun terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap pengumpulan dan konseptualisasi model, tahap perancangan model, dan tahap analisis dan kesimpulan

#### 3.1 Flowchart Penelitian

Pada sub bab ini menjelaskan mengenai tahapan yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian. Gambar 3.1 berikut adalah *flowchart* alur penelitian dan pengerjaan tugas akhir:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Tugas Akhir



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Tugas Akhir (lanjutan)

### **3.2 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data adalah proses pengambilan data yang berkaitan dengan perancangan dan permodelan pada sistem yang diteliti. Proses ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi-informasi yang dibutuhkan terkait variabel dalam sistem pada pengembangan alternatif kebijakan penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data sekunder dari berbagai instansi, di antaranya adalah dari Pemerintah Kota Surabaya khususnya Badan Perencanaan Pembangunan Kota (BAPPEKO), Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH), PDAM Surya Sembada Surabaya, dan *Non Government Organization* (NGO) lingkungan Ecoton Surabaya. Data sekunder yang dihimpun terkait dengan NRW aspek teknis yaitu ketersediaan air secara fisik dan aspek non teknis yaitu pendapatan usaha PDAM Surya Sembada Surabaya. Aspek-aspek yang diteliti adalah sumber air baku Kota Surabaya, distribusi air bersih PDAM, pendapatan usaha PDAM, konsumsi terhadap energi, dan laju populasi penduduk.

### **3.3 Identifikasi Variabel**

Pada tahap identifikasi variabel, dilakukan identifikasi variabel yang berpengaruh terhadap sistem tata kelola air bersih di Kota Surabaya. Proses pengidentifikasian variabel dilakukan dengan observasi dan studi literatur terkait dengan strategi upaya penurunan NRW dan peningkatan laba PDAM Surabaya. Variabel-variabel yang diidentifikasi diantaranya meliputi air baku, laju penduduk Kota Surabaya, proses produksi dan distribusi air bersih, pendapatan usaha PDAM Surabaya, dan pengaruh terhadap energi. Pada tahap ini, dilakukan studi literatur terkait dengan NRW dan PDAM Surabaya.

### **3.4 Konseptualisasi Model**

Pada tahap perancangan model konseptual, konseptualisasi model berdasarkan sistem pada kondisi nyata dengan menggambarkan diagram *input-output* dan CLD. Model Konseptual dibuat sebagai dasar acuan dalam melakukan permodelan *system dynamic*. Tahap pembuatan diagram *input-output* dilakukan untuk mengetahui variabel yang berperan menjadi *input* pada penelitian ini, *output*

yang dihasilkan, dan lingkungan yang mempengaruhi. Selanjutnya dilakukan pembuatan CLD, proses pembuatan CLD dilakukan dengan memahami perilaku sistem yang dinamis, serta menggambarkan hipotesis awal tentang adanya penyebab dinamika sistem. Pada proses ini, model konseptual dibuat untuk menunjukkan keterkaitan antar variabel dan aspek yang membentuk sistem tata kelola air bersih di Surabaya.

### **3.5 Validasi Model Konseptual**

Pada tahap validasi model konseptual, diagram *input-output* dan CLD yang telah dibuat divalidasi dengan cara melakukan studi literatur dan diskusi dengan *stakeholder* terkait model konseptual. Studi literatur pada penelitian ini dibutuhkan sebagai referensi dalam pembuatan model *input-output* dan CLD sehingga model yang dibuat memiliki struktur yang valid. Pada proses diskusi, variabel-variabel yang berpengaruh terhadap sistem dimasukkan dan dibatasi berdasarkan tujuan penelitian yaitu upaya penurunan NRW dan peningkatan laba pendapatan usaha PDAM. Diskusi dilakukan dengan pertimbangan *expert judgment* yang dalam penelitian ini adalah *stakeholder* terkait untuk mengetahui apakah model telah merepresentasikan kondisi nyata.

### **3.6 Pembuatan Model Simulasi**

Pada tahap pembuatan model simulasi dilakukan dengan bantuan *software* STELLA berdasarkan CLD yang dibuat pada tahapan sebelumnya. Pembuatan model simulasi menggunakan SFD berdasarkan sistem tata kelola air bersih di Kota Surabaya. Pada pembuatan SFD, model simulasi dibagi menjadi lima sub model yaitu sub model air baku, sub model produksi dan distribusi, sub model *coverage*, sub model energi, dan sub model laba pendapatan PDAM Surabaya. Model tersebut dibuat untuk merepresentasikan kondisi nyata. Setelah itu dilakukan *running* hasil dari STELLA akan ditunjukkan variabel-variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap *output* model. Terakhir adalah merancang alternatif skenario kebijakan terhadap sistem.

### **3.7 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi**

Pada tahap verifikasi dan validasi model simulasi dilakukan untuk mengetahui apakah model simulasi yang telah dibentuk telah merepresentasikan kondisi nyata. Dalam melakukan verifikasi dan validasi model simulasi, terdapat beberapa langkah diantaranya adalah verifikasi model menggunakan *software* Stella, uji struktur model dengan *stakeholder* yang berkaitan, uji parameter model dengan menyesuaikan logika CLD, uji kecukupan batasan dengan menentukan batasan pada sistem model simulasi, uji ekstrem untuk mengetahui sensitivitas model, dan uji perilaku model apakah model telah merepresentasikan kondisi nyata.

### **3.8 Perancangan Alternatif Skenario Kebijakan**

Pada tahap perancangan alternatif skenario kebijakan akan dibandingkan dengan model alternatif dengan tujuan untuk mendapatkan skenario terbaik dalam mengambil sebuah keputusan. Tahap perancangan dilakukan dengan menggunakan *software* STELLA. Perancangan model pada tahap ini adalah berupa SFD. Pada penelitian ini, model simulasi dibuat untuk mengetahui alternatif kebijakan penurunan NRW di Kota Surabaya terhadap aspek ketersediaan air baku, distribusi, konsumsi energi, laju populasi penduduk, dan pendapatan usaha PDAM Surabaya. Variabel yang telah diidentifikasi pada proses konseptualisasi model akan dikembangkan pada perancangan model simulasi sesuai ketentuan SFD.

Pada bagian skenario kebijakan, alternatif kebijakan yang dibuat akan merujuk pada tujuan penelitian. Skenario kebijakan dirumuskan berdasarkan variabel kritis yang memengaruhi sistem. Variabel tersebut akan didesain sebagai alternatif skenario untuk mengetahui dampak sebab akibat dari model kebijakan saat ini.

### **3.9 Analisis dan Interpretasi**

Pada tahap ini dilakukan analisis dan interpretasi terhadap hasil simulasi model awal dan hasil simulasi setelah penerapan pengembangan alternatif kebijakan penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya. Analisis pada penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh teknis dan non teknis terhadap pemenuhan air bersih di Kota Surabaya.

### **3.10 Penarikan Kesimpulan dan Saran**

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dimana peneliti akan menyimpulkan hasil penelitian sehingga pembaca dapat menangkap informasi dengan lebih mudah. Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian yang ditetapkan. Selanjutnya, juga akan diberikan saran kepada *stakeholder* terkait dan penelitian terkait mengenai NRW.

## BAB IV

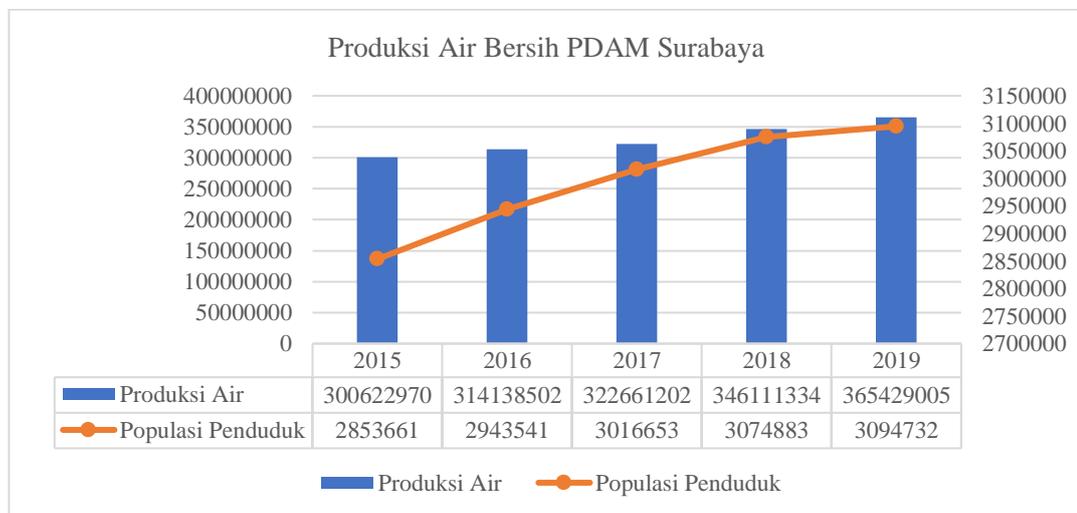
### PERANCANGAN MODEL SIMULASI

Pada bab ini akan dijelaskan pembuatan model simulasi yang terdiri dari identifikasi variabel, pembuatan model CLD, SFD, verifikasi, dan validasi model.

#### 4.1 Identifikasi Sistem Amatan

Dalam membangun sistem dibutuhkan pemahaman mengenai sistem amatan yang dijadikan acuan dalam membangun model simulasi. Hal ini bertujuan agar model yang dibangun dapat merepresentasikan sistem amatan sesuai dengan kondisi nyata. Penentuan entitas sebagai dasar dalam membangun model perlu ditentukan sebelum membangun model *system dynamics*. Pada sub bab ini, sistem amatan yang telah diidentifikasi adalah kondisi saat ini pemenuhan konsumsi air bersih di Kota Surabaya.

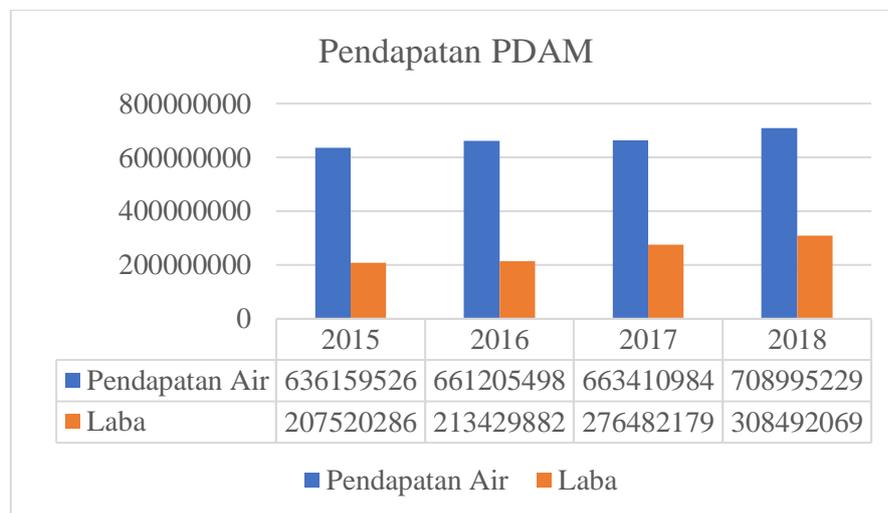
Tingkat pertumbuhan penduduk yang setiap tahun meningkat mengakibatkan kebutuhan akan pasokan air bersih juga turut meningkat. Suplai sumber air Kota Surabaya berasal dari Kali Surabaya yang memiliki hulu dari Sungai Brantas dan sumber mata air Umbulan dan Pandaan. Dari sumber air tersebut diproses dan diproduksi oleh PDAM untuk memenuhi kebutuhan permintaan Kota Surabaya. Gambar 4.1 berikut merupakan produksi air bersih PDAM Surabaya dari tahun 2015-2019.



Gambar 4. 1 Produksi Air Bersih PDAM Surabaya  
(sumber: PDAM Surabaya, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.1 jumlah produksi air pada setiap tahunnya mengalami peningkatan dari semula pada tahun 2015 sebesar 300.629.270 m<sup>3</sup>, menjadi sebesar 365.429.005 m<sup>3</sup> pada tahun 2019. Setiap tahunnya terjadi penambahan kapasitas produksi rata-rata sebesar 16.201.508 m<sup>3</sup> air per tahun atau 5% per tahun. Tingkat produksi tersebut berkaitan dengan bertambahnya jumlah pelanggan PDAM Surabaya yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. Jumlah pelanggan PDAM Surabaya pada tahun 2019 mencapai 572.800 pelanggan. Setiap pelanggan PDAM mewakili satu keluarga atau satu pelanggan untuk setiap 5,4 populasi penduduk Surabaya. Hal ini menunjukkan bahwa 99,9% penduduk Surabaya (3.094.732 orang) telah tersambung dengan saluran pipa PDAM.

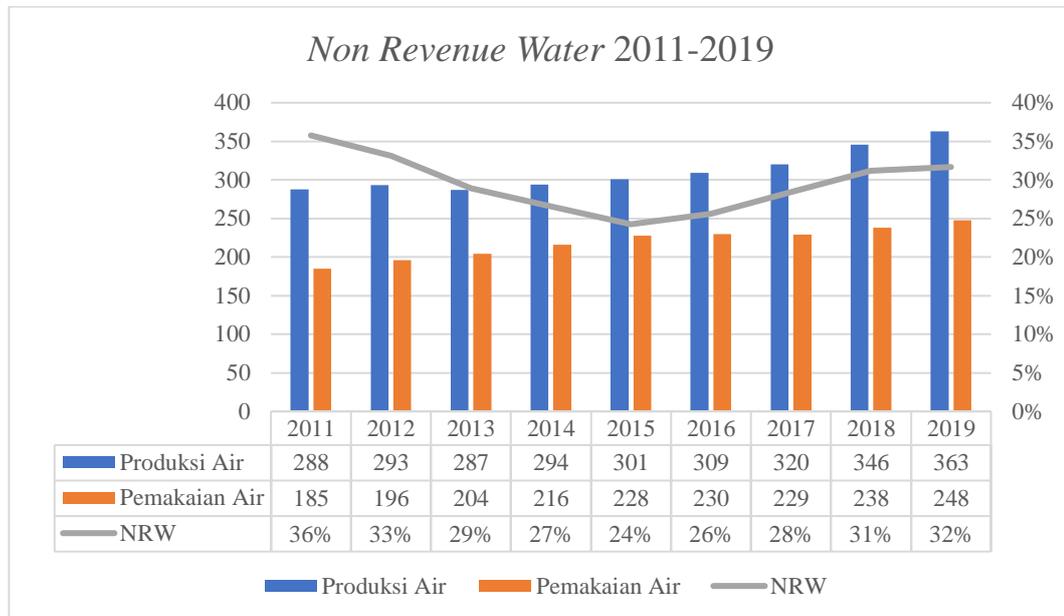
Jumlah air yang tersalurkan tersebut selanjutnya akan dikenakan biaya untuk setiap m<sup>3</sup> yang dikonsumsi. Dari hasil penjualan air tersebut PDAM dapat melakukan aktivitas bisnisnya. Berikut adalah pendapatan tahun 2015-2018 yang diperoleh dari hasil penjualan PDAM Surabaya.



Gambar 4. 2 Pendapatan Air PDAM Surabaya  
(Sumber: PDAM Surabaya, 2018)

Berdasarkan Gambar 4.2, Pendapatan PDAM dari hasil penjualan air pada tahun 2018 sebesar Rp 708.995.229.000,-. Pendapatan yang diperoleh tersebut dipengaruhi oleh meningkatnya cakupan layanan dari 2017-2018 yang sebesar 1.46%. Dengan mengurangi tingkat NRW, jumlah air yang hilang tersebut dapat dimanfaatkan untuk ketersediaan air di masa depan dan dapat menyelamatkan

pendapatan potensial. Berikut adalah grafik *Non Revenue Water 2011-2019* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 *Non Revenue Water 2011-2019*

(sumber: PDAM Surabaya, 2019)

Berdasarkan Gambar 4.3, setiap tahun jumlah pemakaian meningkat bersamaan dengan jumlah pelanggan PDAM yang bertambah. Namun terdapat kehilangan air yang linear setiap tahunnya. Kebocoran tersebut adalah jumlah air yang tidak direkeningkan atau diuangkan. Faktor penyebab NRW beragam, ada yang disebabkan oleh kebocoran fisik yang dapat terlihat dan ada pula kebocoran non fisik yang disebabkan oleh pencurian dan *meter error* yang tidak dapat terlihat. Kebocoran tersebut termasuk dalam kebocoran yang terdeteksi dan dapat diperbaiki.

Pada tahun 2015, tingkat NRW menyentuh angka terendah dalam kurun 2011-2019 yaitu sebesar 24%. Hal tersebut disebabkan faktor tekanan pipa dalam proses produksi dan distribusi air bersih. Pada tahun 2016 hingga 2019 terjadi peningkatan tingkat NRW sebesar 8%. Peningkatan NRW tersebut disebabkan karena pada kurun waktu tersebut sedang dilakukan perbaikan pada *box culvert* di beberapa titik Kota Surabaya yang menyebabkan kebocoran fisik dan peningkatan cakupan layanan yang menyebabkan peningkatan tekanan pada pompa sehingga

kehilangan air yang terjadi sebelumnya semakin besar dikarenakan perubahan tekanan dalam mendistribusikan air bersih ke pelanggan (Baihaqi, 2019). Tabel 4.1 berikut menunjukkan data *water balance* PDAM Surabaya 2019.

Pada tabel 4.1, diketahui volume produksi sebesar 363.252.383 m<sup>3</sup>. Dari volume tersebut, jumlah air yang terdistribusi dan dapat diuangkan sebesar 248.127.428 m<sup>3</sup>. Sedangkan sisa volume sebesar 115.124.955 m<sup>3</sup> tidak dapat diuangkan, jumlah tersebut adalah NRW yang disebabkan oleh faktor fisik dan non fisik. Faktor penyebabnya adalah konsumsi tak bermeter tak berekening yang digunakan untuk operasional PDAM seperti *flushing*, pemotongan pipa, kebutuhan pemadam kebakaran, dan lain-lain yang sebesar 227.664 m<sup>3</sup>. Faktor selanjutnya adalah kebocoran fisik meliputi kebocoran pipa distribusi & transmisi yang sebesar 13.261.212 m<sup>3</sup>. Faktor terakhir adalah kebocoran non fisik yang terdiri dari *meter error* dan pemakaian sambungan ilegal yang sebesar 101.454.395 m<sup>3</sup>.

Tabel 4. 1 *Water Balance* 2019

<b>WATER BALANCE 2019</b>							
<b>Volume Input Sistem</b> 363.252.383 m <sup>3</sup>	<b>Konsumsi Resmi</b> 248.355.092 m <sup>3</sup>	<b>Konsumsi Resmi Berekening</b> 248.127.428 m <sup>3</sup>	<b>Konsumsi Bermeter Berekening</b>		<b>Air Berekening</b>  248.127.428 m <sup>3</sup>		
			Sumber Data			Volume	
			Rekening Pemakaian Air Pelanggan			248.048.075 m <sup>3</sup>	
			Tambahan Pemakaian (TP) (*)			120.899 m <sup>3</sup>	
			Suplisi Rek (*)			88 m <sup>3</sup>	
			Restitusi Rek (*)			643.952 m <sup>3</sup>	
		<b>Konsumsi Tak Bermeter Berekening</b>					
		Sumber Data		Volume			
		Tangki Air		24.885 m <sup>3</sup>			
		Sweeping (*)		577.433 m <sup>3</sup>			
				<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b>  227.664 m <sup>3</sup>	<b>Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening</b>		
					Sumber Data		Volume
		Tangki Air Gratis			47.466 m <sup>3</sup>		
		PMK			3.753 m <sup>3</sup>		
		Pemeliharaan Distribusi : - Flushing/Cuci Pipa			131.479 m <sup>3</sup>		
		- Pemotongan Pipa			9.505 m <sup>3</sup>		
		- Pemasangan Baru (PSB) (*)		9.620 m <sup>3</sup>			

Tabel 4. 1 *Water Balance* 2019 (lanjutan)

<b>WATER BALANCE 2019</b>						
			- Bukaan Kembali/Bekas tutupan (*)	<b>9.330 m<sup>3</sup></b>	<b>NRW</b> <b>115.124.955 m<sup>3</sup></b> <b>31,69 %</b>	
			- Pindah Pipa Penghubung/SR/TDA buka meter			
			- Pindah Letak Meter/meninggikan meter	<b>1.868 m<sup>3</sup></b>		
			- Ganti Meter/Stop Kran/Kopling	<b>14.643 m<sup>3</sup></b>		
<b>Kehilangan Air</b> <b>114.897.291 m<sup>3</sup></b>	<b>Kehilangan Air Non Fisik</b> <b>13.261.212 m<sup>3</sup></b>	<b>Konsumsi Tak Resmi</b>				
		Sumber Data		Volume		
				Estimasi Jumlah & Pemakaian Sambungan Ilegal (*)		<b>34.196 m<sup>3</sup></b>
		<b>Ketidakakuratan Meter &amp; Penanganan Data</b>				
		Sumber Data		Volume		
				Analisa Meter dan Standar Pemakaian		<b>13.227.016 m<sup>3</sup></b>
		<b>Kebocoran Fisik</b>				
		Sumber Data		Volume		
				Kebocoran di Pipa Penghubung	<b>37.300.141 m<sup>3</sup></b>	
				Kebocoran Pipa Transmisi & Distribusi	<b>77.001.593 m<sup>3</sup></b>	

Sumber: PDAM Surabaya, 2019

Berdasarkan hasil wawancara dengan *stakeholder* yang terkait. Salah satu faktor yang memengaruhi NRW di Kota Surabaya pada tahun 2016 meningkat disebabkan karena perbaikan jalan yang dilakukan oleh Pemkot Surabaya yang menyebabkan tekanan pada pipa di tempat sekitar dilakukan perbaikan selain itu juga peningkatan jumlah pelanggan PDAM Surabaya yang menyebabkan peningkatan tekanan pipa untuk mendistribusikan air bersih ke pelanggan. Faktor lain yang marak terjadi di Surabaya adalah pencurian air. Penyebab pencurian air beragam mulai dari pemotongan jaringan, penyalahgunaan pemakaian, dan lain-lain. Beberapa langkah yang ditempuh untuk mengurangi jumlah NRW adalah dengan melakukan perbaikan dan rehabilitasi, investigasi pipa, pencarian pencurian air, pergantian meter baru (Faber & Radakrishnan, 2017).

## **4.2 Konseptualisasi Model**

Pada konseptualisasi model ini berkaitan dengan identifikasi variabel yang memiliki pengaruh terhadap sistem pendistribusi air bersih di Kota Surabaya serta membuat diagram *input-output* dan CLD untuk mengetahui variabel kritis yang berpengaruh terhadap sistem amatan.

### **4.2.1 Identifikasi Variabel**

Identifikasi variabel adalah tahapan awal dalam melakukan konseptualisasi model. Variabel-variabel yang dimasukkan dan berpengaruh terhadap sistem amatan. Identifikasi ini bertujuan untuk memperdalam pengetahuan dan informasi terhadap sistem amatan yang sistem distribusi air di Surabaya dengan mengetahui pengaruh kebocoran terhadap distribusi air. Variabel yang diidentifikasi merupakan variabel terkait dengan sistem amatan. Berikut adalah identifikasi variabel CLD yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Identifikasi Variabel *Causal Loop Diagram*

No.	Variabel Entitas	Variabel Entitas (+,-)			
		<i>Pre</i>		<i>Post</i>	
<b>Sub Ketersediaan Air Baku</b>					
1	Air Permukaan	Curah Hujan	+	Air Baku Surabaya	+
2	Air Bawah Tanah	Curah Hujan	+	Air Baku Surabaya	+
		<i>Water Runaway</i>	-	Kedalaman Ketersediaan Air Tanah	-
3	Curah Hujan			Air Permukaan	+
				Air Bawah Tanah	+
				<i>Water Runaway</i>	+
4	<i>Water Runaway</i>	Curah Hujan	+	Air Bawah Tanah	-
		Alih Fungsi Lahan	+		
5	Alih Fungsi Lahan	Pertumbuhan Penduduk	+	<i>Water Runaway</i>	+
6	Pertumbuhan Penduduk			Alih Fungsi Lahan	+
				Pembukaan Rekening Baru	+
7	Air Laut			Air Marginal	+
8	Air Rawa			Air Marginal	+
9	Air Pembuangan			Air Marginal	+
10	Air Marginal	Air Laut	+		
		Air Rawa	+		
		Air Pembuangan	+		
11	Air Baku Surabaya	Air Permukaan	+	Produksi Air Bersih	+
		Air Bawah Tanah	+		
		Air Marginal	+		
		Produksi Air Bersih	-		
<b>Sub Model Produksi dan Distribusi</b>					
12	Produksi Air Bersih	Permintaan Air Bersih	+	Air Baku Surabaya	-
		Biaya Operasional	+	Konsumsi Resmi	+
		Kapasitas Produksi	+		
		Kehilangan Air	+		
		Air Baku Surabaya	+		
13	Permintaan Air Bersih	Akses Air Bersih PDAM	+	Produksi Air Bersih	+
		Pelanggan PDAM	+		
14	Kapasitas Produksi	Investasi	+	Produksi Air Bersih	+
15	NRW	NRW Fisik	+	Produksi Air Bersih	+
		NRW Non Fisik	+	Tarif Air Bersih	+
				Potensi Energi	+
				Potensi Pendapatan Air	+

Tabel 4. 2 Identifikasi Variabel *Causal Loop Diagram* (lanjutan)

No.	Variabel Entitas	Variabel Entitas (+.-)			
		<i>Pre</i>		<i>Post</i>	
<b>Sub Ketersediaan Air Baku</b>					
16	NRW Non Fisik	<i>Meter Error</i>	+	NRW	+
		Konsumsi tidak resmi	+		
17	<i>Meter Error</i>	Perbaikan dan Rehabilitasi Meter	-	NRW Non Fisik	+
				Perbaikan dan Rehabilitasi Meter	+
18	Konsumsi Tak Resmi	<i>Sweeping</i>	-	NRW Non Fisik	+
				<i>Sweeping</i>	+
19	Perbaikan dan Rehabilitasi Meter	<i>Meter Error</i>	+	<i>Meter Error</i>	-
		Investasi	+		
20	<i>Sweeping</i>	Konsumsi tidak resmi	+	Konsumsi tidak resmi	-
		Investasi	+	Konsumsi Resmi	+
21	NRW Fisik	Kebocoran dan kerusakan Pipa	+	NRW	+
22	Kebocoran dan Kerusakan Pipa	Perbaikan dan rehabilitasi pipa	-	NRW Fisik	+
				Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa	+
23	Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa	Kebocoran dan kerusakan Pipa	+	Kebocoran dan Kerusakan Pipa	-
		Investasi	+		
24	Energi yang Dapat Diselamatkan	NRW	+		
25	Konsumsi Resmi	Produksi Air Bersih	+	Tarif Air Bersih	-
		<i>Sweeping</i>	+	Pendapatan Air	+
<b>Sub Model Laba PDAM</b>					
26	Biaya Operasional	Beban Usaha	+	Produksi Air Bersih	+
				Beban Usaha	+
27	Laba PDAM	Beban Usaha	-	Investasi	+
		Investasi	-		
		Pendapatan Air	+		
28	Beban Usaha	Biaya Operasional	+	Biaya Operasional	+
				Laba PDAM	-
29	Pendapatan Air	Konsumsi Resmi	+	Laba PDAM	+
		Tarif Air Bersih	+		
30	Investasi	Laba PDAM	+	Kapasitas Produksi	+
				Perbaikan dan Rehabilitasi Meter	+

Tabel 4. 2 Identifikasi Variabel *Causal Loop Diagram* (lanjutan)

No.	Variabel Entitas	Variabel Entitas (+.-)			
		<i>Pre</i>		<i>Post</i>	
				<i>Sweeping</i>	+
				Laba PDAM	-
				Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa	+
31	Tarif Air Bersih	NRW	+	Pendapatan Air	+
		Konsumsi Resmi	-		
32	Potensi Pendapatan Air	NRW	+		
<b>Sub Model Coverage</b>					
33	Akses Air Bersih PDAM	Pelanggan PDAM	+	Permintaan Air Bersih	+
34	Pelanggan PDAM	Pembukaan Rekening Baru	+	Akses Air Bersih PDAM	+
		Penutupan Rekening	-	Permintaan Air Bersih	+
35	Pembukaan Rekening Baru	Pertumbuhan Penduduk	+	Pelanggan PDAM	+
36	Penutupan Rekening			Pelanggan PDAM	-

Setelah melakukan identifikasi hubungan sebab akibat terhadap variabel CLD, hal selanjutnya adalah melakukan identifikasi masing-masing variabel beserta satuannya. Berikut dapat dilihat identifikasi CLD pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Identifikasi *Causal Loop Diagram*

No.	Variabel	Deskripsi	Satuan
<b>Sub Ketersediaan Air Baku</b>			
1	Air Permukaan	Sumber air baku yang posisinya di atas tanah (air sungai, danau, dan mata air)	m <sup>3</sup> /tahun
2	Air Bawah Tanah	Sumber air baku yang posisinya di bawah permukaan tanah (sumur artesis, sumur gali)	m <sup>3</sup> /tahun
3	Curah Hujan	Besar volume hujan per detik yang turun di Kota Surabaya	m <sup>3</sup> /tahun
4	<i>Water Runaway</i>	Jumlah air yang tidak terserap karena faktor alih fungsi lahan	m <sup>3</sup> /tahun
5	Alih Fungsi Lahan	Perubahan fungsi lahan yang dahulu daerah resapan menjadi lahan terbangun	<i>unitless</i>
6	Pertumbuhan Penduduk	Laju pertumbuhan Kota Surabaya per tahun	orang/tahun

Tabel 4. 3 Identifikasi *Causal Loop Diagram* (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Satuan
7	Air Laut	Sumber air baku alternatif yang berasal dari laut yang membutuhkan teknologi pengolahan	m <sup>3</sup> /tahun
8	Air Rawa	Sumber air baku alternatif yang berasal dari rawa yang membutuhkan teknologi pengolahan	m <sup>3</sup> /tahun
9	Air Pembuangan	Sumber air baku alternatif yang berasal dari pembuangan yang membutuhkan teknologi pengolahan	m <sup>3</sup> /tahun
10	Air Marginal	Sumber air baku alternatif (laut, rawa, pembuangan) yang bisa dimanfaatkan dengan teknologi pengolahan	m <sup>3</sup> /tahun
11	Air Baku Surabaya	Sumber air baku yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan produksi air bersih dan konsumsi industri	m <sup>3</sup> /tahun
<b>Sub Model Produksi dan Distribusi</b>			
12	Produksi Air Bersih	Produksi air bersih yang dilakukan oleh PDAM	m <sup>3</sup> /tahun
13	Permintaan Air Bersih	Total volume air yang dibutuhkan oleh pelanggan PDAM	m <sup>3</sup> /tahun
14	Kapasitas Produksi	Kapasitas maksimal dalam memproduksi air bersih	m <sup>3</sup> /tahun
15	Kehilangan Air	Jumlah air yang hilang saat proses distribusi kehilangan disebabkan faktor fisik dan non fisik	m <sup>3</sup> /tahun
16	NRW Non Fisik	NRW non fisik adalah air yang tersalurkan namun tidak dapat direkeningkan ( <i>opportunity cost</i> hilang)	m <sup>3</sup> /tahun
17	<i>Meter Error</i>	<i>Error</i> yang disebabkan oleh kerusakan pada meteran pelanggan	m <sup>3</sup> /tahun
18	Konsumsi Tak Resmi	Konsumsi air ilegal yang tidak ditagihkan oleh PDAM	m <sup>3</sup> /tahun
19	Perbaikan dan Rehabilitasi Meter	Perbaikan dan pergantian meter yang rusak	m <sup>3</sup> /tahun
20	<i>Sweeping</i>	Aktivitas pencarian pelaku pencurian air dan penindakan	m <sup>3</sup> /tahun
21	NRW Fisik	NRW fisik adalah air yang hilang pada proses distribusi dari fasilitas produksi ke pelanggan PDAM	m <sup>3</sup> /tahun
22	Kebocoran dan Kerusakan Pipa	Jumlah air yang hilang disebabkan oleh kebocoran dan kerusakan pipa	m <sup>3</sup> /tahun
23	Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa	Perbaikan dan Rehabilitasi terhadap pipa yang rusak	m <sup>3</sup> /tahun
24	Energi yang dapat diselamatkan	Jumlah energi yang dapat diselamatkan dari kondisi saat ini	kWh/tahun
25	Konsumsi Resmi	Volume air PDAM yang tercatat dikonsumsi oleh pelanggan	m <sup>3</sup> /tahun

Tabel 4. 3 Identifikasi *Causal Loop Diagram* (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Satuan
<b>Sub Model Laba PDAM</b>			
26	Biaya Operasional	Biaya yang dibutuhkan untuk produksi dan distribusi air bersih PDAM	Rupiah
27	Lab a PDAM	Jumlah Uang yang diperoleh dari penjualan air dikurangi beban usaha, biaya perawatan, dan investasi	Rupiah
28	Beban Usaha	Beban biaya yang ditanggung perusahaan untuk aktivitas operasional	Rupiah
29	Pendapatan Air	Pemasukan yang diperoleh dari penjualan air bersih	Rupiah
30	Investasi	Jumlah uang yang diinvestasikan oleh PDAM untuk peningkatan layanan	Rupiah
31	Tarif Air Bersih	Biaya yang harus dibayar oleh pelanggan untuk tiap m <sup>3</sup> air	Rupiah/ m <sup>3</sup>
32	Potensi Pendapatan Air	Jumlah Rupiah yang dapat diperoleh dengan menyelamatkan NRW	Rupiah
<b>Sub Model Coverage</b>			
33	Akses Air Bersih PDAM	Persentase wilayah telah memiliki akses air bersih PDAM	<i>unitless</i>
34	Pelanggan PDAM	Jumlah Pelanggan PDAM	pelanggan/ tahun
35	Pembukaan Rekening Baru	Pelanggan baru yang mendaftarkan menjadi pelanggan PDAM	pelanggan/ tahun
36	Penutupan Rekening	Pelanggan yang hilang, tidak berpenghuni, dan lain sebagainya	pelanggan/ tahun

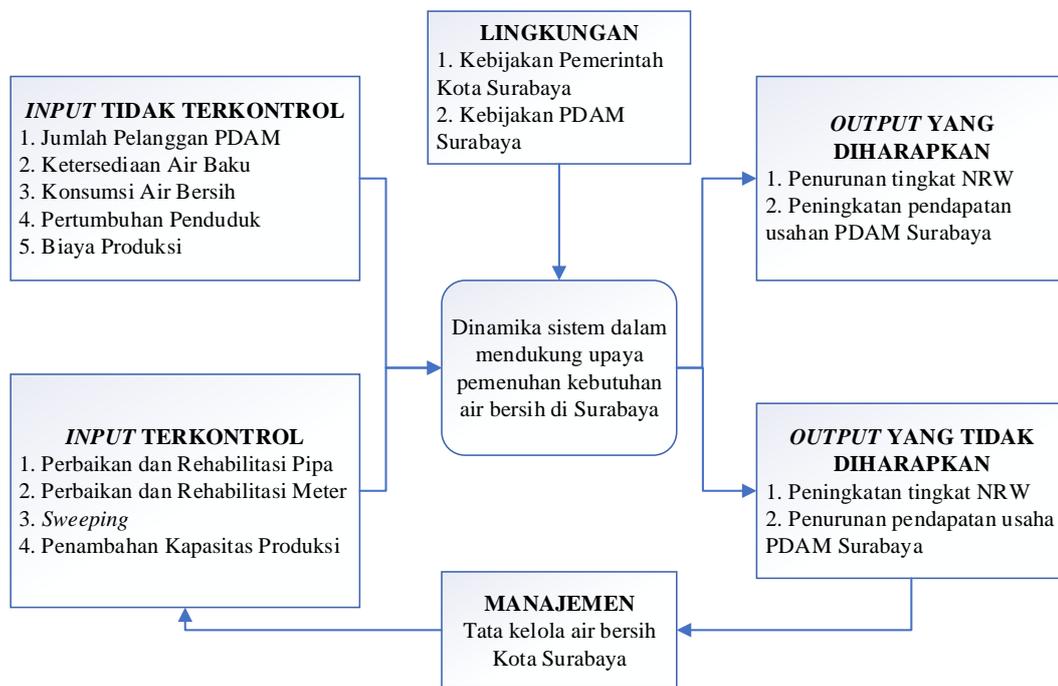
#### 4.2.2 Diagram *Input-Output*

Diagram *input-output* digunakan untuk mengklasifikasi variabel pada sistem secara skematis. Pada diagram *Input-output* diklasifikasikan menjadi *input* terkontrol dan *input* tidak terkontrol sementara untuk *output* diklasifikasikan menjadi *output* yang dikehendaki dan tidak dikehendaki.

Pada diagram yang telah dibuat, *input* adalah variabel dalam sistem yang memengaruhi sistem, baik yang dapat dikontrol maupun tidak. *Input* terkontrol pada diagram ini adalah variabel yang dapat diubah nilainya. Sedangkan variabel *input* tidak terkontrol adalah variabel yang tidak dapat diubah nilainya. *Output* pada diagram ini adalah hasil dari simulasi, pada penelitian ini output adalah tujuan penelitian yaitu penurunan NRW dan peningkatan laba usaha. Sistem yang dirancang dipengaruhi oleh lingkungan. Lingkungan adalah faktor yang

memengaruhi sistem, yaitu adalah kebijakan pemerintah Kota Surabaya dan kebijakan PDAM Surabaya. Bila hasil dari *output* tidak sesuai dengan harapan maka dilakukan manajemen tata kelola air bersih dengan mengubah *input* terkontrol sehingga mendapatkan *output* sesuai dengan yang diharapkan.

Secara umum, diagram *input-output* menggambarkan kondisi *output* yang ingin dicapai dalam pembuatan model yang dilakukan, *input* yang dapat dikontrol untuk mencapai *output* yang terbaik. Dalam mengubah *output* yang tidak diharapkan diperlukan suatu umpan balik berupa kebijakan untuk mendukung tujuan yang diinginkan (Burge, 2016). Berikut adalah diagram *input-output* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

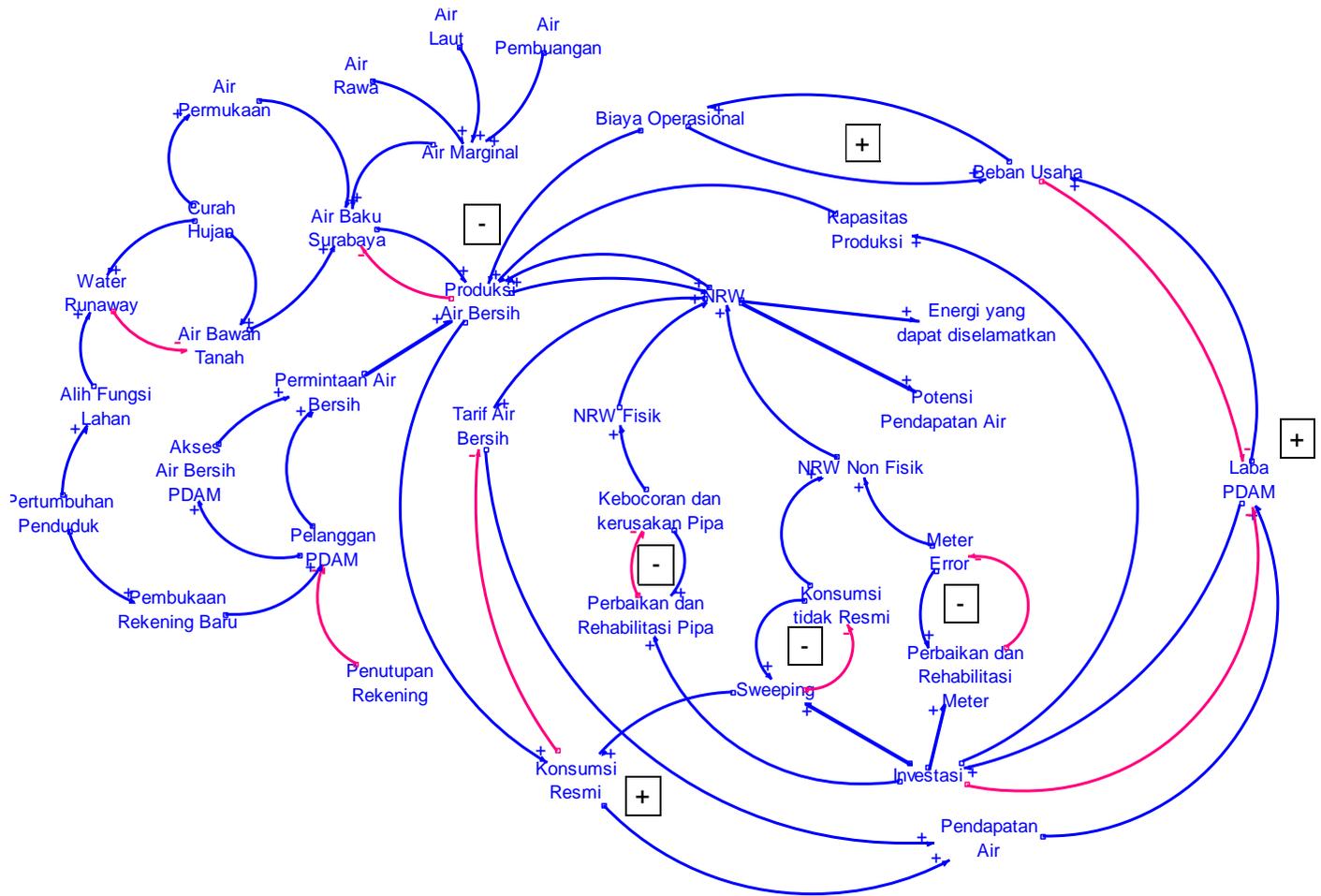


Gambar 4. 4 Diagram *Input-Output*

### 4.2.3 Causal Loop Diagram

*Causal Loop Diagram* (CLD) adalah media pengungkapan suatu kejadian sebab akibat pada suatu Bahasa gambar. Pembuatan diagram ini bertujuan untuk menunjukkan variabel utama yang berpengaruh pada sistem amatan dengan membangun sebuah model berdasarkan variabel yang diidentifikasi pada sub bab 4.2.1, CLD menunjukkan hubungan sebab akibat yang dihubungkan dengan suatu

anak panah bertanda positif dan negatif. Anak panah positif memiliki arti bahwa penambahan nilai pada variabel yang dipengaruhi dan sebaliknya. Sementara itu, anak panah negatif menunjukkan hubungan terbalik dimana penambahan nilai pada variabel tersebut memengaruhi pengurangan pada variabel yang dipengaruhinya dan sebaliknya. CLD dari sistem tata kelola air di Surabaya dibuat untuk mengetahui keterkaitan dan pengaruh antar variabel terhadap perilaku sistem seperti pada Gambar 4.5.

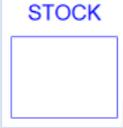
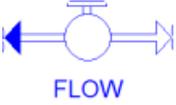


Gambar 4. 5 Causal Loop Diagram

### 4.3 Stock and Flow Diagram

*Stock and Flow Diagram* (SFD) dibuat berdasarkan CLD pada Gambar 4.5. Pembuatan SFD bertujuan untuk menggambarkan interaksi antar variabel yang sesuai dengan logika struktur pada *software Stella*. Interaksi dari model ini menghasilkan hubungan keterkaitan antar variabel. Perancangan diagram ini mempertimbangkan penelitian dimana SFD yang dihasilkan mampu menunjukkan proses pembentukan NRW di PDAM Surabaya. Dalam pembuatan SFD terdapat beberapa simbol yang digunakan pada *software Stella* seperti pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Simbol yang digunakan *Software Stella*

No.	Komponen	Simbol	Keterangan
1.	<i>Stock</i>		<i>Stock</i> adalah variabel yang menyatakan akumulasi volume
2.	<i>Flow</i>		<i>Flow</i> menggambarkan aliran material dan informasi dalam sistem yang bergerak sesuai dengan fungsi waktu.
3.	<i>Conveter</i>		<i>Converter</i> merupakan variabel tambahan berisi persamaan atau informasi yang memengaruhi nilai pada variabel lain.
4.	<i>Connector</i>		<i>Connector</i> adalah variabel yang digunakan untuk mengirimkan informasi maupun <i>input</i> untuk pengaturan <i>flow</i> .

Pada penelitian ini model diklasifikasikan menjadi lima sub model yaitu air baku, produksi dan distribusi air bersih, laba penjualan, energi, dan *coverage*. Berikut merupakan sub model air baku yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Air Baku di Kota Surabaya

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
Air Baku Surabaya				
1	Volume Air Baku	Volume air yang tersedia untuk dimanfaatkan pada proses produksi	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>

Tabel 4. 5 Air Baku di Kota Surabaya (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
<b>Air Baku Surabaya</b>				
2	Sumber Air Baku	Jumlah air baku yang tersedia berasal dari air permukaan, bawah tanah, dan marginal	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> /tahun
3	Air Permukaan	Jumlah air baku yang bersumber dari mata air, sungai, dan waduk danau	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
4	Mata Air	Sumber air baku yang berasal dari mata air	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
5	Sungai	Sumber air baku yang berasal dari sungai	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
6	Waduk Danau	Sumber air baku yang berasal dari waduk danau	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
7	Air Bawah Tanah	Jumlah air baku yang bersumber dari air tanah	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
8	Air Tanah	Sumber air baku yang berasal dari air tanah	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
9	Curah Hujan	Curah hujan per tahun dilihat dari tingkat kelembaban udara	<i>Converter</i>	<i>unitless</i>
10	Konversi Curah Hujan	Konversi kelembaban udara ke jumlah volume per tahun	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
11	<i>Water Runaway</i>	Jumlah air hujan yang tidak terserap tanah akibat alih fungsi lahan	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
12	Air Marginal	Jumlah air baku alternatif yang membutuhkan teknologi untuk pemanfaatannya	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
13	Air Pembuangan	Sumber air baku alternatif yang berasal dari air pembuangan (domestik dan industri)	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
14	Air Laut	Sumber air baku alternatif yang berasal dari air laut	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun
15	Air Rawa	Sumber air baku alternatif yang berasal dari air rawa	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup> /tahun

Berikut merupakan sub model produksi dan distribusi yang ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
<b>Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya</b>				
1	Ketersediaan Air Baku	Jumlah ketersediaan air baku dari operator penyedia air baku (Jasa Tirta)	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup>
2	Pelanggan PDAM	Jumlah Pelanggan PDAM Surabaya (dari tahun 2015-2019)	<i>converter</i>	<i>Customer</i>

Tabel 4. 6 Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
<b>Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya</b>				
3	Permintaan Air Bersih	Jumlah permintaan air bersih yang dipengaruhi oleh pelanggan PDAM	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup>
4	Produksi Air Bersih	Jumlah air yang diproduksi oleh PDAM Surabaya per tahun	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> /tahun
5	Volume Produksi Air Bersih	Banyaknya volume yang dihasilkan dari hasil produksi air bersih	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>
6	Proporsi Kontrol Tekanan	Besarnya Proporsi kontrol tekanan yang memengaruhi proses distribusi tidak tersalurkan	<i>Converter</i>	<i>unitless</i>
7	Kebocoran dan Kerusakan	Jumlah volume air yang hilang (fisik) disebabkan kebocoran kerusakan yang berupa tekanan saluran pipa, kelebihan kapasitas, perbaikan jalan, dan faktor lain yang berkaitan	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup>
8	Proporsi perbaikan dan rehabilitasi pipa	Besarnya proporsi perbaikan dan rehabilitasi pipa yang memengaruhi distribusi tidak tersalurkan	<i>Converter</i>	<i>Unitless</i>
9	Distribusi Tidak Tersalurkan	Jumlah air yang tidak tersalurkan ke pelanggan	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> /tahun
10	Harga Rehabilitasi Pipa	Harga rehabilitasi pipa per km (termasuk biaya pembongkaran fasilitas jalan, dsb.)	<i>Converter</i>	Rupiah/ Km
11	Biaya Rehabilitasi Pipa	Jumlah biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki dan merehabilitasi pipa	<i>Converter</i>	Rupiah
12	Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa	Jumlah perbaikan dan rehabilitasi pipa yang dilakukan PDAM Surabaya	<i>Converter</i>	Km
13	Volume Kehilangan Fisik	Banyaknya volume yang tidak tersalurkan disebabkan oleh kehilangan fisik	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>
14	Kehilangan Fisik	Jumlah kehilangan air (dalam wujud nyata/fisik)	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup>
15	Kehilangan Air	Jumlah kehilangan air keseluruhan (fisik dan non fisik)	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup>
16	Volume Kehilangan Air	Banyaknya volume yang tidak tersalurkan disebabkan oleh kehilangan fisik dan non fisik	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>
17	Distribusi Tersalurkan	Jumlah air yang tersalurkan ke pelanggan	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> / tahun
18	Volume Air Tersalurkan	Banyaknya volume yang tersalurkan ke pelanggan	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>

Tabel 4. 6 Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya				
19	Harga Meteran Baru	Harga meteran baru per unit	<i>Converter</i>	Rupiah/unit
20	Biaya Meteran Baru	Jumlah biaya yang dikeluarkan untuk setiap meteran baru	<i>Converter</i>	Rupiah
21	Meteran Baru	Jumlah meteran yang diremajakan agar tingkat akurasinya tinggi	<i>Converter</i>	Unit
22	Proporsi Perbaikan Meteran	Besarnya proporsi perbaikan meteran yang memengaruhi meter error	<i>Converter</i>	<i>Unitless</i>
23	<i>Meter Error</i>	Jumlah air yang hilang disebabkan oleh meter error (ketidakakuratan dalam menghitung air berekening)	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> / tahun
24	Ketidakkuratan Meter dan Penangan Data	Jumlah air yang hilang disebabkan ketidakkuratan meter dan penanganan data	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup>
25	Volume Kehilangan Non Fisik	Banyaknya volume yang tidak tersalurkan disebabkan oleh kehilangan non fisik (tersalurkan namun tidak tercatat)	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>
26	Kehilangan Non Fisik	Jumlah kehilangan air yang disebabkan faktor non fisik yaitu <i>meter error</i> dan konsumsi ilegal	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> / tahun
27	Konsumsi Ilegal	Jumlah kehilangan air yang disebabkan oleh aktivitas konsumsi ilegal	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup> / tahun
28	<i>Sweeping</i>	Jumlah air yang diselamatkan dari aktivitas konsumsi ilegal	<i>Converter</i>	m <sup>3</sup>
29	Proporsi SDM <i>Sweeping</i>	Besarnya proporsi SDM <i>Sweeping</i> yang memengaruhi aktivitas <i>sweeping</i>	<i>Converter</i>	<i>unitless</i>
30	SDM <i>Sweeping</i>	Jumlah SDM yang dibutuhkan untuk kebutuhan operasional <i>sweeping</i>	<i>Converter</i>	<i>Worker</i>
31	Biaya SDM <i>Sweeping</i>	Jumlah Biaya yang dikeluarkan untuk SDM <i>Sweeping</i>	<i>Converter</i>	Rupiah
32	Harga SDM <i>Sweeping</i>	Biaya per pekerja (dalam satu tahun)	<i>Converter</i>	Rupiah/ <i>worker</i>
33	Konsumsi Resmi	Jumlah air bersih yang tersalurkan dan tercatat	<i>Rate</i>	m <sup>3</sup>
34	Harga Air Bersih per m <sup>3</sup>	Harga air bersih per m <sup>3</sup> (harga rata-rata)	<i>converter</i>	Rupiah/m <sup>3</sup>

Tabel 4. 6 Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya				
36	Volume Air Berekening	Jumlah volume air yang tersalurkan dan berekening	<i>Stock</i>	m <sup>3</sup>

Berikut merupakan sub model laba penjualan air PDAM Surabaya yang ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Laba Penjualan PDAM Surabaya

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
Laba Penjualan PDAM Surabaya				
1	Pendapatan Air	Jumlah pendapatan yang diperoleh dari air yang tersalurkan dan berekening	<i>Converter</i>	Rupiah
2	Pendapatan Non Air	Jumlah pendapatan yang diperoleh dari bisnis selain air	<i>Converter</i>	Rupiah
3	Pemasukan Penjualan	Jumlah pemasukan yang diperoleh dari pendapatan air, non air, dan non usaha serta dipotong dengan pajak penghasilan.	<i>Rate</i>	Rupiah/ tahun
4	Pendapatan Non Usaha	Jumlah pendapatan yang diperoleh dari aktivitas non usaha	<i>Converter</i>	Rupiah
5	Pajak Penghasilan	Jumlah pajak penghasilan yang harus ditanggung PDAM	<i>Converter</i>	Rupiah
6	Laba Pendapatan PDAM	Total pendapatan yang diperoleh dari aktivitas bisnis PDAM	<i>Stock</i>	Rupiah
7	Pengeluaran PDAM	Jumlah beban biaya yang harus dibayarkan berupa beban usaha dan investasi	<i>Rate</i>	Rupiah
8	Beban Usaha	Jumlah beban biaya yang harus dibayar meliputi biaya penyusutan, beban operasional, amortisasi, dan perbaikan dan perawatan	<i>Converter</i>	Rupiah
9	Biaya Penyusutan	Jumlah biaya yang harus dibayar disebabkan oleh penyusutan aset	<i>Converter</i>	Rupiah
10	Beban Operasional	Jumlah biaya yang harus dibayar untuk kebutuhan operasional PDAM	<i>Converter</i>	Rupiah
11	Biaya Amortisasi	Jumlah biaya yang harus dibayar disebabkan oleh Amortisasi	<i>Converter</i>	Rupiah
12	Biaya Perbaikan dan Perawatan	Jumlah biaya yang harus dibayar untuk kebutuhan perbaikan dan perawatan	<i>Converter</i>	Rupiah

Tabel 4. 7 Laba Penjualan PDAM Surabaya (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi Laba Penjualan PDAM Surabaya	Simbol	Unit
13	Investasi	Jumlah biaya yang harus dibayar untuk kebutuhan operasional PDAM	<i>Converter</i>	Rupiah
14	Kerugian dari kehilangan Air	Besar kerugian rupiah akibat air yang tidak tersalurkan dan tidak berekening	<i>Converter</i>	Rupiah
15	Pendapatan Potensial	Jumlah pendapatan potensial yang hilang disebabkan kebocoran fisik dan non fisik	<i>Stock</i>	Rupiah

Berikut merupakan sub model energi yang ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Energi yang Digunakan PDAM Surabaya

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
1	Energi terbuang	Jumlah kWh yang terbuang pada setiap m <sup>3</sup> air bersih yang diproduksi per tahun	<i>Converter</i>	kWh/ tahun
2	Konsumsi Energi Hilang	Jumlah kWh yang hilang pada aktivitas konsumsi PDAM Surabaya	<i>Rate</i>	kWh/ tahun
3	Energi yang Hilang	Jumlah energi yang terbuang dalam kurun waktu simulasi	<i>Stock</i>	kWh

Berikut merupakan sub model *coverage* PDAM Surabaya yang ditunjukkan pada Tabel 4.9.

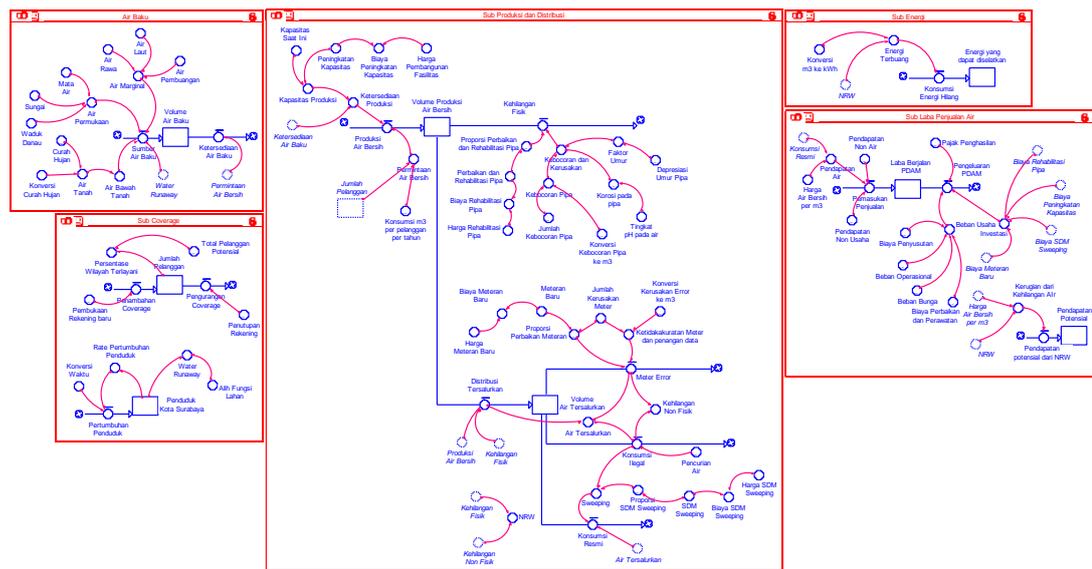
Tabel 4. 9 *Coverage* PDAM Surabaya

No.	Variabel	Deskripsi <i>Coverage</i> PDAM Surabaya	Simbol	Unit
1	Pembukaan Rekening Baru	Jumlah rekening pelanggan baru per tahun	<i>Converter</i>	<i>Customer/</i> tahun
2	Penambahan <i>Coverage</i>	Penambahan jumlah pelanggan yang memengaruhi wilayah layanan PDAM	<i>Rate</i>	<i>Customer/</i> tahun
3	Jumlah Pelanggan	Jumlah pelanggan PDAM Surabaya	<i>Stock</i>	<i>Customer</i>
4	Total Pelanggan Potensial	Jumlah pelanggan Potensial PDAM Surabaya	<i>Converter</i>	<i>Customer</i>
5	Pengurangan <i>Coverage</i>	Pengurangan jumlah pelanggan yang dipengaruhi oleh penutupan rekening	<i>Rate</i>	<i>Customer/</i> tahun

Tabel 4. 9 Coverage PDAM Surabaya (lanjutan)

No.	Variabel	Deskripsi	Simbol	Unit
<i>Coverage PDAM Surabaya</i>				
6	Penutupan Rekening	Jumlah rekening yang ditutup per tahun	<i>Converter</i>	<i>Customer/ tahun</i>
7	Persentase Wilayah Terlayani	Persentase luas wilayah yang terlayani oleh PDAM Surabaya	<i>Converter</i>	<i>unitless</i>
8	Pertumbuhan Penduduk	Pertumbuhan penduduk Kota Surabaya setiap tahun	<i>Rate</i>	<i>Customer/ tahun</i>
9	Rate Pertumbuhan Penduduk	Laju pertumbuhan penduduk setiap tahun (dalam persen)	<i>Converter</i>	<i>Unitless</i>
10	Penduduk Kota Surabaya	Jumlah penduduk Kota Surabaya	<i>Stock</i>	<i>Customer</i>

Model SFD dirancang untuk mengetahui variabel-variabel kritis yang memengaruhi tingkat NRW di Kota Surabaya. Model dibangun berdasarkan CLD pada Gambar 4.5 berdasarkan kondisi aktual dan data yang terkait. Model SFD sistem tata kelola air bersih di PDAM Surabaya pada kondisi saat ini ditunjukkan pada Gambar 4.6.

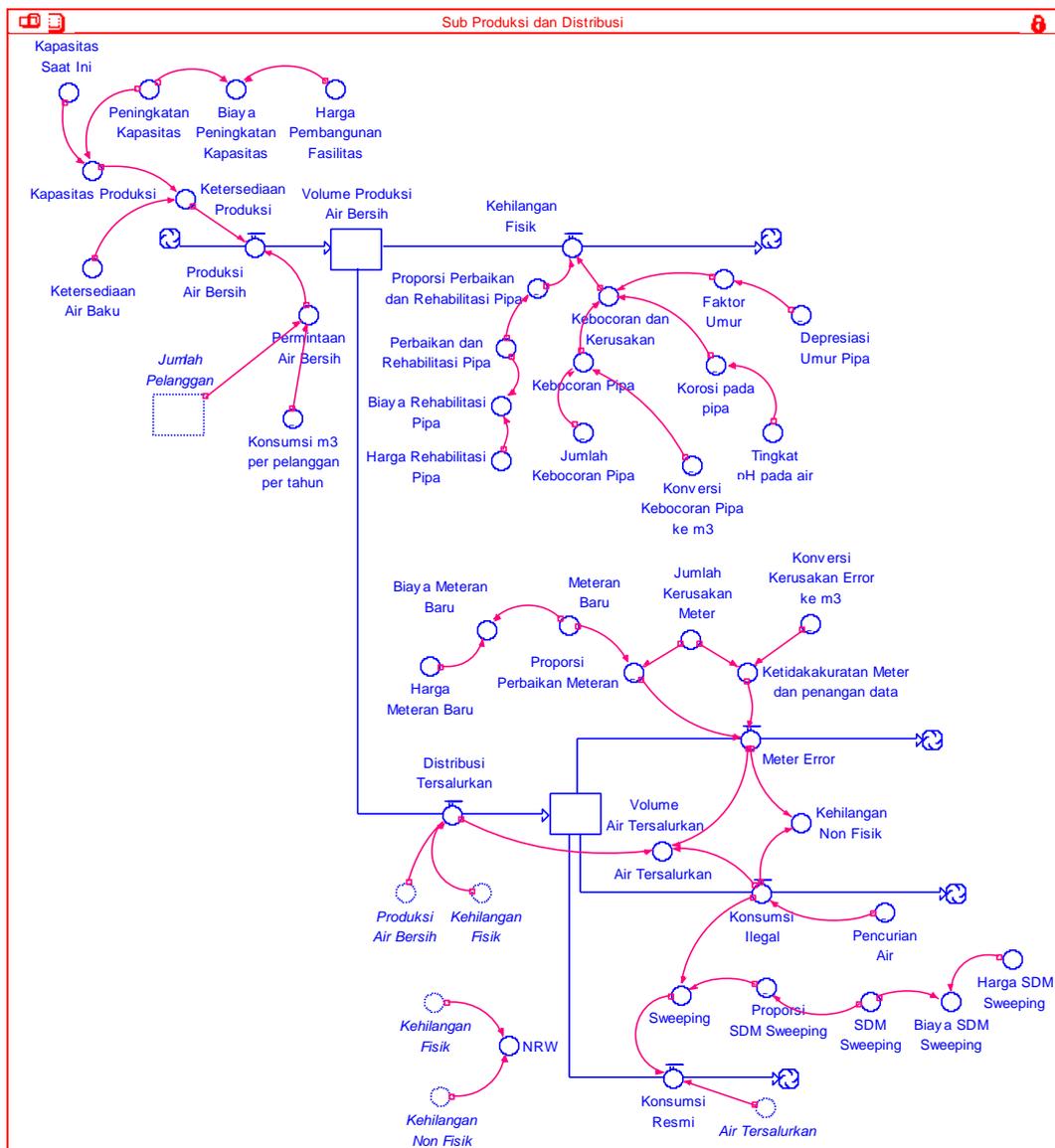


Gambar 4. 6 Model Stock and Flow Diagram

### 4.3.1 Sub Model Produksi dan Distribusi Air Bersih

Pada sub model produksi dan distribusi air bersih dipengaruhi oleh jumlah pelanggan PDAM dan ketersediaan air baku. Laju penambahan jumlah pelanggan

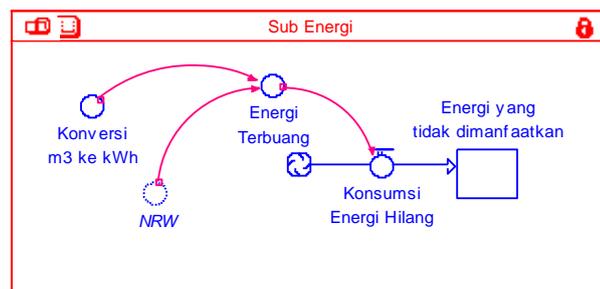
dipengaruhi oleh pembukaan rekening baru setiap tahunnya. Laju penambahan dari 2019 hingga 2025 mengalami peningkatan yang stabil disebabkan oleh terpenuhinya 99.9% wilayah yang telah terakomodasi oleh PDAM Surabaya pada tahun 2019. Sub model ini menggambarkan proses produksi yang dipengaruhi permintaan pelanggan hingga pendistribusian air baik air yang terdistribusi maupun air yang tidak terdistribusi. Pada tahun 2019 kebutuhan air bersih masyarakat Surabaya mencapai 363.252.383 m<sup>3</sup> air bersih. Dengan tingkat kehilangan sebesar 31,69%. Berikut adalah sub model produksi dan distribusi air bersih yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Sub Produksi dan Distribusi

### 4.3.2 Sub Model Energi

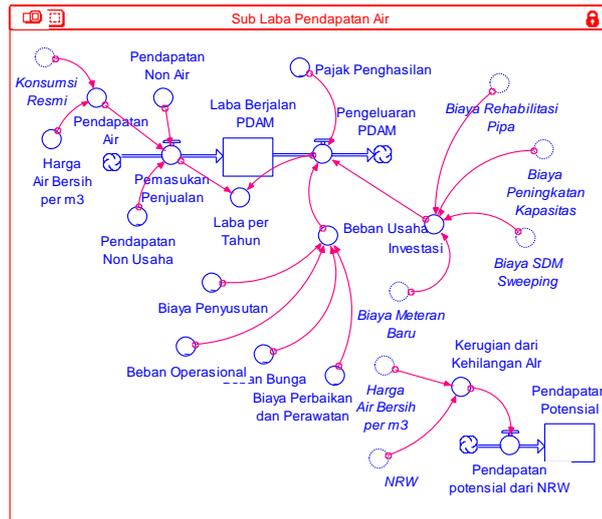
Pada sub model energi menggambarkan jumlah energi yang digunakan untuk aktivitas operasional PDAM Surabaya. Pada model ini dapat diketahui berapa potensi yang diselamatkan bila tingkat NRW rendah. Pada tahun 2019, PDAM Surabaya telah mengonsumsi 118.849.456 kWh untuk memproduksi 363.252.383 m<sup>3</sup> air bersih yang berarti setiap satu m<sup>3</sup> air bersih membutuhkan 0,29 kWh. Berikut adalah sub model energi yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Sub Energi

### 4.3.3 Sub Model Laba Pendapatan Air

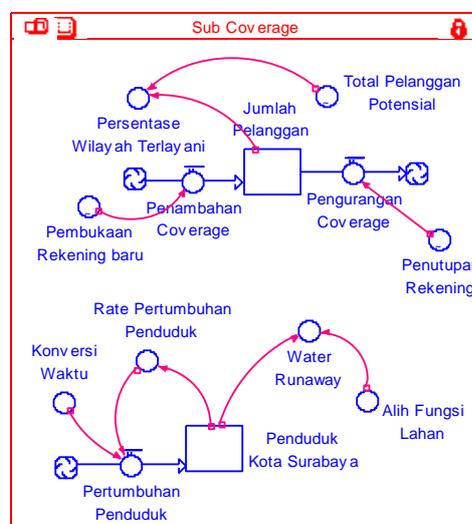
Sub model laba pendapatan air dipengaruhi oleh pemasukan dan pengeluaran PDAM. Pemasukan PDAM dipengaruhi oleh pendapatan air, pendapatan non air, pendapatan non usaha, dan pajak penghasilan. Pemasukan PDAM paling besar dipengaruhi oleh pendapatan air yaitu sebesar Rp 708.995.229.000,- pada tahun 2018. Sedangkan untuk pengeluarannya dipengaruhi oleh beban usaha dan investasi. Pada beban usaha dipengaruhi oleh biaya penyusutan, biaya operasional, biaya amortisasi, dan biaya perbaikan dan rehabilitasi. Sedangkan pada investasi dipengaruhi oleh biaya meteran baru, *sweeping*, dan rehabilitasi pipa. Pada sub model ini juga di modelkan kehilangan air yang merupakan pendapatan potensial yang bisa diperoleh oleh PDAM Surabaya. Nilai tersebut diperoleh dari rupiah setiap m<sup>3</sup> yang bocor. Berikut adalah sub model laba penjualan air yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Sub Laba Pendapatan Air

#### 4.3.4 Sub Model Coverage

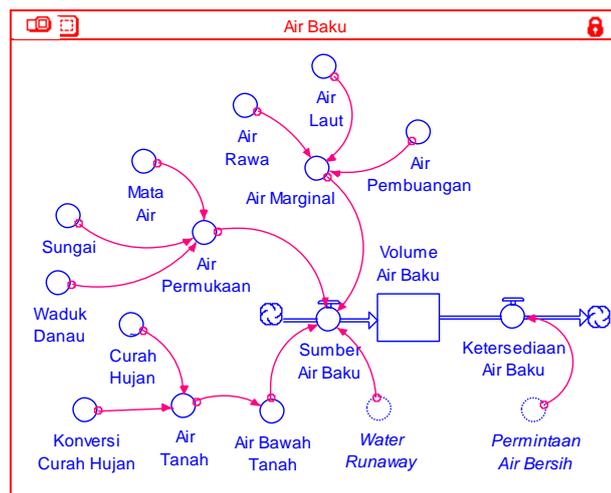
Sub model *coverage* menggambarkan berapa banyak jumlah pelanggan dan persentase wilayah terlayani. Sub Model ini dipengaruhi oleh pembukaan rekening baru dan penutupan rekening. Pada model ini tingkat cakupan layanan PDAM mencapai titik jenuh pada 2019 yaitu sebesar 99.9%. Sehingga jumlah pelanggan setelah tahun 2019 cenderung konstan. Sedangkan untuk jumlah rekening yang ditutup tidak begitu signifikan. Faktor penyebabnya beragam namun jumlahnya sangat sedikit dibandingkan pembukaan rekening baru. Berikut adalah sub model *coverage* yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Sub Coverage

### 4.3.5 Sub Model Air Baku

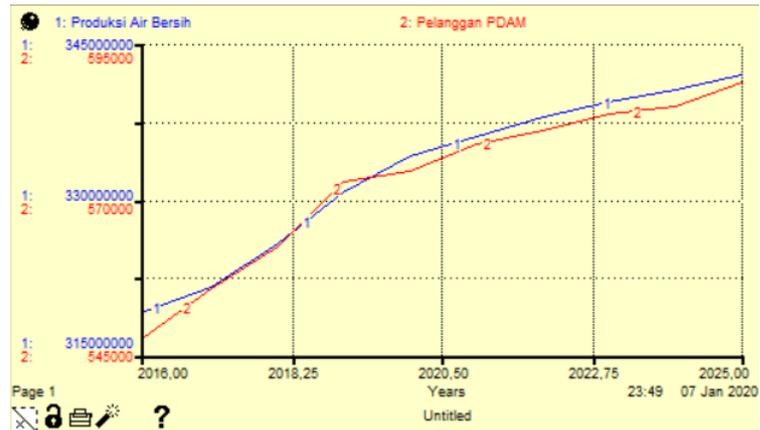
Sub model air baku menggambarkan jumlah air baku yang tersedia untuk digunakan oleh PDAM. Sumber air baku yang dimanfaatkan dari PDAM berasal dari Kali Surabaya dan sumber mata air dari luar kota. Kali Surabaya memiliki volume kapasitas sebesar 323.244.000 m<sup>3</sup> per tahun. Sedangkan mata air dari luar kota memiliki volume kapasitas 165.564.000 m<sup>3</sup> per tahun. Dari data tersebut PDAM Surabaya hanya memanfaatkan air baku yang bersumber dari air permukaan. Berikut adalah sub model air baku yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Sub Air Baku

### 4.4 Verifikasi Model

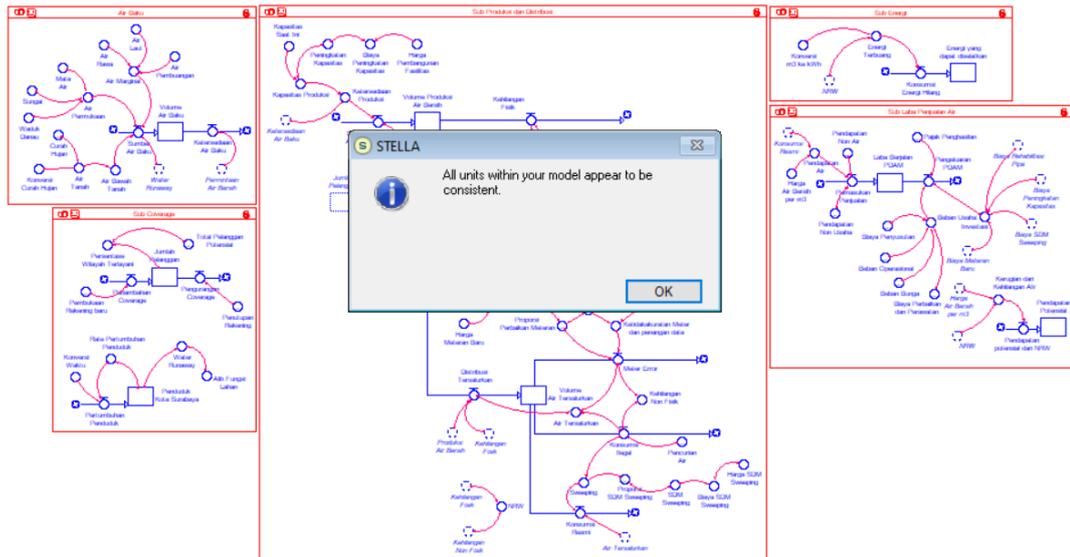
Verifikasi model merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengetahui model simulasi yang dibangun sudah mewakili kesesuaian dari model konseptual yang telah dibuat. Verifikasi dilakukan dengan memastikan model yang dibuat sesuai dengan alur berpikir dari pembuat model. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa *error* yang terjadi pada model memastikan bahwa model sesuai dengan alur logika pada sistem amatan.



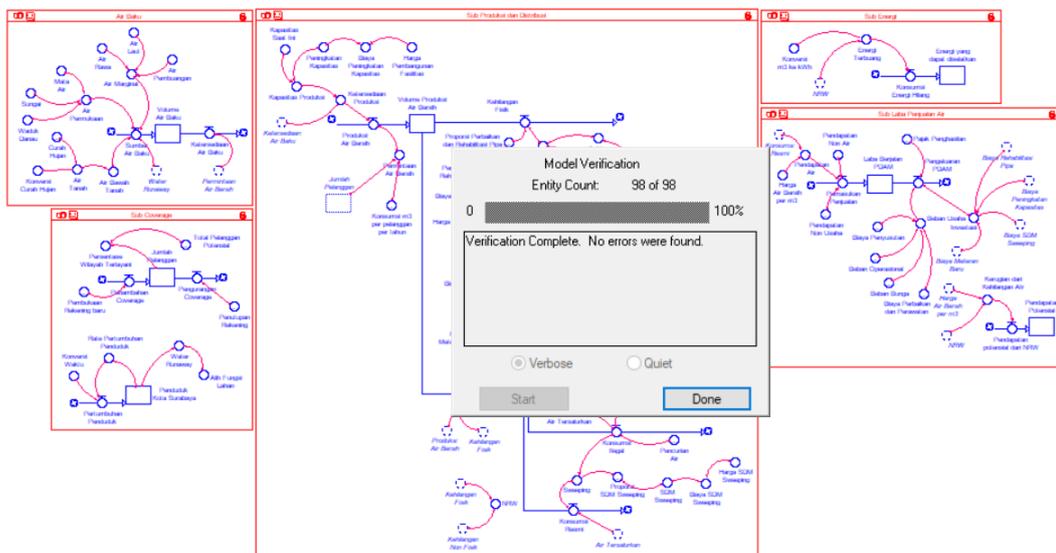
Gambar 4. 12 Keterkaitan antara Produksi Air Bersih dan Pelanggan PDAM

Pada Gambar 4.12 merupakan verifikasi model *system dynamics* tata kelola air bersih PDAM Surabaya dengan melihat jumlah produksi air bersih yang dipengaruhi oleh permintaan air bersih oleh pertumbuhan jumlah pelanggan PDAM Surabaya. Pada Gambar 4.12 menjelaskan bahwa ketika jumlah pelanggan semakin banyak maka jumlah produksi air bersih juga turut bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah pelanggan PDAM Surabaya.

Verifikasi juga dilakukan dengan memeriksa konsistensi unit variabel dalam model. Model dinyatakan terverifikasi apabila tidak terdapat *error*. Berdasarkan hasil *running* simulasi, model sudah berjalan baik tanpa adanya *error* baik pada unit maupun model pada setiap variabelnya. Berikut verifikasi oleh *software* yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4. 13 Verifikasi Unit Model



Gambar 4. 14 Verifikasi Model Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengecekan yang dilakukan oleh *software* Stella pada semua satuan variabel yang saling berkaitan dikatakan benar dan sesuai berdasarkan variabel yang memengaruhi dan dipengaruhi. *Software* Stella telah melakukan verifikasi dengan memastikan bahwa semua variabel memiliki formula yang telah sesuai dengan variabel yang memengaruhi. Model produksi dan distribusi air bersih PDAM Surabaya pada penelitian ini sudah berjalan sesuai dengan alur berpikir dan jika dilihat menggunakan Stella juga tidak terdapat

kesalahan pada unit di setiap variabelnya dan dinyatakan konsisten antara satu dengan lainnya, hal ini dapat disimpulkan bahwa model simulasi telah terverifikasi.

#### **4.5 Validasi Model**

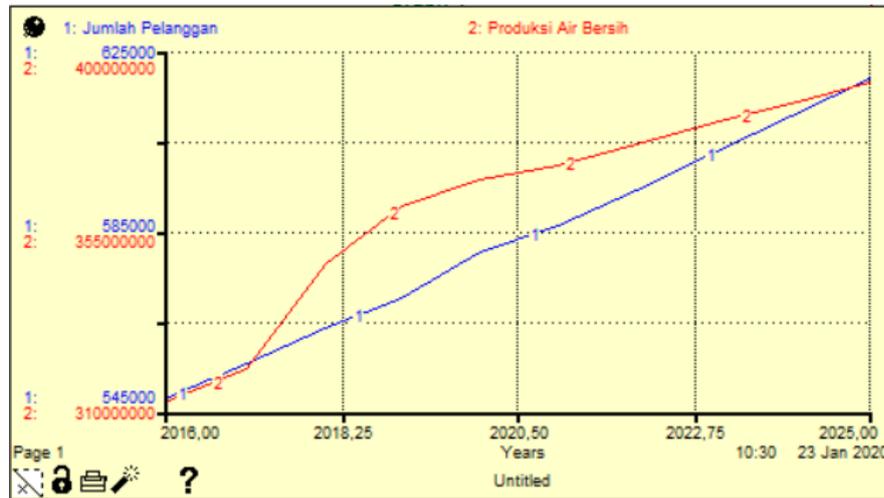
Validasi model adalah tahap evaluasi model yang dibangun. Tahap ini dilakukan sebagai bahan pertimbangan dalam mengevaluasi representasi kondisi nyata model yang dibangun. Validasi yang dilakukan pada penelitian ini antara lain uji struktur model, uji parameter, uji kecukupan batasan, uji ekstrem dan uji perilaku model.

##### **4.5.1 Uji Struktur Model**

Uji struktur model dilakukan untuk mengetahui apakah struktur model yang telah dibuat sesuai dengan kondisi sistem saat ini. Pengujian dilakukan dengan melihat setiap faktor yang memengaruhi faktor lain pada suatu model. Validitas pada struktur model dilakukan dengan diskusi dengan *stakeholder* yang terkait dalam sistem dan literatur-literatur terkait penelitian ini. Hal ini dilakukan agar model sesuai dengan sistem nyata. Pada hasil pengujian struktur model tata kelola air bersih PDAM Surabaya ini dibuat dengan unit dan formulasi yang telah diterima oleh pihak terkait yang terlibat dalam sistem seperti Divisi Pengendalian Kehilangan Air PDAM Surabaya, BAPPEKO Surabaya, dan Ecoton serta sudah sesuai dengan logika yang berdasarkan teori dan literatur, sehingga model dinyatakan valid secara kualitatif.

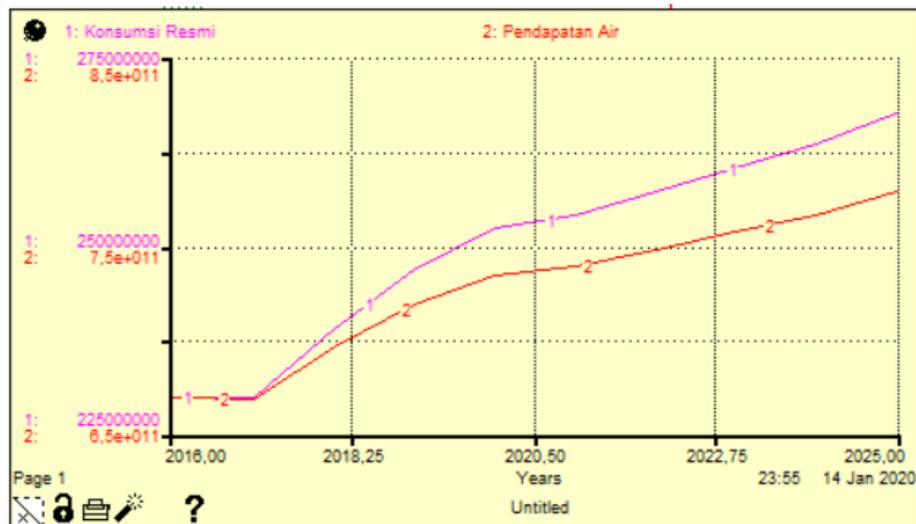
##### **4.5.2 Uji Parameter Model**

Uji parameter model dilakukan dengan melakukan validasi konsistensi dan hubungan variabel serta logika dalam model. Pengujian dilakukan dengan cara pemeriksaan terhadap logika pada sistem amatan, yaitu membandingkan *input* dan *output* model simulasi secara logika. Kondisi ini digambarkan dengan logika sebab akibat antara dua variabel.



Gambar 4. 15 Keterkaitan antara Jumlah Pelanggan dan Produksi Air Bersih

Uji parameter pada Gambar 4.15 adalah hubungan sebab akibat ketika jumlah pelanggan bertambah, maka produksi terhadap air bersih juga akan meningkat. Pada hasil simulasi model, data menunjukkan kesesuaian hubungan antara peningkatan jumlah pelanggan dan produksi air bersih. Melalui hal tersebut dapat dinyatakan konsistensi dari hubungan pada jumlah pelanggan dan produksi dapat dinyatakan konsisten. Hal selanjutnya adalah uji parameter untuk sub sektor produksi dan distribusi dan sub sektor laba. Berikut adalah keterkaitan antara konsumsi resmi dan laba penjualan air yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Keterkaitan Konsumsi Resmi dan Pendapatan Air

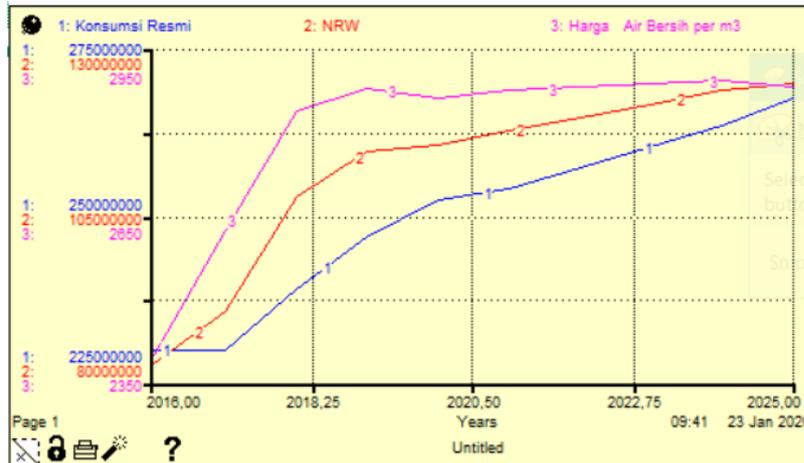
Pada hubungan antara konsumsi resmi dan pendapatan air, pendapatan air dipengaruhi oleh konsumsi resmi. Semakin besar konsumsi resminya maka semakin besar pendapatan yang diperoleh dari hasil penjualan air. Melalui hal tersebut dapat dinyatakan konsistensi dari hubungan pada jumlah pelanggan dan produksi dapat dinyatakan konsisten. Berdasarkan grafik hasil uji parameter yang ditunjukkan oleh gambar grafik di atas, dapat dinyatakan bahwa variabel-variabel yang ditampilkan telah mengikuti logika hubungan antar variabel.

#### **4.5.3 Uji Kecukupan Batasan**

Uji kecukupan Batasan dilakukan untuk menilai kesesuaian batasan model terhadap rencana pembuat model (Shreckengost, 1985). Hal ini untuk membantu agar penelitian fokus dan sesuai dengan arah tujuan pengerjaan penelitian. Seluruh variabel pada model telah sesuai dengan batasan penelitian tidak melebihi batasan dan juga tidak kurang atau terlalu jauh dari batasan. Berbagai variabel yang tidak memiliki pengaruh signifikan pada model tidak dipertimbangkan dalam proses. Batasan model yang dibangun harus sesuai dengan tujuan model. Pada penelitian ini tujuan dari pembuatan model adalah mengidentifikasi faktor penyebab NRW dan menurunkan tingkat NRW untuk mendukung pemenuhan air bersih di Surabaya.

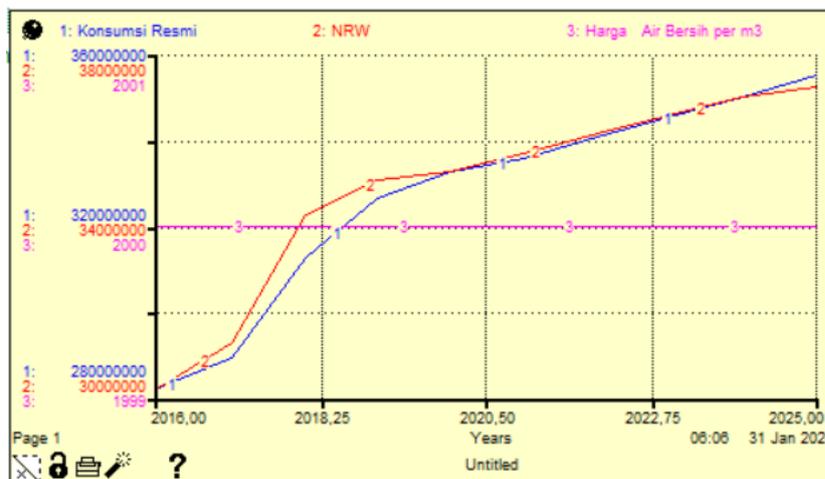
#### **4.5.4 Uji Kondisi Ekstrem**

Uji kondisi ekstrem merupakan salah satu jenis validasi yang digunakan untuk mengetahui ketahanan fungsi model terhadap kondisi ekstrem. Perubahan kondisi ekstrem didasarkan rasa ingin tahu jika nilai atau kondisi model diubah menjadi kondisi ekstrem dalam artian yang memiliki kemungkinan terkecil untuk terjadi pada kondisi nyata. Pada kondisi ekstrem pembuat model melakukan uji ekstrem dengan menambahkan dan mengurangi tingkat NRW yang berpengaruh terhadap tarif air bersih. Pada kondisi awal NRW sebesar 82.805.034,00 m<sup>3</sup>, nilai ini adalah nilai kondisi saat ini. Berdasarkan hasil tersebut harga air bersih sebesar Rp 2.910 per m<sup>3</sup>. Hasil uji kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 4.17.



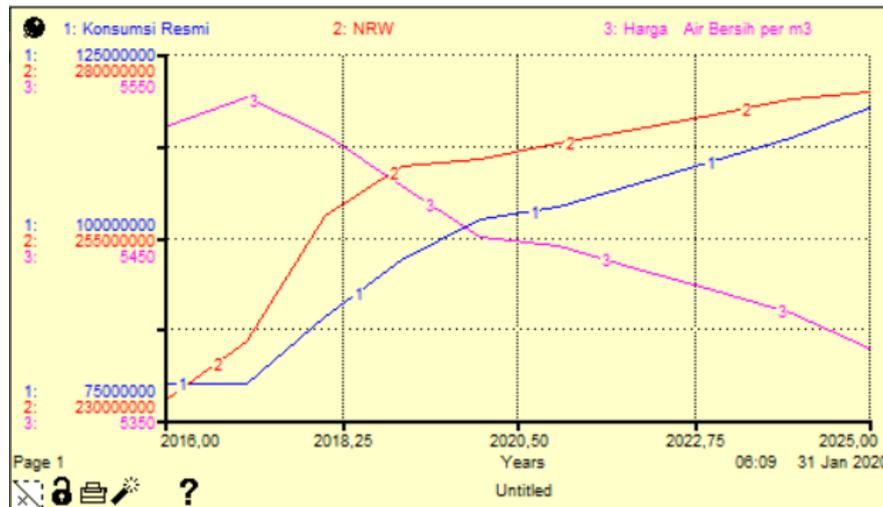
Gambar 4. 17 Kondisi Awal

Selanjutnya dilakukan pengujian pada kondisi ekstrem dengan tingkat NRW terendah yaitu sebesar 30.206.956 m<sup>3</sup>. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan penurunan harga air bersih menjadi Rp 2.000 per m<sup>3</sup>. Hal ini sesuai dengan kondisi yang seharusnya terjadi ketika Tingkat NRW rendah. Hasil uji ekstrem rendah dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Uji Ekstrem Rendah

Uji Ekstrem selanjutnya dengan kondisi nilai tertinggi, hasil uji ekstrem ditunjukkan pada Gambar 4.19. Kondisi tersebut memiliki kemungkinan kejadian paling kecil. Pada uji kondisi ekstrem pembuat model menguji dengan mengubah tingkat NRW sebesar 232.805.837 m<sup>3</sup>. Tingkat NRW yang tinggi menyebabkan harga air per m<sup>3</sup> yang tinggi juga yaitu sebesar Rp 5.500 per m<sup>3</sup>.



Gambar 4. 19 Uji Ekstrem Tinggi

Pada kondisi uji ekstrem dengan kondisi nilai tertinggi dan terendah pada tingkat NRW menyebabkan perubahan pada harga air per  $m^3$ . Hal ini disebabkan oleh kebijakan PDAM dalam menyesuaikan tarif yang dibebankan, semakin rendah tingkat NRW, semakin terjangkau harga air yang dibayar masyarakat Surabaya. Perubahan tersebut sesuai dengan kondisi yang seharusnya terjadi. Berdasarkan hasil uji ekstrem dapat dinyatakan bahwa perilaku model pada kondisi ekstrem sudah sesuai dengan kondisi pada sistem nyata.

#### 4.5.5 Uji Perilaku Model

Uji perilaku model dilakukan untuk mengetahui apakah model memiliki perilaku yang sama dengan kondisi nyata. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan perbandingan hasil *running* simulasi dengan data sebenarnya. Berikut ini merupakan hasil simulasi dan data aktual dari produksi air bersih, NRW, dan pendapatan air bersih yang telah diuji. Berikut adalah hasil uji perilaku produksi air bersih yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Produksi Air Bersih

Produksi Air Bersih ( $m^3$ )		
Tahun	Data Aktual	Hasil Simulasi
2016	312.535.132	312.535.262
2017	320.386.350	320.363.283
2018	346.308.552	346.855.065
2019	363.252.383	361.493.196

Berikut adalah hasil uji perilaku NRW yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 NRW

NRW (m <sup>3</sup> )		
Tahun	Data Aktual	Hasil Simulasi
2016	82.812.112	82.805.837
2017	90.630.485	90.649.956
2018	107.752.613	107.759.395
2019	114.715.607	114.703.127

Berikut adalah hasil uji perilaku pendapatan air yang ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Pendapatan Air

Pendapatan Air (Rp)		
Tahun	Data Aktual	Hasil Simulasi
2016	Rp 661.205.498.000	Rp 668.512.626.807
2017	Rp 663.410.984.000	Rp 668.465.782.619
2018	Rp 708.995.229.000	Rp 695.768.401.351

Berikut adalah hasil uji *t-Test* produksi air bersih yang ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil Uji *t-Test* Produksi Air Bersih

<i>t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances</i>		
Mean	335.620.604,3	335.311.701,5
<i>t Stat</i>	0,616546582	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,290581022	
<i>t Critical one-tail</i>	2,353363435	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,581162043	
<i>t Critical two-tail</i>	3,182446305	

Berikut adalah hasil uji *t-Test* NRW yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil Uji *t-Test* NRW

<i>t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances</i>		
Mean	98.977.704	98.979.578
<i>t Stat</i>	-0,263738163	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,404530155	
<i>t Critical one-tail</i>	2,353363435	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,809060309	
<i>t Critical two-tail</i>	3,182446305	

Berikut adalah hasil uji *t-Test* pendapatan air yang ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Hasil Uji *t-Test* Pendapatan Air

<i>t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances</i>		
<i>Mean</i>	Rp 677.870.570.333,333	Rp 677.582.270.259,38
<i>t Stat</i>	0,044341201	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,484330718	
<i>t Critical one-tail</i>	2,91998558	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,968661437	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30265273	

Perbandingan dilakukan dengan uji hipotesis terhadap *output* data aktual dan data hasil simulasi. Uji hipotesis dilakukan dengan *paired t-test*, metode ini digunakan untuk menguji perbedaan hasil simulasi dan kondisi saat ini. Dimana hipotesis yang digunakan sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

Hipotesis  $H_0$  yang berarti tidak ada perbedaan *mean* hasil simulasi dengan *mean* aktual. Sedangkan hipotesis  $H_a$  menandakan terdapat perbedaan *mean* hasil simulasi dengan *mean* aktual. Langkah selanjutnya setelah menyatakan hipotesis yaitu melakukan perbandingan *p-value* hasil *t-test* masing-masing variabel simulasi yang akan diuji dengan level signifikan yang digunakan yaitu *alpha* ( $\alpha$ ) sebesar 0.05. Tabel 4.16 berikut adalah hasil perhitungan *p-value* yang dilakukan menggunakan *software Excel*.

Tabel 4. 16 Hasil Uji Perilaku Model *P-value*

No.	Variabel Simulasi	<i>P-value</i>	<i>alpha</i> ( $\alpha$ )	Pernyataan Hipotesis
1	Produksi Air Bersih	0,290581022	0.05	Terima $H_0$
2	NRW	0,404530155	0.05	Terima $H_0$
3	Pendapatan Air Bersih	0,484330718	0.05	Terima $H_0$

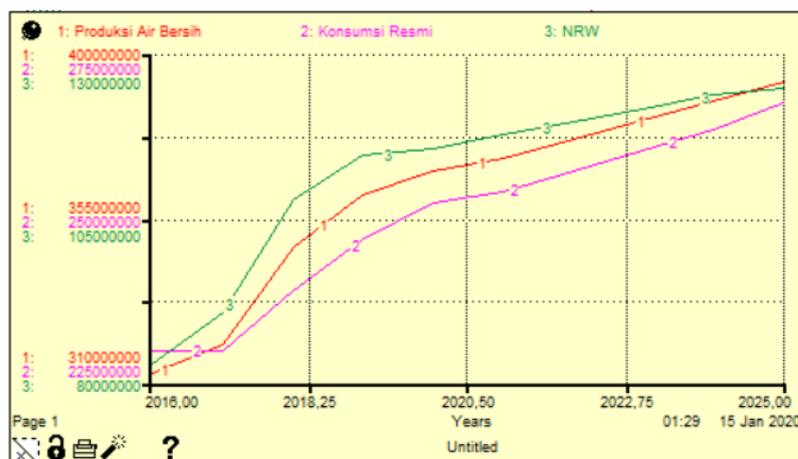
Berdasarkan Tabel 4.16, dapat diketahui bahwa *p-value* masing-masing variabel memiliki nilai *p-value* yang lebih besar dibandingkan nilai  $\alpha$  (0.05). Dengan hasil tersebut maka  $H_0$  diterima (Groebner, et al., 2011). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model telah valid.

## 4.6 Simulasi Model

Pada subbab ini akan dilakukan simulasi terhadap model yang telah dinyatakan valid. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan gambaran perilaku variabel yang diamati dalam sistem. Model simulasi dijalankan selama sepuluh tahun dari tahun 2016 sampai tahun 2025 menggunakan *software* Stella. Data historis yang digunakan merupakan data dari tahun 2016 hingga 2019. Hal ini dikarenakan data yang dapat dipercaya yang tersedia pada rentang tahun tersebut. Pada penelitian ini, simulasi dijalankan dengan satuan waktu tahun. Simulasi ini bertujuan untuk melihat pemenuhan air bersih di Surabaya dan melihat pendapatan usaha dari segi ekonomis. Hasil simulasi model tersebut dapat dilihat dari beberapa aspek yaitu air baku, produksi dan distribusi, energi, *coverage*, dan laba pendapatan PDAM. Masing-masing aspek memiliki beberapa variabel yang akan menjadi indikator dari aspek tersebut. Berikut ini adalah hasil simulasi model yang dibagi ke beberapa aspek:

### 4.6.1 Sub Model Produksi dan Distribusi

Sub model produksi dan distribusi memproyeksikan distribusi jumlah air bersih dari hasil produksi air bersih hasil dari instalasi produksi air yang dimiliki oleh PDAM. Sub model produksi dan distribusi memproyeksikan pemenuhan air bersih di Surabaya.



Gambar 4. 20 Hasil Simulasi Produksi Air Bersih, Konsumsi Resmi, dan NRW

Keterangan:

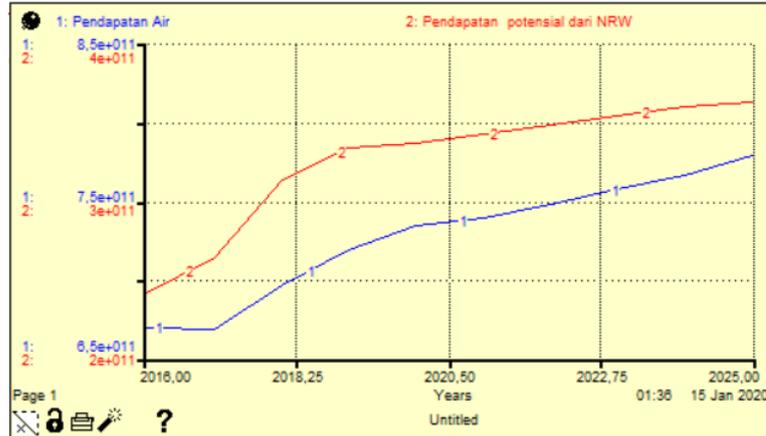
1. Produksi Air Bersih
2. Konsumsi Resmi
3. NRW

Pada sub model Produksi dan distribusi air bersih yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 terdapat tiga *output* yang menggambarkan pemenuhan air bersih yaitu produksi air bersih, konsumsi resmi, dan NRW. Berdasarkan hasil simulasi dalam lima tahun ke depan akan terjadi peningkatan permintaan terhadap produksi air bersih yang disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan menyebabkan produksi air bersih turut bertambah 25.793.899,79 m<sup>3</sup> menjadi 387.287.096,17 m<sup>3</sup> pada tahun 2024. Tingkat produksi air bersih yang meningkat menyebabkan jumlah konsumsi dan NRW juga ikut meningkat. Berdasarkan data BPS Jawa Timur, kapasitas produksi PDAM Surabaya sebesar 417.531.474 m<sup>3</sup> dan memiliki cadangan air baku sebesar 625.536.000 m<sup>3</sup> per tahun (BPS, 2016). Hal ini menandakan dalam lima tahun ke depan tingkat produksi akan mendekati kapasitas maksimalnya. Hal tersebut menandakan dibutuhkan kebijakan yang tepat dalam mengantisipasi kebutuhan air bersih. Berikut adalah hasil simulasi produksi air bersih, konsumsi resmi, dan NRW yang ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Simulasi Produksi Air Bersih, Konsumsi Resmi, dan NRW

Tahun	Produksi Air Bersih (m <sup>3</sup> )	Konsumsi Resmi (m <sup>3</sup> )	NRW (m <sup>3</sup> )
2016	312.535.262,02	229.729.425,02	90.649.956,00
2017	320.363.283,36	229.713.327,36	107.759.395,00
2018	346.855.065,57	239.095.670,57	114.703.127,00
2019	361.493.196,38	246.790.069,38	115.717.628,51
2020	368.078.731,24	252.361.102,73	117.746.631,53
2021	371.724.889,72	253.978.258,19	119.775.634,55
2022	376.912.397,57	257.136.763,02	121.804.637,57
2023	382.099.588,33	260.294.950,76	123.833.640,59
2024	387.287.096,17	263.453.455,58	124.848.142,10

#### 4.6.2 Sub Model Laba Penjualan Air



Gambar 4. 21 Hasil Simulasi Pendapatan Air dan Pendapatan Potensial dari NRW

Keterangan:

1. Pendapatan Air
2. Pendapatan Potensial dari NRW

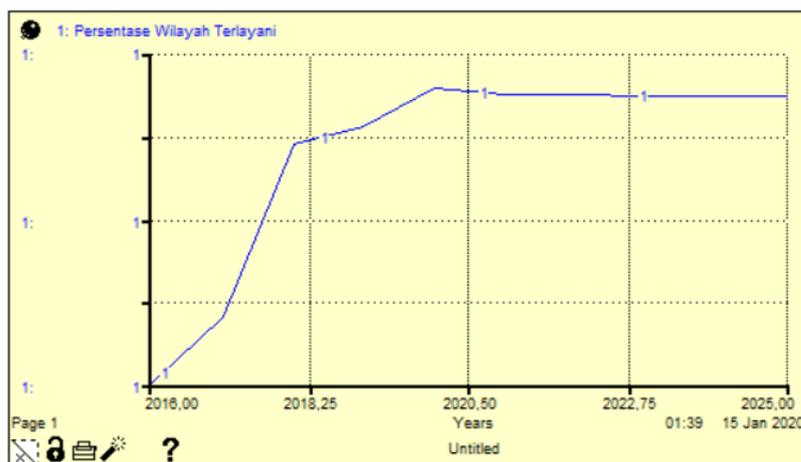
Pada sub model laba penjualan air yang ditunjukkan pada Gambar 4.21. Terdapat dua *output* yang menggambarkan pendapatan usaha yaitu pendapatan air dan pendapatan potensial dari NRW. Berdasarkan Gambar 4.21, PDAM Surabaya mampu menghasilkan laba sebesar Rp 734.370.808.957,98 pada tahun 2019 dengan tarif rata-rata Rp 2.910 /m<sup>3</sup> yang mereka jual ke pelanggan. Dari nilai tersebut masih ada potensi pendapatan sebesar Rp 333.786.099.570,00 yang bisa direkeningkan. Nilai pendapatan potensial NRW tersebut diperoleh dari jumlah kehilangan air dalam bentuk fisik maupun non fisik yang kemudian bila diuangkan nilainya sebesar Rp 333.786.099.570,00. Untuk hasil simulasi dari sub model laba penjualan dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Hasil Simulasi Pendapatan Air dan Pendapatan Potensial dari NRW

Tahun	Pendapatan Air (Rp)	Pendapatan Potensial dari NRW (Rp)
2016	Rp 668.465.782.619,51	Rp 240.964.985.670,00
2017	Rp 695.768.401.351,14	Rp 263.791.371.960,00
2018	Rp 718.159.101.890,68	Rp 313.579.839.450,00
2019	Rp 734.370.808.957,98	Rp 333.786.099.570,00
2020	Rp 739.076.731.340,75	Rp 336.738.298.964,10
2021	Rp 748.267.980.379,05	Rp 342.642.697.752,30
2022	Rp 757.458.306.700,49	Rp 348.547.096.540,50
2023	Rp 766.649.555.738,78	Rp 354.451.495.328,70
2024	Rp 778.798.540.472,34	Rp 360.355.894.116,90

### 4.6.3 Sub Model Coverage

Sub model *coverage* memproyeksikan jumlah pelanggan dan cakupan layanan PDAM Surabaya. Pada sub model ini terdapat peningkatan sebesar 3% dari tahun 2016 persentase wilayah terlayani sebesar 96% meningkat menjadi 99% pada tahun 2019. Pada tahun 2020 hingga 2025 persentase wilayah terlayani PDAM sudah mencapai 100%. Tingkat capaian 100% tersebut berdasarkan proyeksi dari pihak PDAM Surabaya berkat program *master meter* yang dapat menjangkau masyarakat prasejahtera di Surabaya (USAID, 2016).



Gambar 4. 22 Hasil Simulasi Persentase Wilayah Terlayani

Keterangan:

1. Persentase Wilayah Terlayani

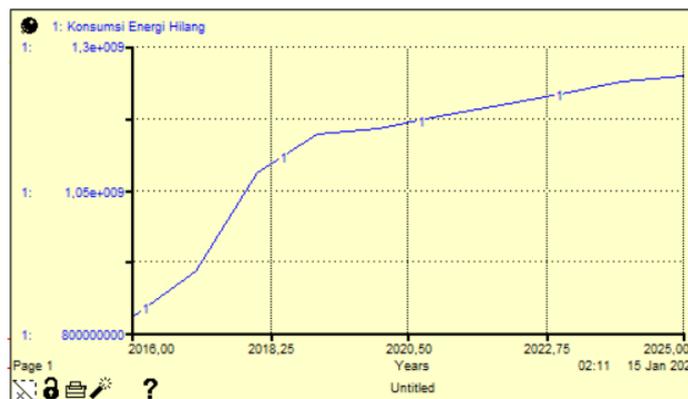
Pada sub model ini, laju pertumbuhan penduduk Surabaya diproyeksikan meningkat seiring dengan perkembangan pembangunan di Surabaya. Pelanggan PDAM direpresentasikan dengan tiap rumah/keluarga. Hasil simulasi jumlah pelanggan dan persentase wilayah terlayani dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Hasil Simulasi Persentase Wilayah Terlayani

Tahun	Jumlah Pelanggan	Persentase Wilayah Terlayani
2016	547.819,00	96 %
2017	555.544,00	97 %
2018	563.268,50	99 %
2019	570.026,00	99 %
2020	580.410,50	100 %
2021	586.160,00	100 %
2022	594.340,00	100 %
2023	602.519,50	100 %
2024	610.699,50	100 %

#### 4.6.4 Sub Model Energi

Pada sub model energi memroyeksikan berapa banyak jumlah energi yang bisa diselamatkan dari proses produksi dan distribusi air bersih di Surabaya. Berdasarkan Gambar 4.23, konsumsi energi hilang pada setiap tahunnya mengalami peningkatan faktor penyebabnya adalah jumlah NRW yang meningkat setiap tahunnya.



Gambar 4. 23 Hasil Simulasi Konsumsi Energi Hilang

Keterangan:

1. Konsumsi Energi Hilang

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan konsumsi energi 10 kWh/m<sup>3</sup> maka diperoleh nilai konsumsi energi yang hilang yang ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil Simulasi Konsumsi Energi Hilang

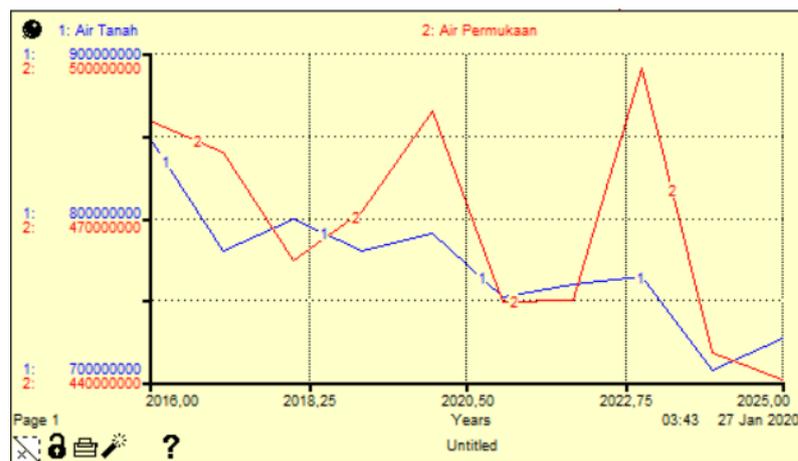
Tahun	Konsumsi Energi yang hilang (kWh)
2016	828.058.370
2017	906.499.560

Tabel 4. 20 Hasil Simulasi Konsumsi Energi Hilang (lanjutan)

<b>2018</b>	<b>1.077.593.950</b>
<b>2019</b>	1.147.031.270
<b>2020</b>	1.157.176.285
<b>2021</b>	1.177.466.315
<b>2022</b>	1.197.756.345
<b>2023</b>	1.218.046.375
<b>2024</b>	1.238.336.405

#### 4.6.5 Sub Model Air Baku

Pada sub model air baku memroyeksikan berapa banyak jumlah air baku yang tersedia di Surabaya. Berdasarkan Gambar 4.24 jumlah air baku permukaan Surabaya fluktuatif mengikuti pola perubahan cuaca setiap tahun yang memengaruhi ketinggian permukaan sungai Kali Brantas yang dipengaruhi oleh wilayah-wilayah yang dialiri sungai tersebut. Begitu pula dengan air tanah di Surabaya, kuantitas air tanah fluktuatif disebabkan curah hujan yang dipengaruhi oleh cuaca setiap tahun. PDAM Surabaya sendiri lebih memilih memanfaatkan sumber air dari air permukaan dibandingkan memanfaatkan air tanah.



Gambar 4. 24 Hasil Simulas Air Baku Surabaya

Keterangan:

1. Air Tanah
2. Air Permukaan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan maka diperoleh air baku yang tersedia yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Hasil Simulasi Air Baku Surabaya

<b>Tahun</b>	<b>Air Permukaan (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Air Tanah (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2016</b>	487.426.928,00	845.385.690,00
<b>2017</b>	481.960.261,33	779.080.930,00
<b>2018</b>	462.115.816,89	798.972.358,00
<b>2019</b>	471.026.928,00	779.080.930,00
<b>2020</b>	489.368.421,89	790.131.723,33
<b>2021</b>	454.482.483,56	751.453.946,67
<b>2022</b>	454.626.928,00	759.189.502,00
<b>2023</b>	497.304.705,78	763.609.819,33
<b>2024</b>	445.104.705,78	706.145.694,00

## **BAB V**

### **MODEL SKENARIO ALTERNATIF**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai skenario alternatif yang akan disusun dan dilakukan. Berdasarkan model saat ini yang telah dibuat pada bab sebelumnya, model tersebut dapat digunakan sebagai kerangka untuk membangun skenario-skenario kebijakan dalam rangka pengambilan keputusan di masa depan. Skenario kebijakan yang akan diambil tentunya akan didasarkan pada kondisi-kondisi yang memungkinkan dan variabel-variabel yang menjadi *input* dalam sistem dapat dikontrol oleh pengambil keputusan terkait tata kelola air bersih di Surabaya. Skenario yang ditentukan didasarkan pada parameter-parameter yang dapat memengaruhi kinerja dalam sistem.

Skenario yang dikembangkan pada model ini disusun dan dikembangkan dalam rangka menguji hipotesis yang berkembang saat ini, dimana peningkatan pertumbuhan penduduk di Kota Surabaya menyebabkan kebutuhan air bersih yang meningkat. Sehingga dibutuhkan solusi alternatif dalam menjaga pemenuhan air bersih di Kota Surabaya.

Dalam mengembangkan model skenario alternatif, pembuat model melakukan studi literatur terkait penurunan NRW salah satunya adalah laporan USAID tentang penurunan NRW di Kota Malang (USAID, 2006). Pembuat model juga melakukan diskusi dengan PDAM Surabaya terkait upaya penurunan NRW di Kota Surabaya. Berdasarkan hasil studi literatur dan diskusi dalam rangka memenuhi kebutuhan air bersih di masa depan terdapat dua pokok persoalan dapat dilaksanakan yaitu penambahan kapasitas produksi air bersih dan melakukan penyelamatan terhadap air yang hilang (NRW).

Berdasarkan pemaparan di atas, pembuat model melakukan pengembangan skenario-skenario alternatif. Terdapat tiga variabel utama yang digunakan pada skenario yang dikembangkan yaitu produksi air bersih, NRW, dan konsumsi resmi. Ketiga variabel tersebut akan memberikan implikasi pada aspek energi dan ekonomi. Dari aspek energi yang ditinjau dari jumlah kWh yang terbuang disebabkan NRW. Ditinjau dari aspek ekonomi yaitu pendapatan usaha PDAM Surabaya.

Berdasarkan pernyataan-pernyataan di atas, maka telah disusun sebuah model tata kelola air bersih di Kota Surabaya dengan skenario-skenario kebijakan tertentu agar kebutuhan air bersih di masa depan dapat terpenuhi dan memberikan implikasi ekonomi bagi PDAM. Tabel 5.1 berikut adalah skenario-skenario alternatif pada penelitian ini.

Tabel 5. 1 Skenario-Skenario Alternatif

Indeks Skenario	Keterangan
<b>E</b>	Kondisi saat ini tata kelola air bersih PDAM Surabaya
<b>PP1</b>	Perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan panjang 30 Km
<b>PP2</b>	Perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan panjang 60 Km
<b>PP3</b>	Perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan panjang 42 Km
<b>PM1</b>	Perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan 30.000 meter baru
<b>PM2</b>	Perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan 60.000 meter baru
<b>PS</b>	Penambahan SDM <i>sweeping</i>
<b>PK</b>	Penambahan kapasitas produksi PDAM
<b>SK1</b>	Kombinasi antara skenario PP dan PM
<b>SK2</b>	Kombinasi antara skenario PP dan PS

### 5.1 Skenario 1: Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa

Perilaku skenario satu adalah melakukan perbaikan dan rehabilitasi pipa. Berdasarkan informasi dari PDAM terjadi kebocoran sepanjang 100 Km per tahunnya. Total Panjang jaringan pipa PDAM sebesar 3.939 Km, dan mengalami kebocoran 100 Km per tahunnya. Kebocoran tersebut disebabkan oleh berbagai faktor baik faktor internal maupun eksternal. Faktor internal dipengaruhi oleh usia pipa dan faktor eksternal dipengaruhi oleh tekanan jalan, stabilitas tekanan pipa, dan tingkat pH pada air. Berdasarkan hal tersebut dilakukan simulasi model skenario alternatif dengan indikator konsumsi resmi, kehilangan fisik, konsumsi energi, pendapatan air. Berikut adalah *output* model saat ini yang ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 *Output* Simulasi Saat Ini

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	229.729.425,02	82.805.837,00	224.961.761.807,49	828.058.370,00
2017	229.713.327,36	90.649.956,00	224.612.898.619,51	906.499.560,00

Tabel 5. 2 *Output* Simulasi Saat Ini (lanjutan)

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2018	239.095.670,57	107.759.395,00	235.303.352.351,14	1.077.593.950,00
2019	246.790.069,38	114.703.127,00	257.694.052.890,68	1.147.031.270,00
2020	252.361.102,73	115.717.628,51	273.905.759.957,98	1.157.176.285,10
2021	253.978.258,19	117.746.631,53	278.611.682.340,75	1.177.466.315,30
2022	257.136.763,02	119.775.634,55	287.802.931.379,05	1.197.756.345,50
2023	260.294.950,76	121.804.637,57	296.993.257.700,49	1.218.046.375,70
2024	263.453.455,58	123.833.640,59	306.184.506.738,78	1.238.336.405,90

Skenario selanjutnya adalah melakukan perbaikan dan rehabilitasi pipa sepanjang 30 Km. Biaya perbaikan dan rehabilitasi pipa 30 Km membutuhkan investasi sebesar Rp 132.000.000.000,00 per tahunnya. Dari investasi tersebut dapat menekan tingkat NRW serta mampu meningkatkan pendapatan air dan efisiensi energi. Hasil simulasi skenario PP1 dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 *Output* Simulasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa 30 Km

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	263.227.560,02	52.826.996,00	190.441.334.657,49	493.077.020,00
2017	267.536.287,36	60.948.467,00	202.677.712.219,51	528.269.960,00
2018	285.906.598,57	63.978.051,50	239.523.152.831,14	609.484.670,00
2019	297.515.144,88	64.485.302,26	273.304.022.595,68	639.780.515,00
2020	303.593.428,99	65.499.803,77	290.991.829.360,03	644.853.022,55
2021	306.225.085,96	66.514.305,28	298.649.951.136,90	654.998.037,65
2022	310.398.092,29	67.528.806,78	310.793.399.569,30	665.143.052,75
2023	314.570.781,54	68.543.308,30	322.935.925.284,84	675.288.067,85
2024	318.743.787,88	69.050.559,05	335.079.373.717,23	685.433.082,95

Skenario selanjutnya adalah melakukan perbaikan dan rehabilitasi pipa sepanjang 60 Km. Biaya perbaikan dan rehabilitasi pipa 60 Km membutuhkan investasi sebesar Rp 264.000.000.000,00 per tahunnya. Dari investasi tersebut dapat menekan tingkat NRW serta mampu meningkatkan pendapatan air dan efisiensi energi. Hasil simulasi skenario PP2 dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5. 4 *Output* Simulasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa 60 Km

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	280.311.608,87	33.537.286,40	108.155.916.810,99	322.236.531,50
2017	286.825.996,96	37.074.893,72	126.810.767.155,51	335.372.864,00
2018	309.780.171,85	38.108.263,00	176.995.251.075,94	370.748.937,20
2019	323.384.933,38	38.356.815,86	216.585.107.145,23	381.082.629,95
2020	329.721.915,38	38.853.921,60	235.025.724.755,08	383.568.158,65
2021	332.870.968,12	39.351.027,34	244.189.468.222,93	388.539.216,05
2022	337.561.370,22	39.848.133,08	257.838.538.346,32	393.510.273,45
2023	342.251.455,24	40.345.238,82	271.486.685.752,85	398.481.330,85
2024	346.941.857,35	40.593.791,69	285.135.755.876,24	403.452.388,25

Skenario selanjutnya adalah skenario optimal diantara perbaikan pipa 30 Km dan 60 Km. Skenario optimal adalah skenario dimana nilai laba pendapatan air tertinggi dan mampu mengurangi tingkat NRW. Pembuat model mencari nilai optimal dengan memasukkan setiap nilai yang memungkinkan. Berdasarkan hasil simulasi, ditemukan bahwa perbaikan dan pergantian pipa dengan Panjang 42 Km merupakan yang optimal. Dengan melakukan perbaikan dan pergantian sepanjang 42 Km diperoleh nilai pendapatan laba usaha yang lebih tinggi dengan nilai investasi sebesar Rp 184.800.000.000,00 per tahunnya. Hasil simulasi skenario PP3 dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 *Output* Simulasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa 42 Km

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	276.626.814,02	37.697.812,00	176.633.163.797,49	359.084.480,00
2017	282.665.471,36	42.224.095,80	193.903.637.659,51	376.978.120,00
2018	304.630.969,77	43.688.021,30	241.211.073.023,14	422.240.958,00
2019	317.805.175,08	43.992.371,75	279.548.010.477,68	436.880.213,00
2020	324.086.359,49	44.601.072,66	297.826.257.120,85	439.923.717,53
2021	327.123.817,06	45.209.773,56	306.665.258.655,36	446.010.726,59
2022	331.702.624,00	45.818.474,47	319.989.586.845,40	452.097.735,65
2023	336.281.113,86	46.427.175,38	333.312.992.318,58	458.184.744,71
2024	340.859.920,79	46.731.525,83	346.637.320.508,61	464.271.753,77

Perbaikan dan rehabilitasi pipa memerlukan biaya investasi yang bergantung pada kondisi di lapangan, biaya investasi yang mahal disebabkan karena biaya pembongkaran fasilitas, kualitas pipa, dan pemulihan fasilitas. Berikut merupakan rincian biaya investasi yang diperlukan dalam melakukan perbaikan dan rehabilitasi pipa yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 6 Biaya Investasi Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa

Indeks Skenario	Panjang Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa	Biaya Investasi per Tahun
<b>E</b>	0	0
<b>PP1</b>	30	Rp 132.000.000.000,00
<b>PP2</b>	60	Rp 264.000.000.000,00
<b>PP3</b>	42	Rp 184.800.000.000,00

Tabel 5.7 berikut adalah perbandingan dari skenario perbaikan dan rehabilitasi pipa.

Tabel 5. 7 *Output* Perbandingan Rata-Rata Perbaikan dan Rehabilitasi Pipa

No	Indikator	Kondisi Saat ini	Panjang Perbaikan Pipa 30 Km	Panjang Perbaikan Pipa 60 Km	Panjang Perbaikan Pipa 42 Km
<b>1</b>	Konsumsi Resmi (m <sup>3</sup> )	248.061.447	296.412.974,2	321.072.253	315.753.585,05
<b>2</b>	NRW (m <sup>3</sup> )	110.532.943,1	64.375.066,66	38.452.152,39	44.043.369,19
<b>3</b>	Laba Pendapatan Air (Rp)	265.118.911.531	273.821.855.708	213.580.357.237	277.303.033.378,51
<b>4</b>	Energi yang Dapat Diselamatkan (kWh)	1.105.329.431	621.814.158,8	375.221.370	428.408.049,92

Dari ketiga skenario yang ditunjukkan pada Tabel 5.6. dapat diketahui bahwa perbaikan dan rehabilitasi pipa dapat menyelamatkan NRW hingga 65% dari kondisi saat ini. Selain berdampak pada penyelamatan air dari NRW, perbaikan dan rehabilitasi pipa juga berpengaruh terhadap ketersediaan air bersih sehingga jumlah produksi air dapat disesuaikan dengan permintaan air bersih. Hal tersebut ditandai dengan jumlah air berekening yang bertambah. Peningkatan konsumsi resmi juga turut meningkatkan pendapatan air dan efisiensi energi yang digunakan.

## 5.2 Skenario 2: Perbaikan dan Rehabilitasi Meteran

Perilaku skenario dua adalah melakukan perbaikan dan rehabilitasi meteran. Berdasarkan hasil simulasi model, tingkat *meter error* berkontribusi sebesar 19% dari jumlah total NRW. Perbaikan dan rehabilitasi meteran dilakukan untuk meningkatkan tingkat akurasi meter pada pencatatan air berekening. Penyebab kerusakan terhadap meter ada empat yaitu disebabkan faktor umur, kerusakan meter, meteran macet, dan meteran buram. Maka dari itu perlu dilakukan pergantian meter baru yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi pencatatan air berekening. Berikut adalah skenario pergantian 30.000 unit meter baru dengan nilai investasi sebesar Rp 60.000.000.000,00. Berikut adalah hasil simulasi dengan mengganti 30.000 unit meter baru yang ditunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 *Output* Perbaikan dan Rehabilitasi 30.000 Meter Baru

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	237.379.425,02	83.389.956,00	187.223.261.807,49	751.558.370,00
2017	236.973.327,36	100.919.395,00	185.739.498.619,51	833.899.560,00
2018	245.935.670,57	108.283.127,00	195.207.752.351,14	1.009.193.950,00
2019	253.210.069,38	109.297.628,51	216.376.252.890,68	1.082.831.270,00
2020	258.781.102,73	111.326.631,53	232.587.959.957,98	1.092.976.285,10
2021	260.398.258,19	113.355.634,55	237.293.882.340,75	1.113.266.315,30
2022	263.556.763,02	115.384.637,57	246.485.131.379,05	1.133.556.345,50
2023	266.714.950,76	117.413.640,59	255.675.457.700,49	1.153.846.375,70
2024	252.868.695,88	107.421.331,34	219.573.649.630,89	1.021.391.058,95

Skenario selanjutnya adalah melakukan penggantian terhadap 60.000 meter dengan meter yang baru. Pergantian 60.000 meter menelan biaya investasi sebesar Rp 120.000.000.000,00. Berikut adalah hasil simulasi dari perbaikan dan rehabilitasi 60.000 meter yang ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 *Output* Perbaikan dan Rehabilitasi 60.000 Meter Baru

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	245.029.425,02	76.129.956,00	149.484.761.807,49	675.058.370,00
2017	244.233.327,36	94.079.395,00	146.866.098.619,51	761.299.560,00
2018	252.775.670,57	101.863.127,00	155.112.152.351,14	940.793.950,00
2019	259.630.069,38	102.877.628,51	175.058.452.890,68	1.018.631.270,00
2020	265.201.102,73	104.906.631,53	191.270.159.957,98	1.028.776.285,10
2021	266.818.258,19	106.935.634,55	195.976.082.340,75	1.049.066.315,30
2022	269.976.763,02	108.964.637,57	205.167.331.379,05	1.069.356.345,50
2023	273.134.950,76	110.993.640,59	214.357.657.700,49	1.089.646.375,70
2024	276.293.455,58	112.008.142,10	223.548.906.738,78	1.109.936.405,90

Pada dua *output* hasil simulasi perbaikan dan pergantian meter akan dilihat jumlah air yang dapat diselamatkan dan berapa besar pengaruhnya terhadap konsumsi energi dan pendapatan air PDAM. Dengan menerapkan perilaku skenario ini, diharapkan dapat meningkatkan akurasi sehingga dapat merekeningkan air yang tidak terdeteksi akibat *meter error*. Sehingga dapat menurunkan tingkat NRW, mengurangi tingkat *error*, dan meningkatkan laba pemasukan air. Berikut adalah biaya perbaikan dan pergantian meter yang ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Biaya Investasi Perbaikan dan Pergantian Meter

Indeks Skenario	Perbaikan dan Pergantian Meter	Biaya Investasi per Tahun
<b>E</b>	0	0
<b>PM1</b>	30.000	Rp 60.000.000.000,00
<b>PM2</b>	60.000	Rp 120.000.000.000,00

Berikut adalah hasil simulasi pada perbaikan dan pergantian meter yang ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 *Output* Perbandingan Rata-Rata Perbaikan dan Pergantian Meter

No.	Indikator	Kondisi Saat Ini	Perbaikan dan Pergantian 30.000 Meter	Perbaikan dan Pergantian 60.000 Meter
<b>1</b>	Konsumsi Resmi (m <sup>3</sup> )	248.061.447	254.758.113,6	261.454.780,3
<b>2</b>	NRW (m <sup>3</sup> )	110.532.943,1	108.644.310,3	102.084.310,3

Tabel 5. 11 Output Perbandingan Rata-Rata Perbaikan dan Pergantian Meter (lanjutan)

No.	Indikator	Kondisi Saat Ini	Perbaikan dan Pergantian 30.000 Meter	Perbaikan dan Pergantian 60.000 Meter
3	Laba Pendapatan Air (Rp)	265.118.911.531	219.573.649.630	184.093.511.531
4	Energi yang Dapat Diselamatkan (kWh)	1.105.329.431	1.038.362.764	971.396.097,5

Dari kedua skenario perbaikan dan rehabilitasi meter dapat diketahui bahwa perbaikan meter dapat menyelamatkan NRW hingga 7% dari kondisi saat ini. Selain berdampak pada penyelamatan air dari NRW, perbaikan dan rehabilitasi meter juga berpengaruh terhadap ketersediaan air bersih sehingga jumlah produksi air dapat disesuaikan dengan permintaan air bersih. Hal tersebut ditandai dengan jumlah air berekening yang bertambah. Peningkatan konsumsi resmi juga turut meningkatkan pendapatan air dan efisiensi energi yang digunakan.

### 5.3 Skenario 3: Penambahan SDM *Sweeping*

Perilaku skenario tiga adalah melakukan penambahan pada SDM *sweeping*. Berdasarkan hasil simulasi model, tingkat pemakaian tidak resmi berkontribusi sebesar 0,07% dari jumlah total NRW. Penambahan SDM *sweeping* dilakukan untuk menangkap pencuri air dan mendenda pencuri dengan nilai yang telah ditentukan oleh PDAM. Berikut adalah hasil simulasi penambahan 50 SDM *sweeping* dengan investasi sebesar Rp 3.000.000.000,00 yang ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Output penambahan 50 SDM *Sweeping*

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	229.729.425,02	90.649.956,00	221.961.761.807,49	828.058.370,00
2017	229.713.327,36	107.759.395,00	221.612.898.619,51	906.499.560,00
2018	239.095.670,57	114.703.127,00	232.303.352.351,14	1.077.593.950,00
2019	246.790.069,38	115.717.628,51	254.694.052.890,68	1.147.031.270,00
2020	252.361.102,73	117.746.631,53	270.905.759.957,98	1.157.176.285,10
2021	253.978.258,19	119.775.634,55	275.611.682.340,75	1.177.466.315,30
2022	257.136.763,02	121.804.637,57	284.802.931.379,05	1.197.756.345,50

Tabel 5. 12 Output penambahan 50 SDM *Sweeping* (lanjutan)

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2023	260.294.950,76	123.833.640,59	293.993.257.700,49	1.218.046.375,70
2024	263.453.455,58	124.848.142,10	303.184.506.738,78	1.238.336.405,90

#### 5.4 Skenario 4: Penambahan Kapasitas Produksi

Perilaku skenario empat adalah menambahkan kapasitas produksi pada produksi saat ini. Berdasarkan hasil simulasi model dalam jangka waktu lima tahun ke depan, kapasitas produksi memenuhi permintaan dengan catatan produksi mendekati limit kapasitas produksi dengan kondisi tersebut skenario empat perlu dijadikan pertimbangan. Nilai investasi penambahan kapasitas produksi sebesar 35.004.960 m<sup>3</sup> memakan biaya Rp 520.000.000.000,00. Berikut adalah hasil simulasi dengan menambahkan kapasitas produksi yang ditunjukkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 *Output* Penambahan Kapasitas Produksi

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	229.729.425,02	82.805.837,00	172.961.761.807,49	828.058.370,00
2017	229.713.327,36	90.649.956,00	172.612.898.619,51	906.499.560,00
2018	239.095.670,57	107.759.395,00	183.303.352.351,14	1.077.593.950,00
2019	246.790.069,38	114.703.127,00	205.694.052.890,68	1.147.031.270,00
2020	252.361.102,73	115.717.628,51	221.905.759.957,98	1.157.176.285,10
2021	253.978.258,19	117.746.631,53	226.611.682.340,75	1.177.466.315,30
2022	257.136.763,02	119.775.634,55	235.802.931.379,05	1.197.756.345,50
2023	260.294.950,76	121.804.637,57	244.993.257.700,49	1.218.046.375,70
2024	263.453.455,58	123.833.640,59	254.184.506.738,78	1.238.336.405,90

Pada hasil simulasi terlihat tidak ada perbedaan dengan model saat ini namun pada model tersebut kapasitas produksi ditingkatkan menjadi 452.536.434 m<sup>3</sup>. Dengan jumlah kapasitas sebesar 452.536.434 m<sup>3</sup> diharapkan mampu memenuhi laju permintaan air bersih di masa depan.

## 5.5 Skenario 5: Kombinasi

Perilaku skenario lima adalah melakukan kombinasi pada setiap skenario-skenario yang telah dibangun. Skenario kombinasi di antaranya dengan menggabungkan perbaikan dan rehabilitasi pipa, perbaikan dan rehabilitasi meteran, dan penambahan SDM *sweeping*. Pada hasil dari skenario lima diharapkan diperoleh hasil NRW yang rendah dan mampu meningkatkan pendapatan laba PDAM Surabaya. Kombinasi pertama adalah penggabungan antara skenario perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan perbaikan dan rehabilitasi meter. Untuk memperoleh nilai kombinasi yang optimal dilakukan pengujian pada setiap nilainya. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kombinasi perbaikan pipa sepanjang 42 Km dan pergantian meter sebanyak 10.000 meter adalah kombinasi yang optimal. Berikut adalah hasil simulasi kombinasi satu dengan biaya investasi Rp 212.300.000.000 yang ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 *Output* Kombinasi Perbaikan Pipa dan Meter

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	279.176.814,02	35.277.812,00	156.553.663.797,49	352.778.120,00
2017	285.085.471,36	39.944.095,80	173.445.837.659,51	399.440.958,00
2018	306.910.969,77	41.548.021,30	220.345.873.023,14	415.480.213,00
2019	319.945.175,08	41.852.371,75	258.275.410.477,68	418.523.717,53
2020	326.226.359,49	42.461.072,66	276.553.657.120,85	424.610.726,59
2021	329.263.817,06	43.069.773,56	285.392.658.655,36	430.697.735,65
2022	333.842.624,00	43.678.474,47	298.716.986.845,40	436.784.744,71
2023	338.421.113,86	44.287.175,38	312.040.392.318,58	442.871.753,77
2024	342.999.920,79	44.591.525,83	325.364.720.508,61	445.915.258,30

Skenario selanjutnya adalah melakukan kombinasi antara perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan penambahan SDM. Pada skenario ini, dilakukan pencarian nilai optimal dengan melakukan uji coba pada setiap variabel *input*. Berdasarkan hasil uji coba pada variabel *input* diperoleh nilai perbaikan pipa dengan Panjang 40 Km dengan penambahan SDM *sweeping* sebanyak 10 orang. Dengan biaya investasi sebesar Rp 177.000.000.000 diperoleh hasil *output* simulasi kombinasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 15 *Output* Kombinasi Perbaikan Pipa dan SDM *Sweeping*

Tahun	Konsumsi Resmi	NRW	Laba Pendapatan Air	Energi yang Dapat Diselamatkan
Unit	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Rupiah	kWh
2016	274.393.605,02	40.219.342,67	178.034.525.607,49	402.193.426,67
2017	280.143.940,69	45.344.824,33	194.465.983.419,51	453.448.243,33
2018	301.510.241,23	47.069.693,00	240.029.752.991,14	470.696.930,00
2019	314.423.503,38	47.407.860,17	277.607.345.830,68	474.078.601,70
2020	320.670.871,07	48.084.194,51	295.787.185.827,38	480.841.945,10
2021	323.640.695,21	48.760.528,85	304.429.374.068,95	487.605.288,50
2022	328.151.868,72	49.436.863,19	317.556.888.966,05	494.368.631,90
2023	332.662.725,14	50.113.197,53	330.683.481.146,29	501.131.975,30
2024	337.173.898,64	50.451.364,70	343.810.996.043,38	504.513.647,00

Pada dua *output* hasil simulasi kombinasi dilihat jumlah air yang dapat diselamatkan dan berapa besar pengaruhnya terhadap laba pendapatan air. Pada skenario kombinasi dapat dilihat bahwa *system dynamic* mampu memberikan pemahaman yang holistik dalam merumuskan permasalahan, Berikut adalah biaya kombinasi skenario yang ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16 Biaya Investasi Skenario Kombinasi

Indeks Skenario	Perbaikan dan Pergantian Pipa	Perbaikan dan Pergantian Meter	Penambahan SDM <i>Sweeping</i>	Biaya Investasi per Tahun
E	0	0	0	0
SK1	42	10.000	0	Rp 212.300.000.000
SK2	40	0	10	Rp 177.000.000.000

Tabel 5.17 berikut adalah tabel perbandingan dari skenario kombinasi antara perbaikan dan rehabilitasi pipa, perbaikan dan rehabilitasi meter, dan SDM *sweeping*.

Tabel 5. 17 *Output* Perbandingan Rata-Rata Skenario Kombinasi

No	Indikator	Kondisi Saat ini	SK1	SK2
1	Konsumsi Resmi (m <sup>3</sup> )	248.061.447	317.985.807,3	312.530.149
2	NRW (m <sup>3</sup> )	110.532.943,1	41.856.702,53	47.431.985,4

Tabel 5. 17 *Output* Perbandingan Rata-Rata Skenario Kombinasi (lanjutan)

No	Indikator	Kondisi Saat ini	SK 1	SK 2
3	Laba Pendapatan Air (Rp)	265.118.911.531	256.298.800.045	275.822.837.100
4	Energi yang Dapat Diselamatkan (kWh)	1.105.329.431	418.567.025,3	474.319.854,3

Dari kedua skenario kombinasi yang telah dibangun dapat disimpulkan bahwa faktor dominan yang memengaruhi NRW adalah kerusakan fisik. Sehingga diantara kombinasi-kombinasi tersebut jumlah perbaikan dan rehabilitasi pipa lebih besar dibandingkan dengan perbaikan dan rehabilitasi meter dan penambahan SDM *sweeping*. Dari hasil kedua skenario yang telah dibangun dapat dinyatakan bahwa SK2 adalah kombinasi yang terbaik, hal tersebut dapat dilihat dari hasil *output* pada Tabel 5.17.

## 5.6 Analisis Perbandingan Skenario

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan kesembilan skenario yang telah diterapkan pada model penurunan NRW di Kota Surabaya. Berdasarkan simulasi yang telah dijalankan, akan dilakukan perbandingan hasil simulasi antara kesembilan skenario dan model simulasi awal. Perbandingan dilakukan pada setiap sub model atau sektor yang memiliki variabel perbedaan dengan hasil simulasi model awal. Setelah dilakukan perbandingan maka akan dilakukan pemilihan skenario yang tepat sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut adalah perbandingan hasil simulasi skenario-skenario alternatif yang ditunjukkan pada Tabel 5.18.

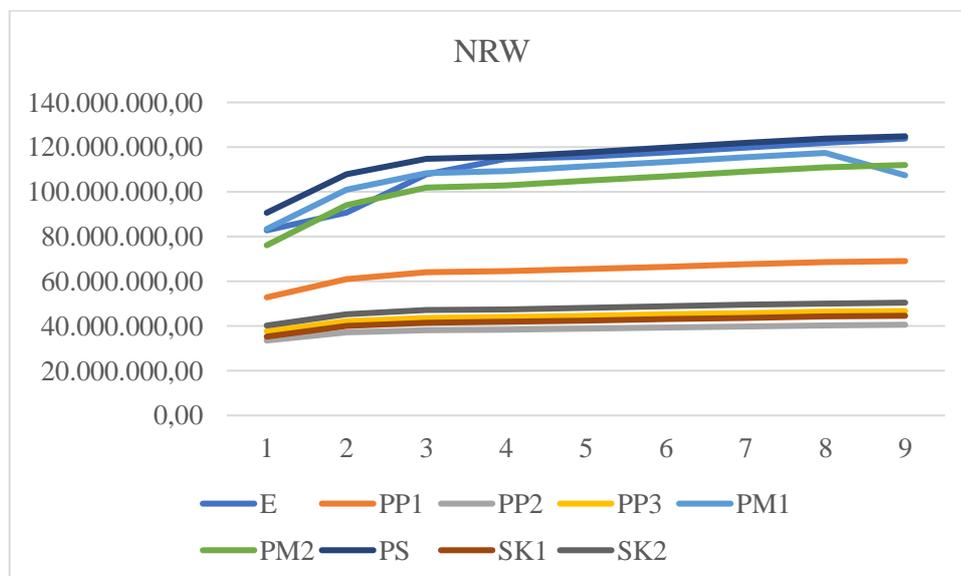
Tabel 5. 18 Perbandingan Skenario Kapasitas Produksi dan NRW

Indeks Skenario	Kapasitas Produksi (m <sup>3</sup> )	Produksi Air Bersih (m <sup>3</sup> )	NRW (m <sup>3</sup> )	NRW (%)
E	390.669.078	335.620.637	110.532.943,08	31%
PP1	390.669.078	335.620.637	64.375.066,66	17%
PP2	390.669.078	335.620.637	38.452.152,39	11%
PP3	390.669.078	335.620.637	44.043.369,19	13%
PM1	390.669.078	335.620.637	108.644.310,32	31%
PM2	390.669.078	335.620.637	102.084.310,32	29%
PS	390.669.078	335.620.637	105.204.310,32	29%

Tabel 5. 18 Perbandingan Skenario Kapasitas Produksi dan NRW (lanjutan)

Indeks Skenario	Kapasitas Produksi (m <sup>3</sup> )	Produksi Air Bersih (m <sup>3</sup> )	NRW (m <sup>3</sup> )	NRW (%)
PK	452.536.434	335.620.637	110.532.943,08	31%
SK1	390.669.078	335.620.637	41.856.702,53	12%
SK2	390.669.078	335.620.637	47.431.985,44	14%

Pada Tabel 5.18 tingkat kapasitas produksi memiliki kapasitas yang sama disebabkan dalam jangka waktu simulasi pemenuhan kebutuhan air bersih hingga tahun 2024 dapat terpenuhi oleh PDAM. Pada Tabel 5.18 pembuat model memberikan skenario alternatif dengan indeks skenario PK. Pada skenario tersebut tingkat kapasitas produksi ditingkatkan dengan mempertimbangkan kebutuhan jangka panjang. Sedangkan kebutuhan air bersih di Surabaya hingga 2024 dinyatakan telah memenuhi kebutuhan. Selanjutnya tingkat NRW pada masing-masing skenario memiliki nilai yang berbeda. Hal tersebut disebabkan karena 81% dari NRW disebabkan faktor kehilangan fisik. Sehingga diperlukan perhatian lebih terhadap kehilangan fisik tersebut dengan melakukan perawatan terhadap jaringan pipa PDAM Surabaya yang sepanjang 3939 Km. Untuk memperoleh skenario yang terbaik, pembuat model melakukan kombinasi terhadap skenario-skenario yang telah dibangun. Pada Gambar 5.1 berikut merupakan perbandingan secara visual terhadap masing-masing skenario dalam upaya penurunan tingkat NRW per tahun.



Gambar 5. 1 Perbandingan NRW

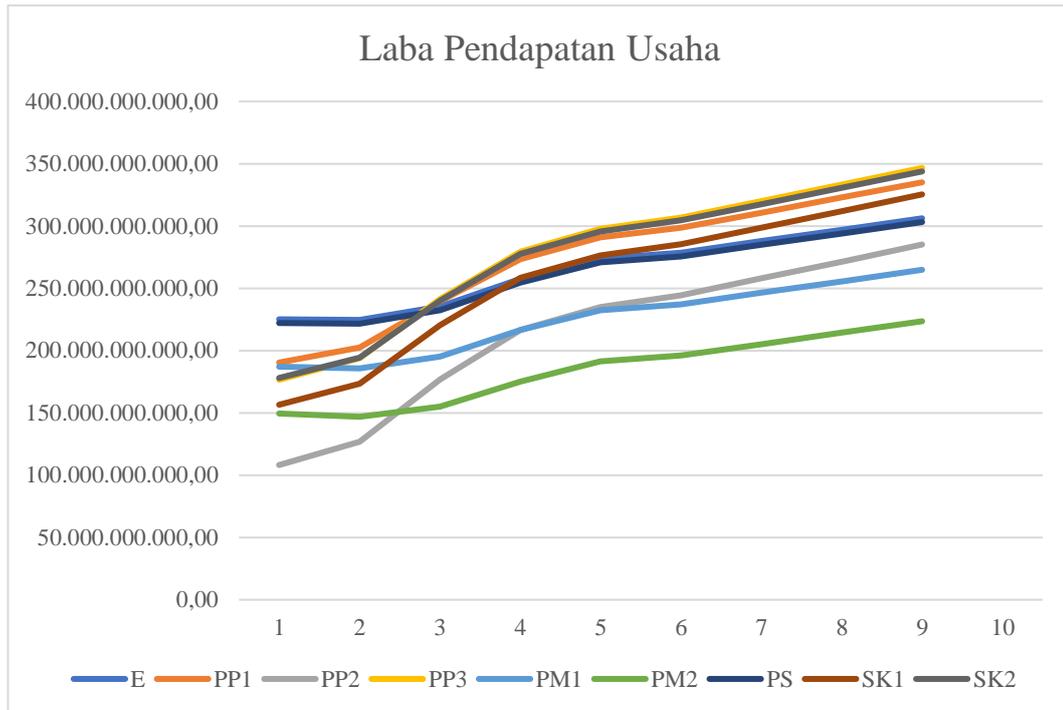
Pada Gambar 5.1, Tingkat NRW pada indeks PP2, PP3, SK1, SK2 relatif rendah disebabkan faktor kebocoran fisik adalah penyebab terbesar dari NRW itu

sendiri. Pada kehilangan fisik memiliki tantangan sendiri walaupun tingkat penyelamatan NRW yang besar. Pada kehilangan fisik memiliki tantangan dalam memetakan dan menemukan kebocoran terutama kebocoran di bawah permukaan tanah. Sedangkan Pada indeks PM1, PM2, dan PS jumlah penurunan NRW tidak begitu signifikan disebabkan ketiga skenario tersebut mengatasi persoalan kehilangan non fisik atau kehilangan yang tidak dapat diuangkan. Pada indeks PK nilai NRW tidak berubah disebabkan skenario PK hanya meningkatkan kapasitas produksi. Selanjutnya adalah perbandingan pada biaya investasi dan laba pendapatan air yang ditunjukkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Perbandingan Skenario Investasi dan Pendapatan Air

Indeks Skenario	Biaya Investasi per tahun	Laba Pendapatan Air
E	0	Rp 265.118.911.531
PP1	Rp 132.000.000.000	Rp 273.821.855.708
PP2	Rp 264.000.000.000	Rp 213.580.357.237
PP3	Rp 184.800.000.000	Rp 277.303.033.378
PM1	Rp 60.000.000.000	Rp 224.606.211.531
PM2	Rp 120.000.000.000	Rp 184.093.511.531
PS	Rp 3.000.000.000	Rp 262.118.911.531
PK	Rp 52.000.000.000	Rp 213.118.911.531
SK1	Rp 212.300.000.000	Rp 256.298.800.045
SK2	Rp 177.000.000.000	Rp 275.822.837.100

Pada Tabel 5.15 dapat dilihat nilai investasi pada masing-masing skenario. Investasi terbesar adalah perbaikan dan rehabilitasi pipa yang selanjutnya diikuti oleh investasi pergantian meter. Sedangkan untuk laba pendapatan air terbesar diperoleh dengan skenario PP3 diikuti dengan SK2. Pada nilai investasi pada PP1 relatif di angka yang sama dengan PM2 namun memiliki hasil yang berbeda.



Gambar 5. 2 Perbandingan Laba Pendapatan Usaha

Pada Gambar 5.2, Terdapat tiga skenario yang dapat meningkatkan laba pendapatan yaitu skenario PP1, PP3, dan SK2. Pada skenario PP1 laba pendapatan air meningkat Rp 8.702.944.176,00 dari laba pendapatan awal. Dengan nilai investasi yang relatif sama dengan skenario PM2, PP1 memiliki dampak terhadap laba pendapatan air yang lebih besar. Pada SK2, pembuat model melakukan kombinasi antara perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan penambahan SDM *sweeping* laba pendapatan meningkat Rp 10.703.925.569,10. Sedangkan PP3 meningkat Rp 12.184.121.847 dari laba pendapatan awal. Skenario PP3 membutuhkan nilai investasi yang besar yaitu sebesar Rp 184.800.000.000,00 namun dapat memberikan peningkatan laba dibandingkan dengan PP2 yang memiliki nilai investasi besar namun tidak dapat meningkatkan laba. Dengan hasil tersebut maka skenario PP3 adalah skenario dengan laba pendapatan yang optimal dibandingkan dengan skenario-skenario lainnya.

Tabel 5. 20 Perbandingan Skenario Energi yang Dapat Diselamatkan

Indeks Skenario	Energi yang dapat diselamatkan
E	1.105.329.430,83 kWh
PP1	621.814.158,75 kWh

Tabel 5. 20 Perbandingan Skenario Energi yang Dapat Diselamatkan (lanjutan)

Indeks Skenario	Energi yang dapat diselamatkan
PP2	375.221.369,99 kWh
PP3	428.408.049,92 kWh
PM1	1.038.362.764,17 kWh
PM2	971.396.097,50 kWh
PS	1.105.329.430,83 kWh
PK	1.105.329.430,83 kWh
SK1	418.567.025,28 kWh
SK2	474.319.854,39 kWh

Berdasarkan Tabel 5.20, energi yang dapat diselamatkan dari air yang hilang memiliki nilai yang beragam. Pada tabel tersebut menunjukkan berapa banyak sisa energi yang bisa diselamatkan. Semakin rendah nilainya maka menandakan bahwa energi yang digunakan untuk produksi dan operasional air bersih dapat tersalurkan dan dimanfaatkan dengan baik. Skenario dengan indeks PP2 memiliki nilai terendah yang berarti penggunaan energi telah efisien.

Berdasarkan hasil perbandingan kesembilan skenario, maka dapat disimpulkan bahwa skenario dengan indeks PP3 adalah skenario yang mendukung tujuan penelitian terhadap usaha penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya. Pada skenario tersebut menjawab dua permasalahan yaitu pemenuhan kebutuhan air bersih dan peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya. Dalam memenuhi permintaan kebutuhan air bersih, PDAM melakukan dengan cara menyelamatkan air yang hilang saat proses distribusi. Dengan begitu PDAM sebagai operator penyedia air bersih di Surabaya dapat menyesuaikan produksinya sehingga dapat mengefisienkan biaya produksi dan konsumsi energi. Selain itu skenario dengan indeks SK2 dapat dijadikan pertimbangan karena dengan biaya investasi yang lebih rendah dibandingkan dengan PP3 namun mampu memberikan laba pemasukan kedua terbesar dibandingkan dengan skenario-skenario lainnya. Oleh karena itu rekomendasi pemilihan skenario alternatif berdasarkan aspek yang ditinjau di antaranya adalah PP3, SK2, PP1, SK1, PS, PP2, PM1, dan PM2.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini dijelaskan terkait dengan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk penelitian berikutnya.

#### 6.1 Kesimpulan

Pada sub-bab ini akan dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut ini kesimpulan dari penelitian mengenai pengembangan alternatif kebijakan penurunan *Non Revenue Water* (NRW) dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya:

- 1) Pada model pengembangan alternatif kebijakan penurunan NRW dalam rangka peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya dengan menggunakan *system dynamic* dapat mengidentifikasi kapasitas produksi, produksi air bersih, permintaan air bersih, NRW, dan konsumsi resmi maupun kombinasi dari beberapa faktor tersebut.
- 2) Rekomendasi skenario terhadap penurunan NRW dalam mengantisipasi pertambahan jumlah penduduk Surabaya adalah skenario perbaikan dan rehabilitasi pipa dengan melakukan pergantian 42 Km pipa per tahun. Skenario terpilih tersebut adalah skenario yang dapat meningkatkan jumlah air berekening sebesar 315.753.585,05 m<sup>3</sup> dan menekan tingkat NRW sebesar 44.043.369,19 m<sup>3</sup>.
- 3) Rekomendasi skenario terhadap peningkatan pendapatan usaha PDAM Surabaya adalah dengan melakukan pergantian pipa 42 Km per tahun. Pemilihan skenario tersebut berdasarkan pertimbangan *profit cost ratio* dan faktor-faktor penyebab NRW. Berdasarkan hasil simulasi, Skenario terpilih dapat meningkatkan laba pendapatan air sebesar Rp 277.303.033.378,51 per tahun. Meningkat Rp 12.184.121.847 dari laba pendapatan kondisi awal.
- 4) Selain skenario pergantian pipa 42 Km per tahun. Terdapat skenario alternatif yang dapat dipertimbangkan dalam merumuskan kebijakan dengan *output* yang mendekati skenario terpilih. Skenario alternatif adalah kombinasi pergantian pipa 40 Km dan penambahan 10 SDM *sweeping* dengan penurunan tingkat NRW 47.431.985,44 m<sup>3</sup> dan laba pendapatan sebesar Rp 275.822.837.100.

## 6.2 Saran

Berikut ini merupakan saran terkait hasil penelitian dan bagi penelitian berikutnya, di antaranya sebagai berikut

- 1) Permodelan yang dikembangkan dalam penelitian ini berfokus pada pemenuhan kebutuhan air bersih di Kota Surabaya yang dipengaruhi oleh kapasitas produksi air bersih, kehilangan fisik dan non fisik, dan laju pertumbuhan penduduk di Surabaya. Melihat hal tersebut masih diperlukannya pengembangan model pemenuhan air bersih dari aspek ketersediaan air dari hulu, pengolahan air, kualitas, hingga daur ulang air.
- 2) Perlu adanya pengembangan model yang lebih luas dengan mempertimbangkan wilayah sekitar Kota Surabaya karena dalam menyelesaikan persoalan tata kelola air bersih di Kota Surabaya membutuhkan kerja sama dengan PDAM Gresik, Bangkalan, Mojokerto, Surabaya, Sidoarjo, Lamongan (GERBAGKARTASUSILA).
- 3) Pada penelitian selanjutnya, perlu mempertimbangkan pembentukan kehilangan-kehilangan air dan potensi penyelamatan air pada masing-masing *stakeholder*. Semakin panjang keterlibatan *stakeholder* pada faktor pembentuk kehilangan air maka jumlah air yang hilang dapat diidentifikasi dengan akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baihaqi, A., 2019. *Ada Rehabilitasi Pipa PDAM, Pasokan Air Warga Surabaya akan Terganggu.* [Online] Available at: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-4732483/ada-rehabilitasi-pipa-pdam-pasokan-air-warga-surabaya-akan-terganggu> [Diakses 15 Januari 2020].
- Boulay, A.-M. et al., 2018. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *International Journal Life Cycle Assess*, 23(1), pp. 368-378.
- Burge, S., 2016. *The System Thinking Tool Box*, Warwickshire: Burge Hughes Walsh.
- Faber, S. & Radakrishnan, M., 2017. *Roadmap to non-revenue water reduction and management: operational tool*. 1 penyunt. Delft: IHE Delft Institute for Water Education.
- Faiq, N., 2018. *Setiap Detik Air PDAM Surabaya Bocor 3.300 Liter.* [Online] Available at: <https://surabaya.tribunnews.com/2018/08/14/setiap-detik-air-pdam-surabaya-bocor-3300-liter> [Diakses 08 Oktober 2019].
- Fraundorfer, R. & Liemberger, R., 2010. *The Issue and Challenges of Reducing Non-Revenue Water*, Manila: Asian Development Bank.
- Gleick, P. H., 1996. *Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather.* New York: Oxford University Press.
- Groebner, D. F., SHannon, P. W., Fry, P. C. & Smith, K. D., 2011. *Business Statistics A Decision Making Approach*. 8th penyunt. New Jersey: Pearson.
- Hariyanti, L., 2016. *Statistik Air Bersih Jawa Timur 2015/2016*, Surabaya: BPS Provinsi Jawa TIMur.
- Haryono, A., 2019. *PDAM di Surabaya Pastikan Pasokan Air Bersih Aman Sampai Lebaran.* [Online] Available at: <https://jatim.sindonews.com/read/10941/1/pdam-di-surabaya-pastikan-pasokan-air-bersih-aman-sampai-lebaran-1558587957> [Diakses 08 Oktober 2019].

- Hoover, S. V. & Perry, R. F., 1989. *Simulation: A Problem-Solving Approach*. 2nd penyunt. New York: Pearson.
- Hui, L. C. & Weng, C. N., 2015. *Reducing Non-Revenue Water for Urban Water Sustainability: A Case Study of Penang, Malaysia*, Penang: Universiti Sains Malaysia.
- Hussey, K. & Pittock, J., 2012. *The Energy-Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future*, Sydney: Resilience Alliance.
- Jajeli, R., 2017. *Konsumsi Air di Kota Surabaya Tertinggi Dibandingkan Nasional*. [Online]  
Available at: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-3463712/konsumsi-air-di-kota-surabaya-tertinggi-dibandingkan-nasional>  
[Diakses 08 Oktober 2019].
- KBBI, 2019. *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)*. [Online]  
Available at: <https://kbbi.web.id/simulasi>  
[Diakses 24 Mei 2019].
- Lasminto, U., 2016. *Studi Potensi Tampungan Air Sebagai Sumber Air Baku Kota Surabaya*, Surabaya: ITS Surabaya.
- Leadership Council of the Sustainable Development Solutions Network, 2015. *Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals*, New York: United Nation.
- liputan6.com, 2019. *PDAM Revitalisasi Pipa, DPRD Surabaya Dukung Usulan Penundaan Dividen*. [Online]  
Available at: <https://surabaya.liputan6.com/read/4156572/risma-bakal-siapkan-ruang-bermain-agar-siswa-tak-ngelem>  
[Diakses 15 Januari 2020].
- PALYJA, 2017. *Make It Happen Together: Annual Report 2017*, Jakarta: PALYJA.
- PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2019. *Jumlah Pelanggan Tahunan*. [Online]  
Available at: [https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=jumlah\\_pelanggan\\_tahunan&bhs=1](https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=jumlah_pelanggan_tahunan&bhs=1)  
[Diakses 8 Oktober 2019].

- PDAM Surya Sembada Surabaya, 2016. *Laporan Keuangan 2016*, Surabaya: PDAM Surya Sembada Surabaya.
- PDAM Surya Sembada Surabaya, 2018. *Laporan Keuangan 2018*, Surabaya: PDAM Surya Sembada Surabaya.
- Piessé, M., 2016. *Indonesian Water Security: Improving but Still Subject to Shocks*, Canberra: Future Directions International.
- PPIAF, 2016. *Using Performance-Based Contracts To Reduce Non-Revenue Water*, Washington: World Bank Group.
- PUB Singapore, 2016. *OUR WATER, OUR FUTURE*, Singapore: PUB Singapore.
- Ramirez, J. C. B., 2008. *Non-Revenue Water Reduction Programs in Colombia: Methodology Analysis using a System Dynamics Approach.*, Bogota: University of Bergen.
- Rozack, A., 2017. *Tambah Kapasitas Produksi, PDAM Investasi Rp 520 M.* [Online] Available at: <https://radarsurabaya.jawapos.com/read/2017/12/15/33630/tambah-kapasitas-produksi-pdam-investasi-rp-520-m> [Diakses 15 Januari 2020].
- Rozack, A., 2019. *Biaya Produksi Terus Naik, PDAM Surabaya Ajang-Ajang Naikkan Tarif.* [Online] Available at: <https://radarsurabaya.jawapos.com/read/2019/11/05/164520/biaya-produksi-terus-naik-pdam-surabaya-ancang-ancang-naikkan-tarif> [Diakses 15 Januari 2020].
- Rusdianto, E. & Sawir, I., 2014. Model Konservasi Pemanfaatan Air Tanah yang Berkelanjutan di Kota Semarang. *Jurnal Matematika, Saint, dan Teknologi*, 15(1), pp. 29-41.
- Sowby, R. B., 2014. *The Urban Water Cycle: Sustaining Our Modern Cities.* [Online] Available at: <https://nationalgeographic.org/2014/03/19/the-urban-water-cycle-sustaining-our-modern-cities/> [Diakses 08 Oktober 2019].

- Sterman, J. D., 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. 1st penyunt. New York: McGraw-Hill.
- suaramerdeka.com, 2018. *Biaya Pembangunan Pipa PDAM Rp 98 Miliar*. [Online] Available at: <https://www.suaramerdeka.com/smcetak/baca/119179/biaya-pembangunan-pipa-pdam-rp-98-miliar> [Diakses 15 Januari 2020].
- Sumari, S., Ibrahim, R., Zakaria, N. H. & Ab Hamid, A. H., 2013. Comparing Three Simulation Model Using Taxonomy: System Dynamic Simulation, Discrete Event Simulation and Agent Based Simulation. *International Journal of Management Excellence*, 1(3), pp. 54-59.
- Surabaya Newsweek, 2018. *Setiap Tahun Ganti, Biaya Ganti Pipa Perkilometer Rp. 1 Miliar*. [Online] Available at: <http://www.surabayanewsweek.com/2018/11/setiap-tahun-ganti-biaya-ganti-pipa.html> [Diakses 15 Januari 2020].
- USAID, 2006. *Program Penurunan Non Revenue Water (NRW) PDAM Kota Malang*, Malang: USAID.
- USAID, 2016. *Berbenah Meraih Universal Acces 2019: Praktik Cerdas IUWASH Regional Jawa Timur*, Surabaya: USAID.
- Wakeel, M. & Chen, B., 2016. Energy Consumption in Urban Water Cycle. *Energy Procedia*, 104(1), pp. 123-128.
- Wibawa, S. W., 2019. *Tahun 2040 Jawa Kehabisan Air, Ratusan Juta Penduduk Terancam*. [Online] Available at: <https://sains.kompas.com/read/2019/08/05/084754323/tahun-2040-jawa-kehabisan-air-ratusan-juta-penduduk-terancam?page=all> [Diakses 19 Januari 2020].
- Winz, I., Brierley, G. & Trowsdale, S., 2009. The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management. *Water Resource Manage*, 23(1), pp. 1301-1323.

**LAMPIRAN I**  
**FORMULASI MODEL *STOCK AND FLOW DIAGRAM***

**Energi**

$$\text{Energi\_yang\_tidak\_dimanfaatkan}(t) = \text{Energi\_yang\_tidak\_dimanfaatkan}(t - dt) + (\text{Konsumsi\_Energi\_Hilang}) * dt$$

$$\text{INIT Energi\_yang\_tidak\_dimanfaatkan} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Konsumsi\_Energi\_Hilang} = \text{Energi\_Terbuang}$$

***Coverage***

$$\text{Jumlah\_Pelanggan}(t) = \text{Jumlah\_Pelanggan}(t - dt) + (\text{Penambahan\_Coverage} - \text{Pengurangan\_Coverage}) * dt$$

$$\text{INIT Jumlah\_Pelanggan} = 547819$$

INFLOWS:

$$\text{Penambahan\_Coverage} = \text{Pembukaan\_Rekening\_baru}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Pengurangan\_Coverage} = \text{Penutupan\_Rekening}$$

**Laba Penjualan Air**

$$\text{Laba\_Berjalan\_PDAM}(t) = \text{Laba\_Berjalan\_PDAM}(t - dt) + (\text{Pemasukan\_Penjualan} - \text{Pengeluaran\_PDAM}) * dt$$

$$\text{INIT Laba\_Berjalan\_PDAM} = 213429882000$$

INFLOWS:

$$\text{Pemasukan\_Penjualan} =$$

$$\text{Pendapatan\_Non\_Air} + \text{Pendapatan\_Non\_Usaha} + \text{Pendapatan\_Air}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Pengeluaran\_PDAM} = \text{Beban\_Usaha} + \text{Investasi} + \text{Pajak\_Penghasilan}$$

$$\text{Pendapatan\_Potensial}(t) = \text{Pendapatan\_Potensial}(t - dt) +$$

$$(\text{Pendapatan\_potensial\_dari\_NRW}) * dt$$

$$\text{INIT Pendapatan\_Potensial} = 0$$

INFLOWS:

Pendapatan\_\_potensial\_dari\_NRW = Kerugian\_dari\_Kehilangan\_Air

### **Produksi dan Distribusi Air Bersih PDAM Surabaya**

Volume\_Air\_Tersalurkan(t) = Volume\_Air\_Tersalurkan(t - dt) +  
(Distribusi\_Tersalurkan - Konsumsi\_Resmi - Meter\_Error - Konsumsi\_Ilegal) \*  
dt

INIT Volume\_Air\_Tersalurkan = 0

INFLOWS:

Distribusi\_Tersalurkan = Produksi\_Air\_Bersih-Kehilangan\_Fisik

OUTFLOWS:

Konsumsi\_Resmi = Air\_Tersalurkan+Sweeping

Meter\_Error =

Ketidakkuratan\_Meter\_dan\_penangan\_data\*Proporsi\_Perbaikan\_Meteran

Konsumsi\_Ilegal = Pencurian\_Air

Volume\_Produksi\_Air\_Bersih(t) = Volume\_Produksi\_Air\_Bersih(t - dt) +  
(Produksi\_Air\_Bersih - Kehilangan\_Fisik - Distribusi\_Tersalurkan) \* dt

INIT Volume\_Produksi\_Air\_Bersih = 0

INFLOWS:

Produksi\_Air\_Bersih = IF Ketersediaan\_Produksi >Permintaan\_Air\_Bersih  
THEN Permintaan\_Air\_Bersih Else 0

OUTFLOWS:

Kehilangan\_Fisik =

Kebocoran\_dan\_Kerusakan\*Proporsi\_Perbaikan\_dan\_Rehabilitasi\_Pipa

Distribusi\_Tersalurkan = Produksi\_Air\_Bersih-Kehilangan\_Fisik

Air\_Tersalurkan = Distribusi\_Tersalurkan-Konsumsi\_Ilegal-Meter\_Error

Beban\_Usaha =

Beban\_Operasional+Biaya\_Perbaikan\_dan\_Perawatan+Biaya\_Penyusutan+Beban  
\_Bunga

Biaya\_Meteran\_Baru = Harga\_Meteran\_Baru\*Meteran\_Baru

Biaya\_Peningkatan\_Kapasitas =

Harga\_Pembangunan\_Fasilitas\*Peningkatan\_Kapasitas

Biaya\_Rehabilitasi\_Pipa =  
 Harga\_Rehabilitasi\_Pipa\*Perbaikan\_dan\_Rehabilitasi\_Pipa  
 Biaya\_SDM\_Sweeping = SDM\_\_Sweeping\*Harga\_SDM\_Sweeping  
 Energi\_Terbuang = Konversi\_m3\_ke\_kWh\*NRW  
 Faktor\_Umur = Depresiasi\_\_Umur\_Pipa  
 Harga\_Meteran\_Baru = 2750000  
 Harga\_Pembangunan\_Fasilitas = 520000000000  
 Harga\_Rehabilitasi\_Pipa = 6533333333  
 Harga\_SDM\_Sweeping = 90000000  
 Harga\_\_\_Air\_Bersih\_per\_m3 = 2910  
 Investasi =  
 Biaya\_Meteran\_Baru+Biaya\_Rehabilitasi\_Pipa+Biaya\_SDM\_Sweeping+Biaya\_P  
 eningkatan\_Kapasitas  
 Jumlah\_Kerusakan\_Meter = 61770  
 Kapasitas\_Produksi = Kapasitas\_Saat\_Ini+Peningkatan\_Kapasitas  
 Kapasitas\_Saat\_Ini = 417531474  
 Kebocoran\_dan\_Kerusakan = Kebocoran\_Pipa\*Faktor\_Umur\*Korosi\_pada\_pipa  
 Kebocoran\_Pipa = Jumlah\_Kebocoran\_Pipa\*Konversi\_Kebocoran\_Pipa\_ke\_m3  
 Kehilangan\_Non\_Fisik = Meter\_Error+Konsumsi\_Ilegal  
 Kerugian\_dari\_Kehilangan\_Air = NRW\*Harga\_\_\_Air\_Bersih\_per\_m3  
 Ketersediaan\_Air\_Baku = 625536000  
 Ketersediaan\_Produksi = IF Ketersediaan\_Air\_Baku > Kapasitas\_Produksi THEN  
 Kapasitas\_Produksi ELSE 0  
 Ketidakakuratan\_Meter\_dan\_penangan\_data =  
 Jumlah\_Kerusakan\_Meter\*Konversi\_Kerusakan\_Error\_ke\_m3  
 Konversi\_m3\_ke\_kWh = 10  
 Meteran\_Baru = 0  
 NRW = Kehilangan\_Non\_Fisik+Kehilangan\_Fisik  
 Pendapatan\_Air = Harga\_\_\_Air\_Bersih\_per\_m3\*Konsumsi\_Resmi  
 Peningkatan\_Kapasitas = 0  
 Perbaikan\_dan\_Rehabilitasi\_Pipa = 0

Permintaan\_Air\_Bersih =  
 Jumlah\_Pelanggan\*Konsumsi\_m3\_per\_pelanggan\_per\_tahun  
 Persentase\_Wilayah\_Terlayani = Jumlah\_Pelanggan/Total\_Pelanggan\_Potensial  
 SDM\_\_Sweeping = 0  
 Sweeping = Konsumsi\_Illegal\*Proporsi\_SDM\_Sweeping  
 Tingkat\_pH\_pada\_air = 7  
 Beban\_Bunga = GRAPH(TIME)  
 (2016, 3.8e+009), (2017, 7.7e+008), (2018, 0.00)  
 Beban\_Operasional = GRAPH(TIME)  
 (2016, 3.9e+011), (2017, 4e+011), (2018, 4e+011)  
 Biaya\_Penyusutan = GRAPH(TIME)  
 (2016, 6.8e+010), (2017, 7e+010), (2018, 6.9e+010)  
 Biaya\_Perbaikan\_dan\_Perawatan = GRAPH(TIME)  
 (2016, 4.2e+010), (2017, 4.1e+010), (2018, 4.7e+010)  
 Depresiasi\_\_Umur\_Pipa = GRAPH(TIME)  
 (2016, 1.00), (2017, 1.00), (2018, 1.00), (2019, 1.00), (2020, 1.01), (2021, 1.03),  
 (2022, 1.05), (2023, 1.07), (2024, 1.09), (2025, 1.10)  
 Jumlah\_Kebocoran\_Pipa = GRAPH(TIME)  
 (2016, 25234), (2017, 19865), (2018, 25891), (2019, 25407)  
 Konsumsi\_m3\_per\_pelanggan\_per\_tahun = GRAPH(TIME)  
 (2016, 571), (2017, 577), (2018, 616), (2019, 634)  
 Konversi\_Kebocoran\_Pipa\_ke\_m3 = GRAPH(TIME)  
 (2016, 2655), (2017, 3808), (2018, 3616), (2019, 3993)  
 Konversi\_Kerusakan\_Error\_ke\_m3 = GRAPH(TIME)  
 (2016, 255), (2017, 242), (2018, 228), (2019, 214)  
 Korosi\_pada\_pipa = GRAPH(Tingkat\_pH\_pada\_air)  
 (1.00, 2.00), (2.00, 1.93), (3.00, 1.80), (4.00, 1.53), (5.00, 1.32), (6.00, 1.11),  
 (7.00, 1.00), (8.00, 1.06), (9.00, 1.14), (10.0, 1.32), (11.0, 1.56), (12.0, 1.74),  
 (13.0, 1.89), (14.0, 1.99)  
 Pajak\_Penghasilan = GRAPH(TIME)  
 (2016, 5.3e+010), (2017, 5.7e+010), (2018, 6e+010)  
 Pembukaan\_Rekening\_baru = GRAPH(TIME)

(2017, 7765), (2018, 6797), (2019, 10419), (2020, 5789), (2021, 8220), (2022, 8220), (2023, 8220), (2024, 8220), (2025, 8220)

Pencurian\_Air = GRAPH(TIME)

(2016, 58217), (2017, 55696), (2018, 53979), (2019, 34196)

Pendapatan\_Non\_Air = GRAPH(TIME)

(2016, 5.8e+010), (2017, 7.6e+010), (2018, 7.4e+010)

Pendapatan\_Non\_Usaha = GRAPH(TIME)

(2016, 5.3e+010), (2017, 4.5e+010), (2018, 3.7e+010)

Penutupan\_Rekening = GRAPH(TIME)

(2015, 30.5), (2016, 40.0), (2017, 40.5), (2018, 39.5), (2019, 34.5), (2020, 39.5), (2021, 40.0), (2022, 40.5), (2023, 40.0), (2024, 37.0), (2025, 39.0)

Proporsi\_Perbaikan\_dan\_Rehabilitasi\_Pipa =

GRAPH(Perbaikan\_dan\_Rehabilitasi\_Pipa)

(0.00, 1.00), (5.00, 0.9), (10.0, 0.8), (15.0, 0.7), (20.0, 0.6), (25.0, 0.5), (30.0, 0.4), (35.0, 0.3), (40.0, 0.2), (45.0, 0.1), (50.0, 0.00)

Proporsi\_Perbaikan\_Meteran =

GRAPH(Meteran\_Baru/Jumlah\_Kerusakan\_Meter)

(0.00, 1.00), (0.1, 0.9), (0.2, 0.8), (0.3, 0.7), (0.4, 0.6), (0.5, 0.5), (0.6, 0.4), (0.7, 0.3), (0.8, 0.2), (0.9, 0.1), (1, 0.00)

Proporsi\_SDM\_Sweeping = GRAPH(SDM\_\_Sweeping)

(0.00, 0.00), (5.00, 0.1), (10.0, 0.2), (15.0, 0.3), (20.0, 0.4), (25.0, 0.5), (30.0, 0.6), (35.0, 0.7), (40.0, 0.8), (45.0, 0.9), (50.0, 1.00)

Total\_Pelanggan\_Potensial = GRAPH(TIME)

(2016, 573512), (2017, 575675), (2018, 568234), (2019, 573373), (2020, 580410), (2021, 586810), (2022, 595030), (2023, 603250), (2024, 611470), (2025, 619690)

### **Air Baku**

Air\_Bawah\_Tanah = Air\_Tanah

Air\_Marginal = Air\_Pembuangan+Air\_Rawa+Air\_\_Laut

Air\_Pembuangan = 0

Air\_Permukaan = Mata\_Air+Sungai+Waduk\_Danau

Air\_Rawa = 0

$Air\_Tanah = Curah\_Hujan * Konversi\_Curah\_Hujan$

$Air\_Tersalurkan = Distribusi\_Tersalurkan - Konsumsi\_Ilegal - Meter\_Error$

$Air\_Laut = 0$

$Curah\_Hujan = GRAPH(TIME)$

(2016, 85.0), (2016, 71.0), (2017, 79.0), (2017, 73.0), (2018, 81.0), (2018, 78.0),  
(2019, 80.0), (2019, 75.0), (2020, 83.0), (2020, 75.0), (2021, 80.0), (2021, 72.0),  
(2022, 83.0), (2022, 73.0), (2023, 83.0), (2023, 75.0), (2024, 79.0), (2024, 70.0),  
(2025, 80.0), (2025, 73.0)

## LAMPIRAN II

### Diskusi terkait Validasi CLD

**M: Maylvin, Mahasiswa Teknik Sistem dan Industri ITS**

**W: Pak Wafi, Manager Pengendalian Kehilangan Air PDAM Surabaya**

**M:** Selamat siang Pak Wafi, perkenalkan saya Maylvin mahasiswa ITS yang sedang melakukan penelitian terkait NRW di Kota Surabaya.

**W:** Siang Maylvin, monggo duduk dulu. Iya ada yang bisa saya bantu?

**M:** Terima kasih pak, iya pak hari ini saya ingin berdiskusi perihal model yang telah saya buat, apakah sesuai atau tidak dengan kondisi sistem tata kelola air bersih di Kota Surabaya.

**W:** Oh, silahkan. Tapi jangan lama-lama ya soalnya saya habis ini mau keluar.

**M:** Baik pak.

**W:** Ok, jadi kita mulai darimana nih gambar-gambar ini?

**M:** Dimulai dari *coverage ya pak*, apakah semakin banyak jumlah pelanggan PDAM maka semakin banyak jumlah air yang diproduksi?

**W:** Benar, iya begitu.

**M:** Lalu apa yang memengaruhi jumlah pelanggan pak?

**W:** Jumlah pelanggan dipengaruhi oleh pembukaan dan penutupan rekening. Namun penutupan rekening sangat jarang, karena penutupan rekening paling banyak disebabkan rumah kosong (tidak berpenghuni).

**M:** Oh begitu pak, baik saya catat. Berarti pembukaan rekening dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk ya pak?

**W:** Iya, benar.

**M:** Penduduk yang semakin banyak menyebabkan alih fungsi lahan yang menyebabkan menurunnya daya serap air ke tanah pak?

**W:** Saya rasa begitu, namun lebih baik kamu coba tanyakan ke pihak BAPEKKO di dekat Gedung Walikota ya vin.

**M:** Baik pak, bila begitu saya lanjutkan ke bagian produksi dan distribusi air ya pak?

**W:** Ok, cepetan ya habis ini saya mau pergi

**M:** Ok pak, (menunjukkan bagian produksi dan NRW), apa hubunga ini benar pak?

**W:** Iya, sesuai. Air yang diproduksi menyebabkan tingkat NRW tinggi apabila kita tidak melakukan tindakan. NRW itu ibarat lubang di ember, semakin kencang

kerannya namun apabila masih terdapat lubang maka tetap saja air itu terbuang. Benar begitu kan logikanya?

**M:** Iya juga ya pak, berarti pada bagian masing-masing NRW ini ada aktivitas atau variabel yang menurunkan ya pak.

**W:** Nah, itu paham.

**M:** Bagaimana dengan air yang berhasil disalurkan ke pelanggan pak?

**W:** Air tersebut akan direkeningkan dan ditagihkan ke pelanggan vin. Lalu kalau air yang hilang itu sebenarnya pendapatan potensial PDAM vin.

**M:** Oh begitu pak berarti semakin banyak NRW, semakin banyak juga dong kehilangan peluang pendapatan ya pak?

**W:** Iya, begitu, ohya jangan lupa ya kalau air yang hilang itu membutuhkan energi yaa.. jadi semakin banyak air yang diproduksi, semakin banyak juga energi yang kita gunakan.

**M:** Ok pak, saya rasa sudah cukup pak. Terima kasih atas waktunya dan mohon maaf bila mengganggu bapak.

**W:** Ok, kalo ada yang mau ditanyain bisa via WA ya mas. Saya pergi dulu ya mas.

**M:** Baik pak, terima kasih pak Wafi.

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Maylvin Andrian Eridani atau biasa dipanggil Maylvin, lahir di Jakarta pada 14 Mei 1997. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDI Al-Azhar Kelapa Gading pada tahun 2009, pendidikan di SMPN 30 Jakarta pada tahun 2012, pendidikan di SMAN 77 Jakarta pada tahun 2015 dan telah menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata-1 di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS. Penulis memiliki pengalaman program *internship* selama dua bulan di PT Pertamina EP Cirebon, Jawa Barat. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan mahasiswa seperti menjadi *steering committee* pada Redformation FTI ITS 2016, koordinator *liaison officer* pada Professor Summit ITS 2019, serta aktif di organisasi seperti FSLDK JMMI ITS (2016-2018) dan Kementerian Kebijakan Publik BEM ITS (2018-2019). Penulis juga merupakan penerima beasiswa mahasiswa berprestasi Rumah Kepemimpinan (2016-2018). Selain itu penulis juga suka tertarik dengan kegiatan sosial dan isu-isu lingkungan, kegiatan sosial terakhir yang dilakukan adalah pengabdian di Papua pada tahun 2019. Pada bulan Februari 2020 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Pengembangan Alternatif Kebijakan Penurunan Non Revenue Water dalam Rangka Peningkatan Pendapatan Usaha PDAM Surabaya**. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi perihal penelitian ini atau memiliki ketertarikan pada bidang yang sama, maka dapat hubungi penulis via email: [maylvin.eridani@gmail.com](mailto:maylvin.eridani@gmail.com).