



TUGAS AKHIR - RE 184804

# EVALUASI AIR VALVE PADA JARINGAN PIPA UTAMA DISTRIBUSI PDAM KOTA MALANG

MOHAMMAD AULIAULQUBRO  
0321154000091

DOSEN PEMBIMBING:  
DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**TUGAS AKHIR - RE 184804**

## **EVALUASI AIR VALVE PADA JARINGAN PIPA UTAMA DISTRIBUSI PDAM KOTA MALANG**

**MOHAMMAD AULIAULQUBRO**  
0321154000091

**DOSEN PEMBIMBING:**  
**DR. ALI MASDUQI, ST., MT.**

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**FINAL PROJECT - RE 184804**

# **EVALUATION OF AIR VALVES ON THE MAIN WATER PIPELINES SYSTEM AT MALANG CITY**

**MOHAMMAD AULIAULQUBRO**  
0321154000091

**SUPERVISOR:**  
**DR. ALI MASDUQI, ST., MT.**

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

## LEMBAR PENGESAHAN

Evaluasi *Air Valve* pada Jaringan Pipa Utama Distribusi  
PDAM Kota Malang

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik

pada

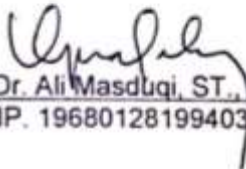
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**MOHAMMAD AULIAULQUBRO**

NRP. 0321154000091

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ali Masduqi, ST., MT.  
NIP. 196801281994031003





## EVALUASI AIR VALVE PADA JARINGAN PIPA UTAMA DISTRIBUSI KOTA MALANG

Nama Mahasiswa : Mohammad Auliaulqubro  
NRP : 0321154000091  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.

### ABSTRAK

PDAM Kota Malang merupakan perusahaan penyedia air minum yang sangat menjaga eksistensinya dalam upaya peningkatan kinerja aspek operasional. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja operasional adalah memperbaiki proses perpidahan udara dalam sistem perpipaan, guna mengantisipasi berbagai potensi masalah dan meningkatkan efektivitas kerja dari sistem distribusi. Keberadaan udara dalam sistem perpipaan sendiri merupakan masalah yang sulit diketahui dan diukur secara pasti. Beberapa potensi masalah yang dapat ditimbulkan akibat sirkulasi udara yang tidak baik adalah lonjakan tekanan (*surge water*), getaran pipa, lepasnya sambungan, serta operasi yang tidak menentu pada *valve*, meter air, dan peralatan kontrol. *Air valve* yang merupakan alat kontrol udara, dapat menjadi solusi atas permasalahan keberadaan udara dalam sistem perpipaan. Pemilihan jenis, titik penempatan, dan ukuran *orifice* dari *air valve* yang benar penting untuk diterapkan, sehingga perlu dilakukan evaluasi *air valve* pada sistem distribusi. Proses evaluasi akan mengacu pada *American Water Work Association (AWWA) Manual M51 Standard* tentang *Air Release, Air Vacuum, and Combination Air Valve*. Tujuan utama dari evaluasi ini adalah untuk mengetahui kesesuaian pemasangan *air valve* pada sistem distribusi dengan *AWWA Manual M51 Standard*. Tujuan berikutnya adalah mengetahui biaya rehabilitasi *air valve* agar sesuai dengan *AWWA Manual M51 Standard*.

Metode evaluasi ini diawali dengan perumusan ide studi evaluasi *air valve* pada jaringan pipa distribusi PDAM Kota Malang. Aspek yang dibahas meliputi aspek teknis dan aspek finansial. Aspek teknis yang dibahas adalah kesesuaian eksisting *air valve* dengan *AWWA Manual M51 Standard*, sementara aspek finansial yang dibahas berupa biaya rehabilitasi *air valve* agar sesuai dengan *AWWA Manual M51 Standard*.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa semua *air valve* eksisting ukurannya sudah memenuhi, namun terdapat 3 buah *air valve* yang penempatannya perlu untuk dipindahkan, serta diperlukan penambahan jumlah *air valve* pada beberapa titik. *Air valve* yang dibutuhkan adalah *air valve* berjenis *combination valve (small orifice : 3/32 in dan large orifice : 2 in)* sebanyak 12 buah; *combination valve (small orifice : 3/16 in dan large orifice : 2 in)* sebanyak 2 buah; *combination valve (small orifice : 3/32 in dan large orifice : 3 in)* sebanyak 4 buah; *combination valve (small orifice : 3/16 in dan large orifice : 3 in)* sebanyak 1 buah; dan *air vacuum valve (large orifice : 2 in)* sebanyak 3 buah. Rencana anggaran biaya untuk proses rehabilitasi ini adalah sebesar Rp 393.717.000,00

**Kata Kunci** : *air valve*, *AWWA Manual M51 Standard*, evaluasi, jaringan pipa distribusi, PDAM Kota Malang.



## **EVALUATION OF AIR VALVE ON THE MAIN WATER PIPELINES SYSTEM AT MALANG CITY**

Name : Mohammad Auliaulqubro  
NRP : 0321154000091  
Study Programme : Teknik Lingkungan  
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.

### **ABSTRACT**

Water Supply Company (PDAM) of Malang City has attempt to improve the performance of operational aspects. One of effort that can be done to improve operational performance is to improve the air transfer process in the piping system, to anticipate various potential problems and improve the work efficiency of the distribution system. Air pockets in pipelines are difficult to detect and will reduce the pipeline system's overall efficiency. Some of the potential problems that can be caused by air are surge water, pipeline vibrations, loose connections, and erratic operations in valves, air meters, and control equipment. Air valves, which are hydromechanical devices designed to automatically control the air, can be a solution to the problem of air pockets in the pipeline system. The selection of the type, location, and size of the orifice from the air valve which is really important to be applied, needs to be done by evaluating the air valve on the distribution system. The evaluation process will refer to the American Water Work Association (AWWA) M51 Manual Standard about Air Release, Air Vacuum, and Combination Valve. The main purpose of this evaluation is to understand the suitability of installing air valves in a distribution system with AWWA Manual M51 Standard. The next purpose is to determine the rehabilitation costs that accordance with AWWA Manual M51 Standard.

This evaluation method begins with the formulation of the idea of air valve studies in the distribution pipeline network of PDAM Kota Malang. Aspects that discuss

technical aspects and financial aspects. The technical aspect that investigated is the suitability of existing air valves with AWWA Manual M51 Standard, while the financial aspect are determined the rehabilitation cost of air valve that accordance with AWWA Manual M51 Standard.

The evaluation results show that all existing air valves are already in full size, but there are 3 air valves where the location need to be moved, and additional number of air valves are needed at some point. The air valve needed are combination valve (small orifice: 3/32 in and large orifice: 2 in) as many as 12 pieces; combination valve (small orifice: 3/16 in and large orifice: 2 in) as many as 2 pieces; combination valve (small orifice: 3/32 in and large orifice: 3 in) as many as 4 pieces; combination valve (small orifice: 3/16 in and large orifice: 3 in) as many as 1 piece; and 3 air vacuum valve (large orifice: 2 in). The budget plan for this rehabilitation process is Rp 393.717.000,00

**Keywords:** air valve, AWWA Manual M51 Standard, evaluation, distribution pipeline system, Malang City.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Evaluasi Air Valve pada Jaringan Pipa Utama Distribusi PDAM Kota Malang”. Atas bimbingan terselesaikan laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan, dan ilmu yang diberikan.
2. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl., SE., M.Sc Ph.D., Bapak Alfian Purnomo ST., MT., dan Ibu Ipung Fitri Purwanthi, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pengarah tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Bapak Rahmad Hadi Sasmito, SH. selaku manajer kehilangan air PDAM Kota Malang, terimakasih atas kerja sama dan bimbingannya.
4. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya
5. Teman-teman angkatan 2015 “Envinity” yang selalu memberikan dukungan dan membantu dalam proses pengerjaan.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima segala saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2019

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Ruang Lingkup.....	3
1.5. Manfaat.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gambaran Umum PDAM Kota Malang.....	5
2.1.1 Sumber Air.....	6
2.1.2 Cakupan Pelayanan.....	7
2.1.3 Kualitas Air.....	7
2.1.4 Kehilangan Air.....	7
2.2 Sistem Distribusi.....	7
2.2.1 Sistem Berkelanjutan ( <i>Continuous System</i> ).....	10
2.2.2 Sistem Bergilir ( <i>Intermittent System</i> ).....	11
2.3 Sistem Hidrolika pada Sistem Distribusi.....	12
2.4 <i>Non Revenue Water</i> .....	12
2.4.1 Penyebab NRW.....	12

2.4.2	Upaya Penurunan NRW .....	13
2.5	Sifat Fisik-Kimia Udara .....	13
2.6	Udara dalam Perpipaan .....	14
2.7	<i>Air Valve</i> .....	15
2.7.1	Jenis <i>Air Valve</i> .....	16
2.7.2	Penempatan <i>Air Valve</i> .....	19
2.7.3	Perhitungan Diameter <i>Orifice</i> .....	22
2.7.4	Instalasi Pemasangan <i>Air Valve</i> .....	29
BAB 3. METODE PENELITIAN .....		31
3.1	Umum .....	31
3.2	Kerangka Penelitian .....	31
3.3	Tahapan Penelitian .....	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1	Analisa Kondisi Eksisting .....	35
4.1.1	Koordinat dan Elevasi Jalur Pipa .....	40
4.1.2	Analisa Debit Menggunakan <i>WaterCAD</i> ..	51
4.1.3	Titik Pemasangan <i>Air Valve</i> .....	54
4.1.4	Diameter <i>Orifice</i> .....	56
4.2	Rencana Rehabilitasi <i>Air Valve</i> .....	78
4.3	<i>Bill of Quantity</i> (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proses Rehabilitasi <i>Air Valve</i> .....	81
4.3.1	Harga Satuan Bahan dan Upah.....	81
4.3.2	Harga Satuan Pekerjaan.....	83
4.3.3	Volume Pekerjaan.....	86
4.3.3.1	Pekerjaan Tanah.....	86
4.3.3.2	Pembuatan <i>Thrustblock</i> .....	87
4.3.3.3	Pengadaan <i>Air Valve</i> dan Asesoris Pemasangan .....	88

4.3.4	Analisa Harga Pekerjaan.....	89
4.3.5	Rekapitulasi Anggaran Biaya .....	92
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....		93
5.1	Kesimpulan .....	93
5.2	Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA .....		95
BIOGRAFI PENULIS .....		121

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kapasitas Produksi Air Baku.....	10
<b>Tabel 2.2</b>	Fungsi dan Titik Penempatan Berdasarkan Jenis <i>Air Valve</i> pada Profil Pipa .....	19
<b>Tabel 2.3</b>	Contoh Penempatan Jenis <i>Air Valve</i> pada Profil Pipa .....	22
<b>Tabel 2.4</b>	Kapasitas <i>Small Orifice</i> pada <i>Air Release Valve</i> .....	24
<b>Tabel 2.5</b>	Kapasitas Lubang <i>Orifice</i> pada <i>Air Vacuum Valve</i> .....	25
<b>Tabel 2.6</b>	Kapasitas Udara Masuk <i>Orifice</i> pada <i>Air Vacuum Valve</i> .....	27
<b>Tabel 4.1</b>	<i>Air Valve</i> Terpasang Masing-masing Jalur ....	37
<b>Tabel 4.2</b>	Data Koordinat dan Elevasi Jalur Buring Tengah – BTU .....	41
<b>Tabel 4.3</b>	Data Koordinat dan Elevasi Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	43
<b>Tabel 4.4</b>	Data Koordinat dan Elevasi Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	44
<b>Tabel 4.5</b>	Data Segmen Jalur Buring Tengah – BTU ....	46
<b>Tabel 4.6</b>	Data Segmen Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	48
<b>Tabel 4.7</b>	Data Segmen Jalur Buring Atas – Jabal Nur .	49
<b>Tabel 4.8</b>	Data Analisa Debit .....	52
<b>Tabel 4.9</b>	Rencana Pemasangan Jalur Buring Tengah – BTU .....	54
<b>Tabel 4.10</b>	Rencana Pemasangan Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	55
<b>Tabel 4.11</b>	Rencana Pemasangan Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	55

<b>Tabel 4.12</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Small Orifice</i> pada Jalur Buring Tengah - BTU .....	58
<b>Tabel 4.13</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Small Orifice</i> pada Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	60
<b>Tabel 4.14</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Small Orifice</i> pada Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	62
<b>Tabel 4.15</b>	Perhitungan Diameter <i>Orifice Air Release Valve</i> Jalur Buring Tengah – BTU .....	63
<b>Tabel 4.16</b>	Perhitungan Diameter <i>Orifice Air Release Valve</i> Jalur Buring Bawah Sawojajar .....	63
<b>Tabel 4.17</b>	Perhitungan Diameter <i>Orifice Air Release Valve</i> Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	64
<b>Tabel 4.18</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Exhaust Orifice</i> pada Jalur Buring Tengah - BTU .....	66
<b>Tabel 4.19</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Exhaust Orifice</i> pada Jalur Buring Bawah - Sawojajar .....	67
<b>Tabel 4.20</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Exhaust Orifice</i> pada Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	68
<b>Tabel 4.21</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Intake Orifice</i> pada Jalur Buring Tengah - BTU .....	70
<b>Tabel 4.22</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Intake Orifice</i> pada Jalur Buring Bawah - Sawojajar .....	72
<b>Tabel 4.23</b>	Contoh Pemilihan Diameter <i>Intake Orifice</i> pada Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	74
<b>Tabel 4.24</b>	Perhitungan Diameter <i>Orifice Air Vacuum Valve</i> Jalur Buring Tengah – BTU .....	74
<b>Tabel 4.25</b>	Perhitungan Diameter <i>Orifice Air Vacuum Valve</i> Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	75
<b>Tabel 4.26</b>	Perhitungan Diameter <i>Orifice Air Vacuum Valve</i> Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	75
<b>Tabel 4.27</b>	Diameter <i>Orifice Air Valve</i> Jalur Buring Tengah – BTU .....	76

<b>Tabel 4.28</b> Diameter <i>Orifice Air Valve</i> Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	76
<b>Tabel 4.29</b> Diameter <i>Orifice Air Valve</i> Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	77
<b>Tabel 4.30</b> Spesifikasi dan Jumlah <i>Air Valve</i> yang Dibutuhkan.....	77
<b>Tabel 4.31</b> Rehabilitasi <i>Air Valve</i> Jalur Buring Tengah – BTU .....	78
<b>Tabel 4.32</b> Rehabilitasi <i>Air Valve</i> Jalur Buring Bawah – Sawojajar .....	79
<b>Tabel 4.33</b> Rehabilitasi <i>Air Valve</i> Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	79
<b>Tabel 4.34</b> Kesesuaian Diameter <i>Orifice</i> Hasil Perhitungan dengan Produk Pasaran .....	80
<b>Tabel 4.35</b> Asesoris yang Digunakan Untuk Jenis Sambungan <i>Flange</i> pada <i>Inlet Air Valve</i> .....	80
<b>Tabel 4.36</b> Asesoris yang Digunakan Untuk Jenis Sambungan <i>Thread</i> pada <i>Inlet Air Valve</i> .....	81
<b>Tabel 4.37</b> Harga Satuan <i>Air Valve</i> .....	82
<b>Tabel 4.38</b> Harga Satuan Asesoris Sambungan.....	82
<b>Tabel 4.39</b> Harga Satuan Bahan dan Upah Pekerjaan..	82
<b>Tabel 4.40</b> Harga Galian Tanah Sebesar 1 m <sup>3</sup> .....	83
<b>Tabel 4.41</b> Harga Urugan Kembali Sebesar 1 m <sup>3</sup> .....	83
<b>Tabel 4.42</b> Harga Pemadatan Tanah Sebesar 1 m <sup>3</sup> .....	84
<b>Tabel 4.42</b> Harga Pembuangan Tanah Sebesar 1 m <sup>3</sup> ...	84
<b>Tabel 4.43</b> Harga Beton Mutu $f_c = 19,3$ MPa, Slump (12 + 2) cm, w/c = 0,58 ; Sebesar 1 m <sup>3</sup> .....	84
<b>Tabel 4.44</b> Harga Pemasangan Universal Coupling 6”..	85
<b>Tabel 4.45</b> Harga Pemasangan Tee Flange 6” .....	85
<b>Tabel 4.46</b> Harga Pemasangan Tee Flange 12” .....	85

<b>Tabel 4.47</b> Harga Pemasangan Resilient Gate Valve 2" .....	85
<b>Tabel 4.48</b> Harga Pemasangan Resilient Gate Valve 3" .....	86
<b>Tabel 4.49</b> Pengadaan <i>Air Valve</i> .....	89
<b>Tabel 4.50</b> Pengadaan Asesoris Pemasangan .....	89
<b>Tabel 4.51</b> Analisa Harga Pekerjaan.....	90
<b>Tabel 4.52</b> Rekapitulasi Anggaran Biaya .....	92

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Rantai Pasok PDAM Kota Malang.....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Peta Zona PDAM Kota Malang.....	9
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Air Release Valve</i> .....	17
<b>Gambar 2.4</b>	<i>Air Vacuum Valve</i> .....	18
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Combination Air Valve (a) Single Body (b) Dual Body</i> .....	19
<b>Gambar 2.6</b>	Contoh Penempatan Jenis <i>Air Valve</i> pada Profil Pipa .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Grafik Pelepasan Udara melalui <i>Air Release Valve</i> .....	24
<b>Gambar 2.8</b>	Grafik Pelepasan Udara melalui <i>Air Vacuum Valve</i> .....	26
<b>Gambar 2.9</b>	Grafik Udara Masuk melalui <i>Air Vacuum Valve</i> .....	27
<b>Gambar 2.10</b>	Grafik Udara Masuk untuk Aliran Gravitasi.....	29
<b>Gambar 2.11</b>	Contoh Instalasi Pemasangan <i>Air Valve</i> .	30
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Kerangka Perencanaan .....	34
<b>Gambar 4.1</b>	Fluktuasi Debit Jalur Buring Tengah - BTU.....	36
<b>Gambar 4.2</b>	Fluktuasi Debit Jalur Buring Bawah - Sawojajar .....	36
<b>Gambar 4.3</b>	Fluktuasi Debit Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	37
<b>Gambar 4.4</b>	Diagram Alir Jalur Pipa .....	38
<b>Gambar 4.5</b>	Peta Satelit Jalur Pipa .....	39
<b>Gambar 4.6</b>	<i>Air Valve</i> Eksisting .....	40

<b>Gambar 4.7</b> Proses Pengambilan Data Koordinat dan Elevasi.....	41
<b>Gambar 4.8</b> Analisa Menggunakan <i>WaterCAD</i> .....	53
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Perhitungan Kapasitas Udara Intake Jalur Buring Tengah - BTU .....	69
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Perhitungan Kapasitas Udara Intake Jalur Buring Bawah - Sawojajar .....	71
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Perhitungan Kapasitas Udara Intake Jalur Buring Atas – Jabal Nur .....	73

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran A.</b> Eksisting Titik Pemasangan <i>Air Valve</i> .....	97
<b>Lampiran B.</b> Titik Pemasangan <i>Air Valve</i> sesuai <i>AWWA Manual M51 Standard</i> .....	103
<b>Lampiran C.</b> Rencana Rehabilitasi Titik Pemasangan <i>Air Valve</i> .....	105
<b>Lampiran D.</b> Detail Pemasangan <i>Air Valve</i> dan <i>Thrustblock</i> .....	115
<b>Lampiran E.</b> Dokumentasi .....	119

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) merupakan Badan Usaha Milik Daerah yang bergerak dalam bidang penyediaan air minum. Penyediaan air minum haruslah terpenuhi untuk mencapai kesejahteraan masyarakat. PDAM bertugas mengolah air mulai dari pengambilan air baku di sumber, pengolahan, penampungan dalam reservoir, hingga mendistribusikan air kepada konsumen. Sistem distribusi air menggunakan perpipaan karena memudahkan para konsumen mendapatkan air dari sumber yang jauh, sehingga bila dibutuhkan tersedia setiap saat dalam jumlah yang memadai. Sistem distribusi air menggunakan perpipaan perlu memperhatikan karakteristik daerah pelayanan, kondisi fisik daerah, keadaan topografi, jumlah penduduk yang dilayani, dan tata guna lahan. Selain itu, juga perlu diperhatikan sisa tekan dan kebocoran pada pipa ditribusi agar proses ditribusi berjalan efektif dan efisien.

PDAM Kota Malang memiliki luas wilayah pelayanan 80% dari luas Kota Malang. Luas wilayah Kota Malang mencapai  $\pm$  110 km. Jumlah penduduk Kota Malang yaitu sebesar 856.410 jiwa yang tersebar di 5 kecamatan dan 57 kelurahan (BPS, 2018). Sumber air baku yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber seperti mata air, sumur bor, sumur pompa, dan sumur gali. Dengan cakupan pelayanan PDAM sebesar 95% dari jumlah pelanggan, PDAM Kota Malang memiliki sebanyak  $\pm$  159.765 sambungan rumah. PDAM Kota Malang menggunakan sistem distribusi gravitasi dan pemompaan. Pada tahun 2018, angka kehilangan air (*Non Revenue Water*) pada PDAM Kota Malang adalah 19,62 %. Angka tersebut sudah berada di bawah standar toleransi angka kehilangan air PDAM secara nasional menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20/PRT/M/2006 yaitu kehilangan air maksimal 20%. Akan tetapi PDAM Kota Malang memiliki target berdasarkan Peraturan Walikota No. 7 Tahun 2014 yakni dalam kurun waktu 5 tahun mendatang angka kehilangan air dapat turun menjadi 16 %. (PDAM Kota Malang, 2018).

PDAM Kota Malang merupakan perusahaan yang sangat menjaga eksistensinya dalam peningkatan kinerja aspek operasional. Banyak masalah operasional, terutama pada saat awal pengisian pipa, pengurusan pipa, buka tutup *valve*, pembacaan instrumentasi yang salah, dan lain sebagainya. Pada kenyataannya, banyak dari masalah semacam ini bukan disebabkan oleh pemasangan saluran yang tidak tepat, tetapi karena proses perpindahan udara yang tidak baik dalam sistem perpipaan. Keberadaan udara sendiri merupakan masalah yang sulit untuk diketahui dan diukur secara pasti, Proses keluar masuknya udara dalam pipa dengan baik akan melindunginya dari masalah yang berpotensi ditimbulkan, sehingga perlu dilakukan penentuan langkah strategis yang harus diambil. Salah satu strategi yang dapat dilakukan oleh PDAM adalah evaluasi perlengkapan pipa pada sistem distribusi, yakni *air valve*. Proses evaluasi itu sendiri meliputi pemindahan titik pemasangan, pergantian, dan penambahan jumlah *air valve*.

*Air valve* adalah perangkat hidro-mekanis yang dirancang untuk secara otomatis melepaskan atau menerima udara selama tahap pengisian, pengurusan, atau pengoperasian normal sistem perpipaan air. Operasi yang aman dan efisiensi pipa tergantung pada pemindahan udara dari dan ke dalam pipa secara terus menerus. Sirkulasi udara yang tidak baik sendiri berpotensi menyebabkan beberapa masalah seperti lonjakan tekanan (*surge water*), keretakan pipa, getaran pipa, korosi pipa, dan dapat menyebabkan operasi yang tidak menentu pada *valve*, meter air, dan peralatan kontrol. Keberadaan udara juga akan mengurangi efisiensi sistem pipa secara keseluruhan.

Oleh karena itu, akan dilakukan evaluasi *air valve* pada sistem distribusi utama PDAM Kota Malang. Jalur pipa yang akan dievaluasi adalah jalur pipa utama Reservoir Buring yang meliputi 3 jalur, diantaranya adalah jalur Reservoir Buring Atas – Reservoir BTU, Reservoir Buring Bawah – Tapping Sawojajar, dan Reservoir Buring Atas – Reservoir Jabal Nur. Pemilihan jalur ini didasarkan pada medan pipa yang naik turun dan memiliki kemiringan yang cukup curam. Penelitian ini dirasa perlu untuk dilakukan mengingat pentingnya peran *air valve* pada kinerja sistem distribusi. Proses evaluasi akan mengacu pada *American Water Work Association (AWWA) Manual M51 Standard* tentang *Air Release, Air Vacuum*,

*and Combination Air Valve*. *AWWA Manual M51 Standard* sendiri merupakan standar internasional yang berisi panduan teknis untuk pemilihan jenis (*selecting*), perhitungan ukuran (*sizing*), penempatan (*locating*), dan pemasangan (*installing*) dari *air valve* dalam sistem perpipaan air. Hasil evaluasi teknis akan dilanjutkan perhitungan biaya rehabilitasi *air valve*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan pertimbangan oleh pihak PDAM Kota Malang untuk menentukan strategi dalam upaya meningkatkan kinerja aspek operasional.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang menjadi dasar pada penyusunan evaluasi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kesesuaian *air valve* pada pipa utama distribusi Reservoir Buring PDAM Kota Malang dengan *AWWA Manual M51 Standard*?
2. Berapa biaya yang dibutuhkan untuk proses rehabilitasi *air valve* pada pipa utama distribusi Reservoir Buring PDAM Kota Malang agar memenuhi *AWWA Manual M51 Standard*?

### **1.3. Tujuan**

Tujuan yang akan dicapai pada penyusunan evaluasi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kesesuaian *air valve* pada pipa utama distribusi Reservoir Buring PDAM Kota Malang dengan *AWWA Manual M51 Standard*.
2. Menghitung biaya rehabilitasi *air valve* pada pipa utama distribusi Reservoir Buring PDAM Kota Malang agar memenuhi *AWWA Manual M51 Standard*.

### **1.4. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah studi yang akan dievaluasi yaitu jaringan pipa utama distribusi Reservoir Buring yang meliputi 3 jalur, yaitu diantaranya adalah jalur Reservoir Buring Atas – Reservoir BTU, Reservoir Buring Bawah – Sawojajar, dan Reservoir Buring Atas – Reservoir Jabal Nur.

2. Evaluasi yang dilakukan meliputi pemilihan jenis, titik penempatan, dan ukuran *orifice* dari *air valve*.
3. Data yang digunakan berdasarkan data primer dan data sekunder
4. Pedoman yang digunakan untuk proses evaluasi adalah *AWWA Manual M51 Standard* tentang *Air Release, Air Vacuum, and Combination Air Valve*.

#### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengaplikasikan ilmu perkuliahan dan beberapa literatur yang telah dipelajari.
2. Memberikan informasi berupa data hasil evaluasi bagi PDAM Kota Malang sebagai rujukan atau rekomendasi dalam pertimbangan menentukan strategi perbaikan jaringan pipa distribusi.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum PDAM Kota Malang**

Sistem penyediaan air minum di Kota Malang telah berdiri sejak zaman Pemerintahan Belanda. Kegiatan penyediaan air minum untuk Kota Malang dimulai sejak tanggal 31 Maret 1915. Pemerintah Belanda memanfaatkan sumber air Karanganyang yang terletak di wilayah Kabupaten Malang. Pada tahun 1928 dengan menggunakan sistem penyadap berupa *broncaptering*, air dari sumber tersebut ditransmisikan secara gravitasi pada reservoir Dinoyo dan Betek. Perkembangan penduduk yang pesat dan kebutuhan air bersih yang makin meningkat, maka dilakukanlah peningkatan debit produksi sebesar 215 L/detik. Peningkatan debit tersebut memanfaatkan sumber air Binangun yang terletak di wilayah Kota Batu (PDAM Kota Malang, 2018).

Pada 18 Desember 1974 dengan diterbitkannya Peraturan Daerah No. 11 Tahun 1974, Unit Air Minum berubah menjadi status Perusahaan Daerah Air Minum. Sejak itulah PDAM Kota Malang mempunyai status Badan Hukum dan memiliki hak otonomi dalam pengelolaan air minum. Untuk memenuhi dan menjaga pelayanan air pada konsumen selama 24 jam. PDAM Kota Malang berupaya mengolah sumber air dengan baik dan menambah kapasitas produksi dengan mengelola Sumber Air Wendit serta beberapa mata air lain menggunakan sistem pompanisasi. Tidak banyak fasilitas pemrosesan yang ada di PDAM Kota Malang. Air yang diambil di sumber sudah memenuhi baku mutu air minum secara fisik-kimia. PDAM Kota Malang hanya melakukan proses klorinasi. Proses klorinasi menggunakan gas klor yang diinjeksikan melalui tabung gas klor

PDAM Kota Malang telah melakukan berbagai kegiatan teknis dalam penyediaan air minum. Terkait dengan penyediaan air minum PDAM Kota Malang tidak lepas dari kinerja teknis. Kinerja teknis meliputi cakupan pelayanan, sumber air, kualitas air, dan kehilangan air.

### 2.1.1 Sumber Air

Kegiatan penyaluran air minum diawali dengan pengambilan air dari daerah tangkapan air yang terdiri dari 9 *catchment area*. Daerah tangkapan air ini merupakan aliran dari gunung di sekitar Kota Malang yakni Gunung Bromo Tengger, Gunung Kawi, Gunung Anjasmoro, dan Gunung Arjuno. Aliran air melalui *catchment area* ditangkap pada beberapa sumber yang mencakup beberapa daerah layanan di Kota Malang. Sumber air dari PDAM Kota Malang berupa mata air dan sumur (air tanah). Oleh karena itu, kualitas air bakunya telah memenuhi persyaratan air minum.

Sistem pengaliran air dari sumber menggunakan dua sistem penyaluran yaitu melalui sistem gravitasi dan pompa. Sumber air yang terdapat di daerah Wendit menggunakan sistem pengaliran dengan pompa. Sedangkan sumber air yang terdapat di daerah Binangun menggunakan sistem pengaliran gravitasi. *Intake* yang digunakan berupa *broncaptering*. Setelah dari *broncaptering*, air dipompakan menuju tandon air Tlogomas. Sumber air di daerah Sumbersari juga menggunakan sistem pengaliran dengan gravitasi. *Intake* yang digunakan merupakan sistem *broncaptering* yang langsung dialirkan menuju ke pelanggan. Sumber air di daerah Badut merupakan sumber dari air tanah atau sumur dan dialirkan menuju reservoir Badut.

Rantai pasok sistem penyediaan air minum PDAM Kota Malang yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 yang secara umum menjelaskan sistem penyediaan air minum Kota Malang mulai dari *catchment area* sampai dengan zona pelayanan. Sebagai contoh, aliran air *catchment area* 1 dari Gunung Bromo Tengger ditangkap pada intake Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3. Setelah penyaluran air minum diawali dengan yang digunakan berupa *broncaptering*. Setelah dialirkan menuju ke 6 dari *intake*, air mengalir ke masing-masing *junction well* 1, 2, dan 3. Proses klorinasi dilakukan dan kemudian air dipompa menuju reservoir melewati pipa transmisi. Pada sumber Wendit 1 air dipompa untuk didistribusikan ke pelanggan pada zona Wendit. Dari reservoir Betek air didistribusikan ke pelanggan pada zona Betek. Untuk Wendit 2, sebagian air didistribusikan langsung ke pelanggan pada zona Wendit dan sebagian ditransmisikan ke reservoir Mojolangu dan Buring. Pada reservoir dilakukan kembali proses klorinasi pada

zona Mojolangu serta sebagian dipompa dan ditransmisikan ke reservoir Tlogomas. Selanjutnya air dari reservoir Tlogomas akan didistribusikan pada pelanggan pada zona Tlogomas.

### **2.1.2 Cakupan Pelayanan**

Wilayah pelayanan PDAM Kota Malang meliputi 11 zona dengan 249 DMA yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Jumlah pelanggan PDAM Kota Malang ± 159.765 sambungan rumah dengan cakupan pelayanan air minum sebesar 80% dari jumlah penduduk (PDAM Kota Malang, 2018).

### **2.1.3 Kualitas Air**

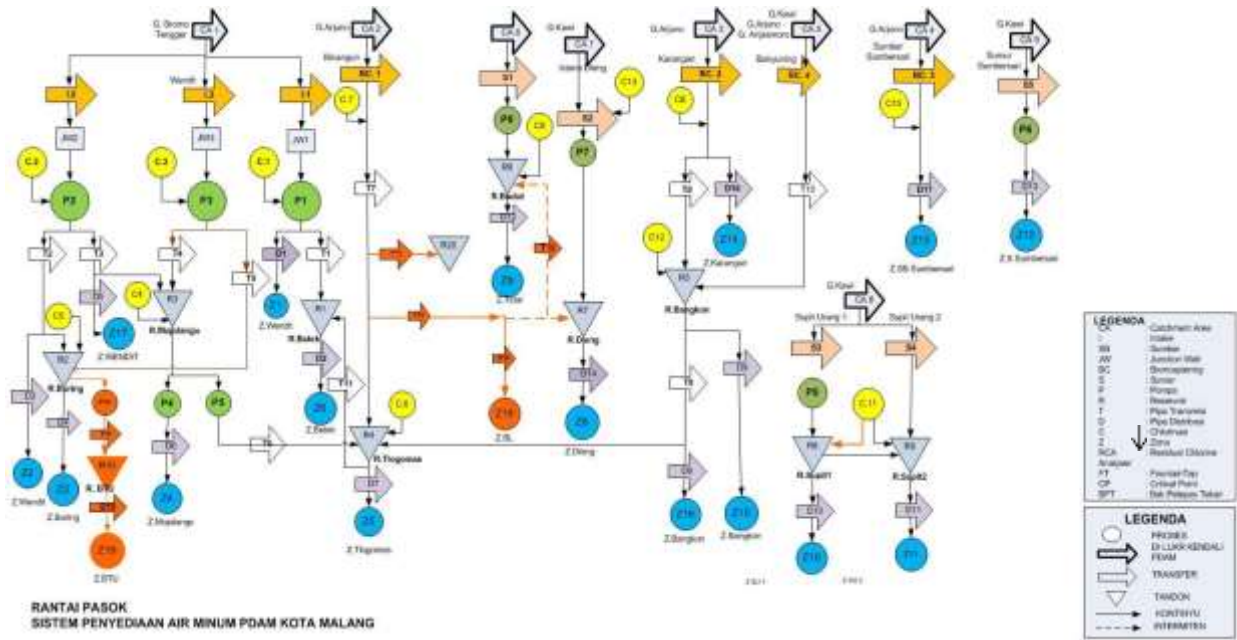
Kualitas air PDAM Kota Malang telah memenuhi untuk persyaratan fisika kimia (PDAM Kota Malang, 2018). Parameter kualitas air yang diuji oleh laboratorium PDAM Kota Malang meliputi parameter fisika, kimia, dan bakteriologis.

### **2.1.4 Kehilangan Air**

PDAM Kota Malang memiliki upaya untuk meningkatkan sistem penyediaan air minum. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan menurunkan kehilangan air baik secara fisik maupun non fisik. Persentase kehilangan air (*Non Revenue Water*) dalam sistem penyediaan air minum PDAM Kota Malang per tanggal 1 Agustus 2017 adalah sebesar 19,38 %. Hal tersebut tentunya sudah dibawah standar toleransi angka kehilangan air bersih PDAM secara nasional yakni 20%. Akan tetapi, PDAM Kota Malang memiliki target dalam kurun waktu 5 tahun mendatang persentase kehilangan air dapat turun menjadi 16% (Saparina, 2017).

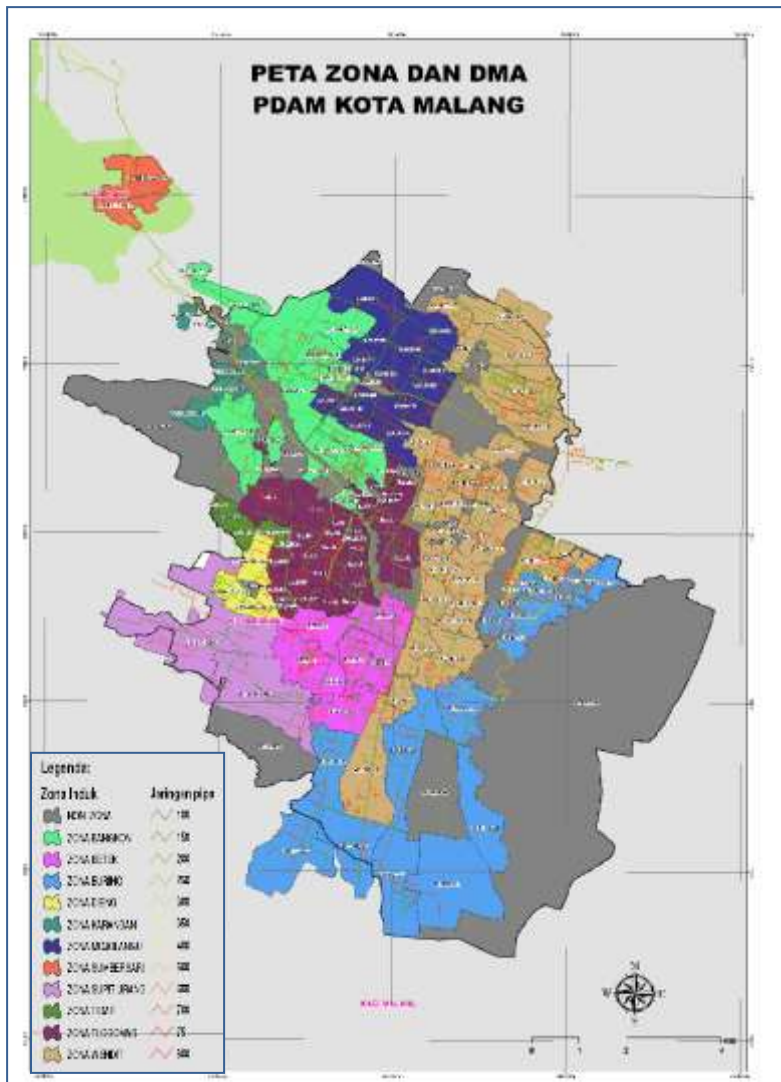
## **2.2 Sistem Distribusi**

Dalam mengevaluasi sistem distribusi air minum didasarkan atas dua faktor utama yaitu kebutuhan air (*water demand*) dan tekanan air, serta ditunjang dengan faktor kontinuitas dan keamanan (*safety*). Fungsi pokok jaringan distribusi adalah menghantarkan air minum ke seluruh pelanggan dengan tetap memperhatikan faktor kualitas, kuantitas, kontinuitas dengan tekanan dan kecepatan air yang memenuhi standar. Kondisi yang diinginkan pelanggan adalah kapan saja mereka membuka kran air selalu tersedia.



**Gambar 2.1** Rantai Pasok PDAM Kota Malang  
Sumber: PDAM Kota Malang, 2019





**Gambar 2.2** Peta Zona PDAM Kota Malang  
 Sumber: PDAM Kota Malang, 2019

**Tabel 2.1** Kapasitas Produksi Air Baku

No.	Nama Sumber	Produksi (m <sup>3</sup> /th)	Lokasi Sumber	Kapasitas (L/detik)
1	Binangun Pipa Lama	2.759.187	Kota Malang	87,49
2	Binangun Pipa Baru	4.613.139	Kota Batu	146,28
3	Karangan	963.676	Kab Malang	30,56
4	Sumpersari	506.132	Kab Malang	16,05
5	Wendit I	10.797.486	Kab Malang	342,39
6	Wendit II	10.021.414	Kab Malang	317,78
7	Wendit III	5.790.596	Kab Malang	183,62
8	Banyuning	2.560.605	Kota Batu	81,20
9	Badut I	301.311	Kota Malang	9,55
10	Badut II	443.060	Kota Malang	14,05
11	Sumpersari I	65.124	Kota Malang	2,07
12	Istana Dieng	371.744	Kota Malang	11,79
13	TPA Supit Urang I	148.338	Kota Malang	4,70
14	Supit Urang II	26.784	Kota Malang	10,00

Sumber: PDAM Kota Malang 2018

Air yang disuplai melalui jaringan pipa distribusi, sistem pengalirannya terbagi atas dua alternatif pendistribusian, yaitu:

### **2.2.1 Sistem Berkelanjutan (*Continuous System*)**

Pada sistem ini, suplai dan distribusi air kepada pelanggan dilaksanakan secara terus-menerus selama 24 jam. Sistem ini diterapkan bila pada setiap waktu kuantitas air bersih dapat memenuhi kebutuhan konsumsi air di daerah pelayanan.

Keuntungan menggunakan sistem ini adalah pelanggan akan mendapatkan air minum setiap saat dan air minum yang diambil dari titik pengambilan air dalam jaringan distribusi selalu dalam kondisi baik.

Kerugian sistem ini adalah pemakaian air akan cenderung lebih boros, dan bila ada sedikit kebocoran, jumlah air terbuang akan sangat besar.

### **2.2.2 Sistem Bergilir (*Intermittent System*)**

Pada sistem ini air minum yang disuplai dan didistribusikan kepada pelanggan dilakukan hanya selama beberapa jam dalam satu hari, yaitu dua sampai empat jam pada pagi dan sore hari. Sistem ini biasanya diterapkan apabila kuantitas air dan tekanan air tidak mencukupi.

- a) Keuntungan sistem ini adalah pemakaian air cenderung lebih hemat dan bila terjadi kebocoran maka jumlah air yang terbuang relatif kecil.
- b) Kerugian menggunakan sistem ini adalah:
  - Bila terjadi kebakaran pada saat air tidak terdistribusi, maka air untuk memadam kebakaran tidak akan tersedia.
  - Setiap rumah perlu menyediakan tempat penyimpanan air yang cukup agar kebutuhan air dalam sehari dapat dipenuhi.
  - Dimensi pipa yang dipakai lebih besar karena kebutuhan air yang akan disuplai dan didistribusikan dalam sehari ditempuh dalam waktu pendek.

Air yang telah diproduksi di unit produksi harus didistribusikan kepada masyarakat sebagai pelanggan air minum. Hal ini untuk menjamin kepastian akan kuantitas, kualitas, dan kontinuitas pengaliran. Pendistribusian air minum dapat dilakukan dengan (Masduqi dan Assomadi, 2012).

- **Sistem perpipaan**, yaitu pendistribusian air minum melalui jaringan pipa distribusi hingga ke pelanggan. Untuk pendistribusian menggunakan perpipaan ini dapat dilakukan dengan pemompaan atau pengaliran secara gravitasi. Hal ini tergantung pada perbedaan elevasi antara unit produksi dengan daerah pelayanan.
- **Sistem non-perpipaan**, yaitu pendistribusian air minum tidak melalui jaringan pipa distribusi, melainkan menggunakan alat transportasi untuk mengangkut air dari unit produksi menuju ke pelanggan, seperti mobil tangki, gerobak dorong, dan lain-lain.

### 2.3 Sistem Hidrolika pada Sistem Distribusi

Pendistribusian air minum terbagi menjadi tiga sistem pengaliran yang pemilihan jenisnya disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan yaitu:

- a) **Sistem Gravitasi.** Sistem ini digunakan bila elevasi sumber air baku atau instalasi pengolahan secara topografi berada jauh diatas elevasi daerah pelayanan dan sistem ini dapat memberikan energi potensial yang cukup tinggi hingga pada daerah pelayanan terjauh.
- b) **Sistem Pemompaan.** Sistem ini digunakan apabila beda elevasi antara sumber air atau instalasi pengolahan dengan daerah pelayanan tidak dapat memberikan tekanan air yang cukup, sehingga air yang akan didistribusikan, agar tekanan meningkat, di pompa ke jaringan pipa distribusi.
- c) **Sistem Kombinasi.** Sistem ini merupakan kombinasi dari sistem gravitasi dan pemompaan dimana air minum dari sumber atau instalasi pengolahan dialirkan ke jaringan pipa distribusi dengan menggunakan pompa dan reservoir distribusi, dioperasikan secara bergantian atau bersama-sama sesuai dengan keadaan topografi daerah pelayanan.

### 2.4 Non Revenue Water

*Non-Revenue Water* (NRW) merupakan jumlah produksi air perusahaan yang tidak berpenghasilan atau tidak terhitung pada rekening. Akibat jangka pendek dari NRW adalah konsumen dirugikan karena membayar dengan untuk pelayanan yang tidak memuaskan air yang berharga (McIntosh, 2003).

#### 2.4.1 Penyebab NRW

McIntosh (2003) menyatakan penyebab adanya NRW dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. NRW yang memang diberikan oleh perusahaan secara gratis.
2. NRW karena penggunaan air oleh pihak yang tidak berhak menerima (pencurian air) dan karena meteran pelanggan yang tidak akurat.
3. Permasalahan operasi PAM sehingga banyak air yang terbuang. Misalnya dalam perjalanan melalui pipa-pipa

utama yang bocor, kebocoran penampungan, maupun kebocoran antara pipa utama sampai ke meteran pelanggan.

#### **2.4.2 Upaya Penurunan NRW**

Adapun upaya penurunan NRW yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi semua meter air yang tidak berfungsi, diganti dengan yang baru atau diperbaiki. Kegiatan pada tahap pertama mengurangi antara 5% - 10% (*International Water Association*).
2. Data base pengembangan atau aplikasi sistem menggunakan perangkat lunak seperti GIS (*Geographic Information System*). Dengan sistem perangkat lunak seperti itu, bermacam masalah manajemen dapat diidentifikasi dengan mudah, misalnya salah sambungan, salah perangkat, dan masalah lain.

Manajemen dan studi teknis sistem GIS diaplikasikan dengan sistem analisis jaringan distribusi dengan distribusi air. Penerapan sistem seperti ini dapat memperbaiki keandalan dan efektifitas komponen jaringan distribusi air dan lebih lanjut dapat memberikan efek nyata dalam reduksi NRW kurang lebih 10%-20%.

### **2.5 Sifat Fisik-Kimia Udara**

Udara adalah sumber daya alam yang berharga dan bercampur dengan gas, yang terdiri dari sekitar 78% nitrogen, 21% oksigen dan 1% sisanya adalah senyawa lain seperti argon, uap air, dan sebagainya. Hukum fisik-kimia yang dapat diterapkan dalam memahami udara adalah Hukum Gas Ideal dan Hukum Henry (Zumdahl, 2003).

#### **1. Hukum Gas Ideal**

Hukum yang dituliskan untuk menghubungkan tekanan, suhu, dan volume yang menyatakan persamaan keadaan dan perilaku mayoritas gas, seperti udara. Persamaan hukum gas ideal adalah sebagai berikut:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana  $p$  adalah tekanan gas,  $V$  adalah volume gas,  $n$  adalah jumlah mol,  $R$  adalah konstanta gas,  $T$  adalah suhu. Dengan  $n$  kita mendefinisikan  $m / M$  di mana  $m$  adalah massa dan  $M$  adalah gram per mol. Dalam satuan SI  $p$  dinyatakan dalam Pascal,  $V$  adalah m,  $n$  dalam mol dan  $T$  dalam Kelvin.  $R$  memiliki nilai  $8.313 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

## 2. Hukum Henry

Hukum Henry digunakan untuk memahami kelarutan udara di dalam cairan (seperti air) sesuai dengan variasi tekanan, yang menyatakan bahwa pada dasarnya kelarutan gas yang diberikan sebanding dengan tekanan parsial gas itu sendiri di dalam cairan. Secara matematis, konsep ini dapat ditulis:

$$p = Kc' \cdot c \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana  $p$  adalah tekanan parsial gas,  $c$  adalah konsentrasi molar gas terlarut,  $Kc'$  adalah konstanta Hukum Henry tentang konsentrasi molar tergantung pada gas, cairan, dan temperatur.

### 2.6 Udara dalam Perpipaan

Air mengandung persentase udara terlarut sebesar  $\pm 2\%$ , sebagai akibat dari penurunan tekanan atau kenaikan suhu yang keluar dari larutan. Hukum Henry menyatakan bahwa, jumlah gas yang dilarutkan dalam larutan berbanding lurus dengan tekanan gas di atas larutan (Zumdahl, 1997). Karena itu udara yang terbawa ke dalam pipa untuk sistem pemompaan akan lebih banyak dibandingkan dengan sistem gravitasi. Ketika air diberi tekanan besar di awal, kapasitas udara yang diikat akan semakin meningkat. Kemudian udara akan terlepas dari larutan dalam pipa karena tekanan yang terus menurun sebagai akibat dari *valve* terbuka sebagian, penurunan debit dalam pipa yang diisi sebagian, variasi kecepatan aliran yang disebabkan oleh perubahan diameter dan lereng pipa, dan perubahan ketinggian pipa.

Udara di dalam sistem perpipaan air seringkali merupakan masalah yang tersembunyi dan sulit diketahui. Terkadang kerusakan dan ketidakefisienan berasal dari kondisi *air valve* yang sering diremehkan. Berikut adalah efek keberadaan udara di dalam pipa:

### **1. Konsumsi Daya Tinggi**

Kantong-kantong udara akan membuat tahanan pada aliran di dalam pipa. Tahanan tersebut akan menurunkan kecepatan aliran, meningkatkan *headloss* mengurangi debit air di dalam pipa. Kondisi tersebut akan berujung pada peningkatan konsumsi daya yang dibutuhkan untuk memompa air menuju hilir (Wylie, 1993).

### **2. Pembacaan Meter Air Tidak Akurat**

Mekanisme pengukur debit biasanya digerakkan oleh baling-baling. Baling-baling ini sangat peka, namun tidak bisa membedakan antara aliran yang melewatinya apakah itu aliran udara atau air. Jadi ketika air bercampur dengan udara, akan ada waktu di mana baling-baling ini akan tertiuap udara sehingga pembacaan meter ini yang terbaca adalah udara.

### **3. Potensi Kebocoran Tinggi**

Dalam sistem perpipaan, setelah udara terlepas dari larutan udara tidak akan segera kembali ke larutan dan akan terkumpul pada titik-titik tertentu di sepanjang pipa. Pada jalur dengan tekanan udara lebih besar akan menyebabkan terjadinya pemisahan dua kolom zat cair saat terjadi kegagalan pompa. Pada saat pompa dinyalakan kembali, bagian yang berisi udara cukup besar ini akan terisi kembali, sehingga dua kolom zat cair yang terpisah akan menyatu kembali secara saling membentur, maka di tempat benturan ini pipa dapat pecah. (Karassik, 2001). Selain itu udara dapat memasuki perpipaan karena adanya udara yang masih tersisa pada saat proses pengisian dan tekanan negative akibat kegagalan pompa. Jika *air valve* kurang memadai, udara akan berusaha masuk melalui sambungan pipa (*joint* dan *fitting*).

### **2.7 Air Valve**

*Air valve* atau katup udara adalah alat yang berfungsi untuk mengeluarkan dan memasukkan udara ke dalam sistem perpipaan. Berdasarkan tahap yang terjadi dalam sistem perpipaan, *air valve* memiliki 3 fungsi, yakni sebagai berikut (Jianfeng, 2006):

**1. Tahap pengisian awal (*filling*)**

*Air valve* akan mengeluarkan sejumlah besar udara yang berada di dalam pipa. Dan air akan mengisi ruang yang ditinggalkan oleh udara.

**2. Tahap operasional atau kerja normal**

*Air valve* dapat melepaskan sejumlah kecil gas yang terbawa ke dalam pipa secara otomatis.

**3. Tahap pengurasan pipa (*draining*)**

Ketika proses penghentian pompa atau tahap perawatan, akan terjadi kondisi vakum karena air yang keluar lebih banyak daripada air yang masuk ke dalam pipa. Untuk menghindari kondisi tersebut *air valve* akan mengisi udara ke dalam pipa untuk mengisi ruang kosong yang ditinggalkan oleh air.

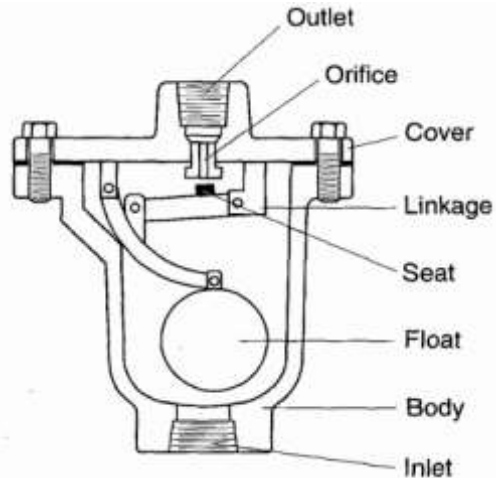
**2.7.1 Jenis Air Valve**

Berdasarkan *AWWA M51 Manual Standard*, ukuran lubang, perpindahan, dan tekanan dari kinerjanya, *air valve* memiliki jenis sebagai berikut:

**1. Air Release Valve**

*Air release valve* memiliki fungsi tunggal, yaitu hanya untuk melepaskan kantong udara yang terakumulasi selama kondisi operasional normal. Kapasitas udara yang dilepaskan haruslah seimbang dengan udara yang masuk ke dalam pipa. Hal penting yang harus diperhatikan bahwa *air valve* jenis ini tidak memiliki kapasitas aliran udara selama pengurasan pipa (*draining*) dan peningkatan selama pengisian pipa (*filling*) karena terbatasnya kapasitas lubang *orifice* (1/16 – 1 inchi). Oleh karena itu *air valve* jenis ini tidak akan memberikan perlindungan untuk pipa terhadap kondisi tekanan negatif. *Air release valve* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3



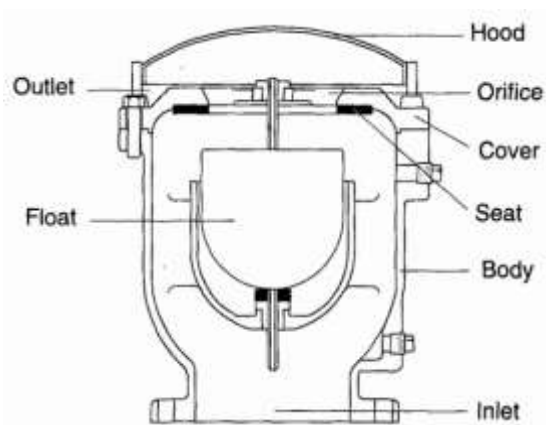


**Gambar 2.3** Air Release Valve  
 Sumber : AWWA Manual M51 Standard

## 2. Air Vacuum Valve

*Air vacuum valve* memiliki fungsi ganda, yaitu untuk melindungi pipa selama pengurasan pipa (*draining*) dan pengisian pipa (*filling*). Ketika proses *draining*, udara akan masuk melalui lubang pada *air valve* dalam volume besar karena kapasitas *orifice* yang cukup besar (1/2 – 20 inchi). Kapasitas udara yang masuk perlu diperhatikan untuk menghindari kondisi tekanan negatif karena tekanan turun di bawah nilai atmosfer, agar tidak terjadi kerusakan pada pipa.

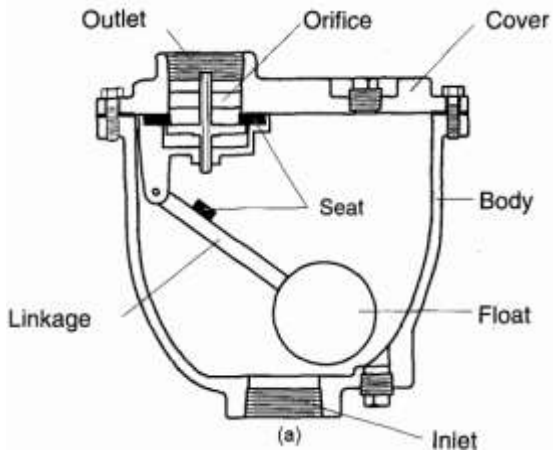
Ketika proses *filling*, udara akan keluar melalui lubang pada *air valve* dalam volume besar untuk menghindari terciptanya udara yang terjebak di dalam pipa, untuk menghindari kemungkinan terjadinya tekanan berlebih di dalam pipa. *Air vacuum valve* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.4

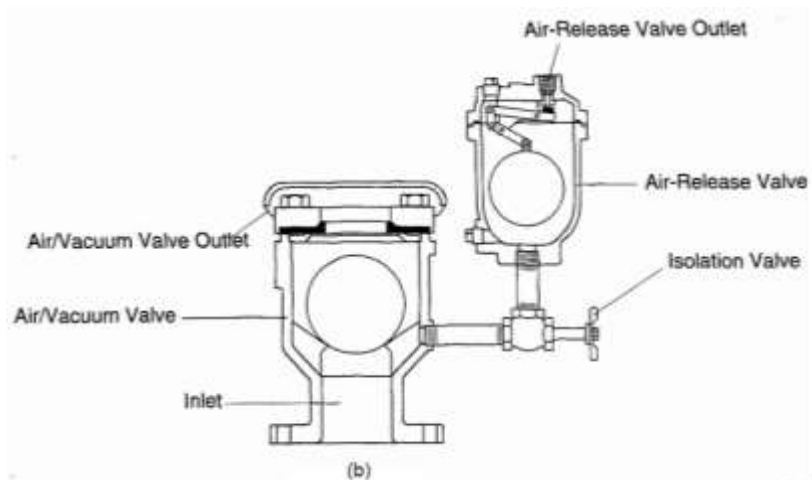


**Gambar 2.4 Air Vacuum Valve**  
 Sumber : AWWA Manual M51 Standard

**3. Combination Air Valve**

*Combination air valve* memiliki 3 fungsi gabungan atau dapat dikatakan memiliki fungsi gabungan antara *air release valve* dengan *air vacuum valve*. Bentuk dari *combination air valve* dibagi menjadi 2, yaitu *single body* dan *double body*. *Combination air valve* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.5





**Gambar 2.5** Combination Air Valve (a) Single Body (b) Dual Body  
 Sumber : AWWA Manual M51 Standard

### 2.7.2 Penempatan Air Valve

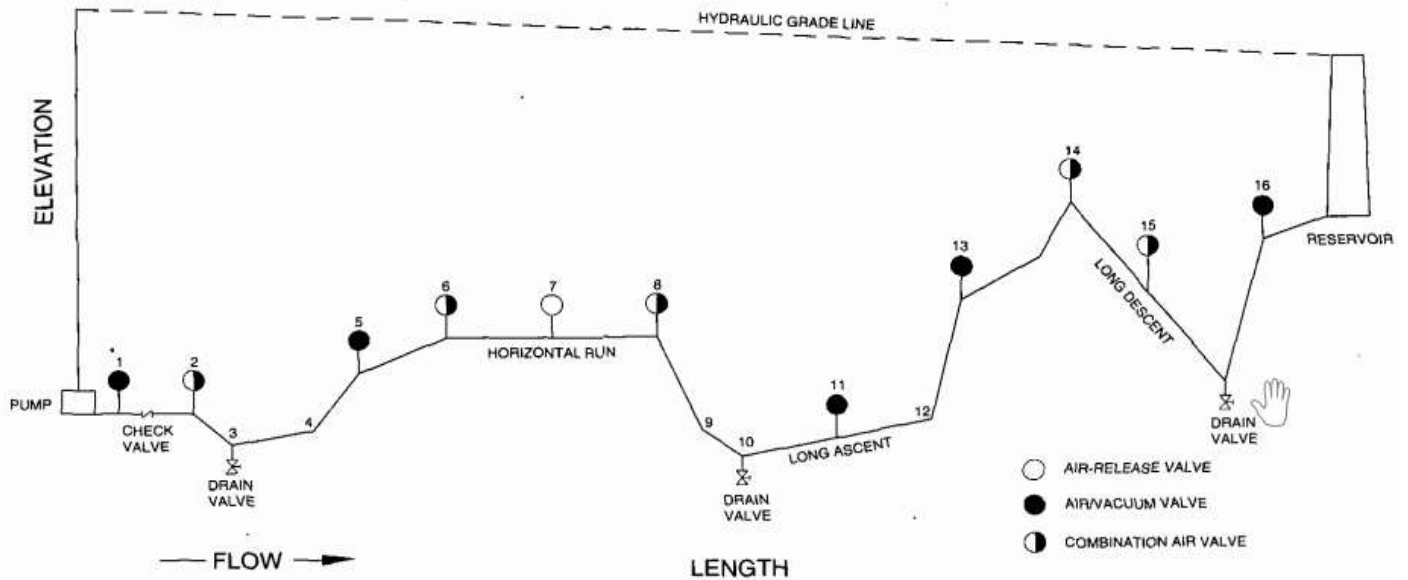
AWWA Manual M51 Standard sebagai standar internasional telah merekomendasikan untuk beberapa lokasi dan jenis *air valve* yang sesuai. Fungsi dan titik penempatan masing-masing *air valve* dapat dilihat pada Tabel 2.2

**Tabel 2.2** Fungsi dan Titik Penempatan Berdasarkan Jenis Air Valve pada Profil Pipa

Tipe Air Valve	Fungsi	Titik Penempatan
Air release	1. Mengeluarkan sejumlah kecil udara saat operasi normal	Jalur horizontal panjang (400-800 m)
		Jalur turun panjang (400-800 m)

<b>Tipe Air Valve</b>	<b>Fungsi</b>	<b>Titik Penempatan</b>
Air vacuum	1. Memasukkan sejumlah besar udara saat proses pengurasan pipa	Discharge pompa
	1. Mengeluarkan sejumlah besar udara saat proses pengurasan pipa 2. Mengeluarkan sejumlah besar udara saat proses pengisian ulang pipa	Jalur naik panjang (400-800 m) Penurunan Upslope
Combination	1. Mengeluarkan sejumlah kecil udara saat operasi normal	Peningkatan downslope
	2. Memasukkan sejumlah besar udara saat proses pengurasan pipa	Awal jalur horizontal
	3. Mengeluarkan sejumlah besar udara saat proses pengisian ulang pipa	Akhir jalur horizontal
		Titik tertinggi

Pemilihan jenis *air valve* menyesuaikan medan pada titik penempatan yang akan ditentukan. Lokasi penempatan *air release*, *air vacuum*, dan *combination air valve* menjadi hal yang sangat penting dalam sistem perpipaan agar sistem dapat bekerja secara efektif. Untuk memudahkan dalam mengetahui titik penempatan *air valve* pada sebuah profil pipa, maka dapat diilustrasikan pada Gambar 2.6 dan keterangan pada gambar terdapat pada Tabel 2.3.



**Gambar 2.6** Contoh Penempatan Jenis Air Valve pada Profil Pipa  
 Sumber : AWWA Manual M51 Standard

**Tabel 2.3** Contoh Penempatan Jenis *Air Valve* pada Profil Pipa

No.	Deskripsi	Type Air Valve
1	Discharge pompa	Air vacuum
2	Peningkatan downslope	Combination
3	Titik terendah	Tidak perlu
4	Peningkatan upslope	Tidak perlu
5	Penurunan upslope	Air vacuum atau Combination
6	Awal horizontal	Combination
7	Horizontal	Air release atau Combination
8	Akhir horizontal	Combination
9	Penurunan downslope	Air vacuum
10	Titik terendah	Combination
11	Jalur naik panjang	Tidak perlu
12	Peningkatan upslope	Tidak perlu
13	Penurunan upslope	Air vacuum atau Combination
14	Titik tertinggi	Combination
15	Jalur turun panjang	Air release atau Combination
16	Penurunan upslope	Combination

Sumber : *AWWA Manual M51 Standard*

### 2.7.3 Perhitungan Diameter *Orifice*

Penting untuk memilih ukuran *orifice* yang tepat untuk lokasi tertentu di sepanjang pipa. Metodologi umum yang digunakan berdasarkan formula, grafik, dan tabel data yang berada di dalam *AWWA Manual M51 Standard*. Ada 3 kondisi umum air valve dalam melepaskan udara yaitu:

### **b) Releasing Valve**

Tidak ada metode yang benar-benar akurat untuk menentukan jumlah udara yang perlu dibuang dari dalam pipa. Hal ini dikarenakan kesulitan dalam memperkirakan jumlah udara yang akan masuk atau keluar dari pipa karena tekanan bervariasi di sepanjang pipa. Metode umum yang digunakan untuk menghitung kapasitas udara yang dilepaskan 2% dari debit air pada kondisi standar. Metode ini didasarkan pada kelarutan  $\pm 2\%$  udara dalam air pada kondisi standar. Udara dilepaskan melalui lubang *air release valve* pada tekanan kerja pipa di lokasi katup itu.

Metode sederhana yang dapat digunakan untuk memperkirakan ukuran lubang yang diperlukan dalam *air release valve* disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Formula aliran juga disediakan untuk menghitung kapasitas berbagai diameter lubang pada berbagai kondisi tekanan. Adapun langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

**Langkah 1.** Konversi debit pada pipa menjadi dalam satuan *cubic feet per minute* (cfm).

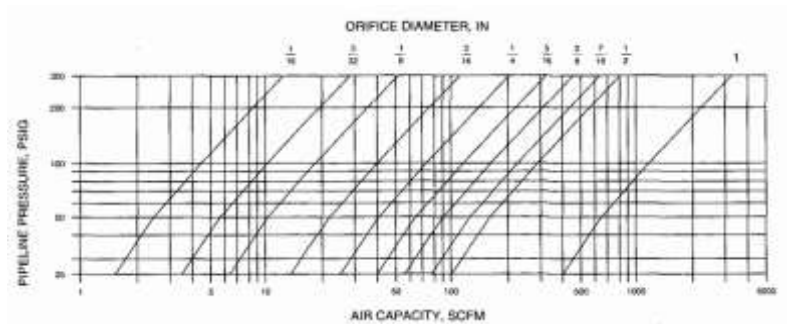
**Langkah 2.** Gunakan debit dalam satuan cfm dari langkah 1 untuk menghitung kapasitas udara dengan mengkalikan 0.02 dan debit (cfm), karena  $\pm 2\%$  udara terlarut oleh air bertekanan di dalam pipa dalam satuan *standard cubic feet per minute* (scfm).

**Langkah 3.** Tentukan tekanan kerja pada *valve* dengan mengurangi ketinggian *valve* dari elevasi kemiringan hidrolik. Konversi tekanan ke dalam satuan *pressure in pound per square inch* (psi)

**Langkah 4.** Plotkan pada Tabel 2.4 atau Gambar 2.7 dan pilih diameter lubang yang menyediakan kapasitas udara yang diperlukan dari langkah 2 dan tekanan dari langkah 3. Sesuaikan ukuran lubang yang tersedia dari produsen dan pilih *valve* yang memenuhi kapasitas dan persyaratan persyaratan tekanan.

**Tabel 2.4** Kapasitas *Small Orifice* pada *Air Release Valve*

Pressure (psi)	Orifice Diameter, in.									
	1/128	1/64	1/32	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	
25	1.6	3.5	6.3	14.2	25.2	39.4	56.7	77.1	100	400
50	2.6	5.8	10.3	23.1	41.0	64.1	92.3	126	164	656
75	3.6	8.0	14.2	32.0	56.9	88.9	128	174	228	910
100	4.5	10.2	18.2	40.9	72.8	114	164	223	291	1,160
125	5.5	12.5	22.2	49.8	88.6	138	199	271	354	1,430
150	6.5	14.7	26.1	58.8	104	163	235	320	418	1,610
175	7.5	16.9	30.1	67.7	120	188	271	369	481	1,920
200	8.5	19.2	34.1	76.6	136	213	306	417	545	2,180
225	9.5	21.4	38.0	85.5	152	238	342	466	608	2,430
250	10.5	23.6	42.0	94.5	168	262	378	514	672	2,690
275	11.5	25.8	45.9	103	184	287	414	563	735	2,940
300	12.5	28.1	49.9	112	200	312	449	611	799	3,200



**Gambar 2.7** Grafik Pelepasan Udara melalui *Air Release Valve*  
 Sumber : *AWWA Manual M51 Standard*

**a) Pipeline Filling**

Untuk pengisian awal pipa, udara yang dikeluarkan harus pada laju volume yang sama dengan laju volume pengisian air dalam pipa. Dalam banyak kasus, satu pompa dihidupkan sampai saluran penuh. Prosedur yang disarankan adalah mengisi pipa pada tingkat bertahap untuk mencegah lonjakan (*surge water*) pada saluran. Laju pengisian yang disarankan adalah sekitar 0.3 m/s.

Laju volume udara yang dikeluarkan ke atmosfer dengan tekanan diferensial 2 psi. *Valve* yang dilengkapi dengan perangkat *anti-slam* atau penutup lambat mungkin berukuran



dengan tekanan diferensial 5 psi. Metode yang digunakan untuk memperkirakan ukuran lubang yang diperlukan menggunakan tabel, grafik, dan rumus sederhana yang ada pada *AWWA Manual M51 Standard*. Adapun langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

**Langkah 1.** Hitung debit ventilasi di scfm menggunakan rumus:

$$Q = q \times f_{\text{konversi}} \times (\Delta P + 14.7 \text{ psi}) / (14.7 \text{ psi}) \dots \dots \dots (2.3)$$

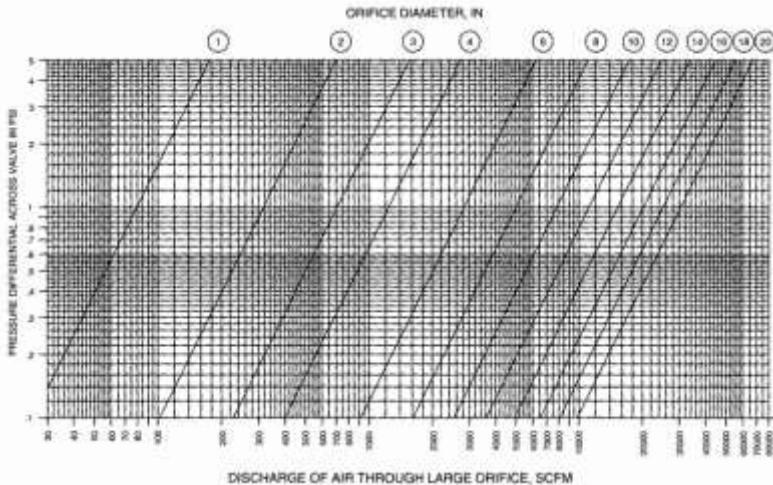
Dimana :

- Q = debit udara, scfm
- q = debit pengisian
- $\Delta P$  = tekanan differensial, 2 psi

**Langkah 2.** Plotkan pada Tabel 2.5 atau Gambar 2.8 debit ventilasi dan tekanan diferensial (2 psi), kemudian pilih diameter lubang yang menyediakan debit ventilasi yang dibutuhkan pada tekanan diferensial yang dipilih.

**Tabel 2.5** Kapasitas Lubang *Orifice* pada *Air Vacuum Valve*

Differential Pressure (psi)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.0	79	317	712	1,270	2,850	5,070	7,910	11,400	15,500	20,200	25,600	31,700
1.5	97	387	870	1,550	3,480	6,190	9,670	14,000	18,900	24,700	31,300	38,600
2.0	111	445	1,000	1,780	4,010	7,120	11,100	16,000	21,800	28,500	36,100	44,500
2.5	124	497	1,120	1,990	4,470	7,950	12,400	17,900	24,300	31,800	40,200	49,600
3.0	136	543	1,220	2,170	4,890	8,800	13,600	19,500	26,600	34,700	44,000	54,300
3.5	146	585	1,320	2,340	5,270	9,370	14,600	21,100	28,700	37,500	47,400	58,500
4.0	156	625	1,410	2,500	5,620	10,000	15,600	22,500	30,600	40,000	50,600	62,500
4.5	165	662	1,490	2,650	5,960	10,600	16,500	23,800	32,400	42,300	53,600	66,200
5.0	174	697	1,570	2,790	6,270	11,100	17,400	25,100	34,100	44,600	56,400	69,700



**Gambar 2.8** Grafik Pelepasan Udara melalui Air Vacuum Valve  
 Sumber : AWWA Manual M51 Standard

**b) Pipeline Draining**

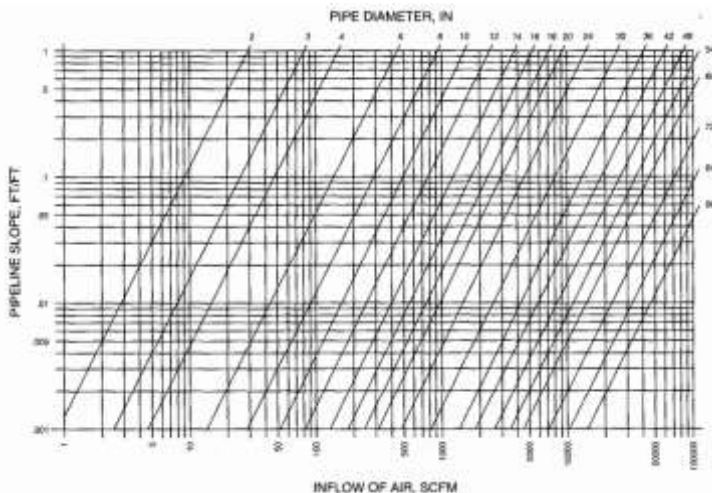
Ketika perlu untuk menghentikan aliran dalam pipa untuk perbaikan, pipa harus dikuras pada laju yang terkendali sekitar 0.3 – 0.6 m/detik untuk meminimalkan fluktuasi tekanan. Suatu *air valve* pada titik tinggi yang berdekatan dengan lokasi pengurasan harus mampu untuk menyerap udara pada laju volume yang sama dengan laju volume pengurasan pipa.

Kegagalan daya atau pemutusan saluran dapat mengakibatkan perubahan kecepatan aliran tiba-tiba dalam karena pemisahan kolom dan aliran gravitasi. Aliran gravitasi dapat menyebabkan kondisi vakum yang berlebihan terjadi pada titik tinggi yang berdekatan. Kebanyakan pipa berukuran kecil dan medium yang biasa digunakan dapat tahan terhadap kekosongan total. Namun pipa-pipa berdiameter besar dapat mengalami *collapsed* akibat dari tekanan negatif. Oleh karena itu, ukuran *air valve* untuk kondisi aliran gravitasi penting untuk menjaga kestabilan pipa. *Air valve* pada titik tinggi harus mempunyai ukuran yang memungkinkan aliran udara untuk meminimalkan tekanan negatif dalam pipa dan mencegah kemungkinan kerusakan pada perlengkapan pompa, perlengkapan pipa, atau pipa itu sendiri.

Saat menentukan ukuran lubang katup udara untuk aliran gravitasi, kemiringan pipa akan menentukan volume udara yang diperlukan untuk mencegah kekosongan yang berlebihan dalam. *Air valve* yang tepat harus disediakan pada titik tinggi terdekat dengan ukuran lubang yang memungkinkan aliran udara masuk yang diperlukan untuk menggantikan keberadaan air dalam pipa. Gambar 2.9 menggambarkan aliran udara yang dibutuhkan untuk berbagai ukuran dan kemiringan pipa. Ukuran lubang *air valve* untuk aliran masuk biasanya didasarkan pada yang lebih rendah dari 5 psi atau tekanan negatif yang diijinkan di bawah tekanan atmosfer untuk pipa dengan faktor keamanan yang sesuai.

**Tabel 2.6** Kapasitas Udara Masuk *Orifice* pada *Air Vacuum Valve*

Differential Pressure (psig)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.0	76	306	688	1,220	2,750	4,890	7,650	11,000	15,000	19,600	24,800	30,600
1.5	92	366	824	1,470	3,300	5,860	9,160	13,200	17,900	23,500	29,700	36,700
2.0	103	414	931	1,600	3,720	6,620	10,300	14,900	20,300	26,500	33,500	41,400
2.5	113	452	1,020	1,810	4,070	7,230	11,300	16,300	22,100	28,900	36,600	45,200
3.0	121	484	1,090	1,930	4,350	7,740	12,100	17,400	23,700	31,000	39,200	48,300
3.5	127	510	1,150	2,040	4,590	8,160	12,700	18,400	25,000	32,600	41,300	51,000
4.0	133	532	1,200	2,130	4,780	8,510	13,300	19,100	26,100	34,000	43,000	53,200
4.5	137	550	1,240	2,200	4,950	8,800	13,700	19,800	26,900	35,200	44,500	55,000
5.0	141	565	1,270	2,260	5,080	9,030	14,100	20,300	27,700	36,100	45,700	56,500



**Gambar 2.9** Grafik Udara Masuk melalui *Air Vacuum Valve*  
Sumber : *AWWA Manual M51 Standard*

Jika aliran gravitasi terjadi pada pipa dengan perubahan kemiringan di mana bagian bawah pipa memiliki kemiringan yang lebih curam daripada bagian atas, maka *air vacuum valve* harus dipertimbangkan di lokasi di mana pipa berubah kemiringan. Aliran gravitasi akan lebih besar di bagian pipa dengan kemiringan yang lebih curam. Lubang *air vacuum valve* harus berukuran sesuai sehingga aliran udara pada titik ini sama dengan perbedaan dalam dua laju aliran pada tekanan negatif yang diizinkan.

Untuk tujuan memperkirakan ukuran lubang *orifice*, koefisien debit, *cd* (0,7) digunakan untuk menghasilkan Tabel 2.6 dan Gambar 2.9. Koefisien pelepasan 0,7 adalah perkiraan dan jatuh di antara nosel aliran halus dan *orifice*.

Adapun langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

**Langkah 1.** Tentukan tekanan negatif yang diizinkan untuk pipa dengan pertimbangan faktor keamanan yang masuk akal. Konsultasikan dengan produsen pipa untuk tekanan negatif maksimum yang disarankan. Pipa yang digunakan dalam layanan terkubur dengan pemadatan tanah yang baik tidak rentan terhadap keruntuhan vakum.

$$P_c = 66.000.000 (t / d)^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- $P_c$  = tekanan collapsed, in
- $t$  = tebal pipa, in
- $d$  = diameter rerata pipa, in

Tekanan differensial yang diizinkan untuk menentukan ukuran dengan rumus:

- $\Delta P$  = tekanan differensial, (5 psi)
- SF = faktor keamanan

Faktor keamanan yang digunakan adalah 3.0 – 4.0 tergantung perencana. Ketika pipa tidak mengalami *collapsed*, tekanan differensial 5,0 psi biasanya digunakan.

**Langkah 2.** Hitung slope dari pipa sebagai perubahan elevasi pada jarak horizontal.

**Langkah 3.** Tentukan debit udara yang dibutuhkan dalam scfm dari Gambar 2.10 dengan mencocokkan kemiringan pipa dengan diameter pipa. Untuk peningkatan downslope dan penurunan upslope, hitung perbedaan antara debit di bagian bawah dan atas pipa. Debit juga dapat dihitung menggunakan

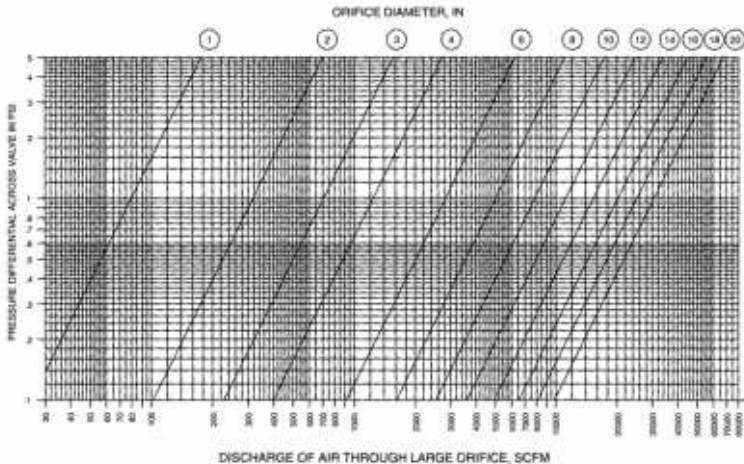
rumus aliran umum, seperti Hazen-Williams, Manning, atau rumus berikut:

$$Q = 0.0472 C (S \cdot ID)^{0.5} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

- Q = debit, scfm
- C = koefisien chezy
- S = slope pipa
- ID = diameter dalam, in

**Langkah 4.** Plotkan pada Tabel 2.5 atau Gambar 2.10 untuk memilih diameter lubang yang menyediakan aliran yang dibutuhkan dalam scfm pada tekanan diferensial yang diizinkan.



**Gambar 2.10** Grafik Udara Masuk untuk Aliran Gravitasi  
 Sumber : *AWWA Manual M51 Standard*

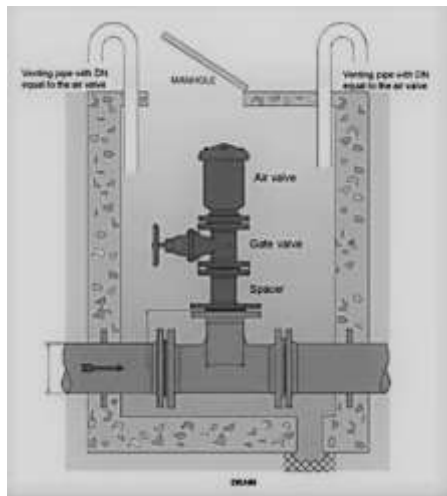
### 2.7.4 Instalasi Pemasangan *Air Valve*

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemasangan *air valve* adalah sebagai berikut:

- Sebelum pemasangan pastikan untuk membersihkan pipa secara akurat untuk menghindari benda asing seperti batu atau bahan bangunan yang dapat merusak katup pelepasan udara
- *Air valve* harus diposisikan di lokasi yang cukup luas dan mudah diakses untuk memungkinkan pemeliharaan, operasi, dan inspeksi.

- Penempatan harus dalam posisi vertikal sempurna, dan pada bagian "T" untuk memungkinkan akumulasi udara untuk meningkatkan kinerja katup udara.
- Lubang harus dilengkapi dengan sistem drainase untuk operasi pembersihan, dan pipa ventilasi untuk memungkinkan masuk dan keluarnya udara untuk resirkulasi udara yang tepat.

Adapun contoh instalasi pemasangan *air valve* dapat dilihat pada Gambar 2.11



**Gambar 2.11** Contoh Instalasi Pemasangan *Air Valve*  
 Sumber : [www.ivlflowcontrol.co.uk](http://www.ivlflowcontrol.co.uk)

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Umum**

Metode penelitian berisi tentang cara dan acuan kerja yang nantinya akan diaplikasikan saat pelaksanaan tugas akhir. Metode ini mencakup seluruh kegiatan dan tahapan yang akan dilaksanakan mulai dari awal hingga akhir perencanaan seperti ide penelitian, identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, evaluasi kondisi *air valve*, dan pembuatan laporan serta kesimpulan dan saran. Dengan adanya metode ini diharapkan dapat menghasilkan penelitian yang baik dan sistematis.

#### **3.2. Kerangka Penelitian**

Metode penelitian perlu disusun sebagai pedoman dalam menjalankan perencanaan dari ide penelitian sampai mencapai tujuan yang diinginkan. Tahapan ini nantinya sebagai alur penelitian yang akan dilakukan agar mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan yang akan dicapai. Tahapan ini dapat dilihat pada skema pada Gambar 3.1

#### **3.3 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian berfungsi untuk memudahkan dalam berfikir dan melakukan perencanaan sesuai dengan tahapan yang telah dibuat. Dengan demikian diharapkan dapat menghasilkan perencanaan yang baik dan terintegrasi. Dalam kerangka perencanaan terdapat beberapa tahapan perencanaan, diantaranya :

##### **1. Ide studi**

Ide penyusunan tugas akhir ini adalah mengevaluasi kondisi *air valve* pada jaringan pipa distribusi PDAM Kota Malang. Penulis menyadari bahwa kerusakan dan ketidakefisienan jaringan pipa seringkali berasal dari kondisi *air valve* yang terkadang kurang diperhatikan.

##### **2. Studi literatur**

Studi literatur merupakan tinjauan pustaka sebagai kegiatan mengumpulkan informasi yang berguna untuk

memahami konsep dalam melakukan kegiatan evaluasi. Sumber literatur yang digunakan berasal dari jurnal penelitian, *textbook* perpipaan, dan *AWWA Manual M51 Standard*. Tinjauan pustaka yang dikaji meliputi konsep pemahan terhadap *air valve* yang kemudian diimplementasikan dalam lokasi penempatan, pemilihan jenis, *sizing* lubang orifice, dan instalasi dari *air valve* itu sendiri.

### 3. Pengumpulan data

Data yang di gunakan dalam evaluasi antara lain:

#### a. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari pihak PDAM Kota Malang maupun sumber yang lain. Data yang di perlukan dari pihak PDAM Kota Malang antara lain:

- Data *as built draw* layout jaringan pipa distribusi yang berisi diameter, debit, dan perlengkapan pipa (terutama *air valve*) yang ada pada masing-masing pipa.

Data diatas akan digunakan sebagai input dalam evaluasi teknis penempatan, jenis, dan perhitungan ukuran lubang pada *air valve*. Sementara data lain yang diperlukan adalah :

- HSPK Kota Malang
- SNI Harga Satuan Kerja
- Katalog asesoris perpipaan
- Katalog *air valve*

Data diatas digunakan sebagai input dalam perhitungan biaya rehabilitasi *air valve* hasil dari evaluasi teknis.

#### b. Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil survei lokasi secara langsung yang kemudian dijadikan sebagai bahan dalam proses evaluasi. Data yang diperlukan dalam kegiatan ini antara lain:

- Pengambilan data koordinat dan elevasi pada beberapa titik sepanjang jalur pipa untuk



membuat profil pipa dan menentukan titik penempatan *air valve*.

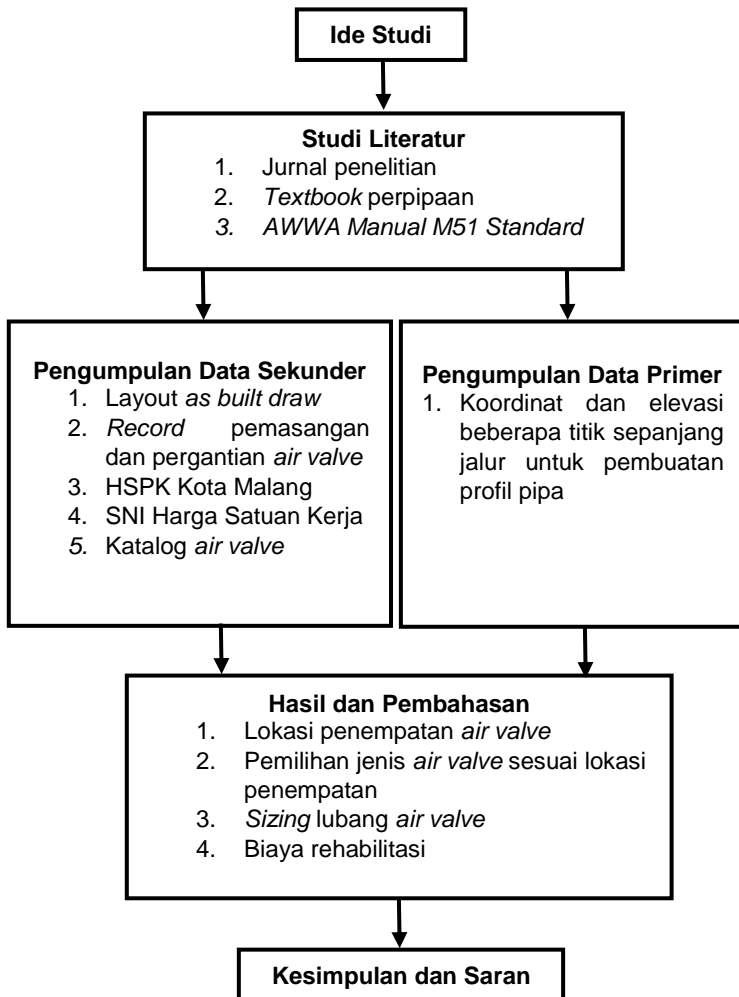
#### **4. Hasil dan Pembahasan**

Hasil evaluasi dan pembahasan pada jaringan pipa distribusi PDAM Kota Malang yang dilakukan meliputi:

- Penempatan *air valve* dengan mengacu pada konsep *AWWA Manual M51 Standard* seperti pada contoh yang tercantum pada sub bab 2.7.2.
- Penggunaan jenis *air valve* sesuai dengan lokasi penempatan mengacu pada konsep *AWWA Manual M51 Standard* seperti pada contoh yang tercantum pada sub bab 2.7.2.
- Ukuran *orifice* pada *air valve* dihitung menggunakan rumus perhitungan sederhana yang terdapat pada *AWWA Manual M51 Standard* seperti pada contoh yang tercantum pada sub bab 2.7.3.
- Perhitungan kebutuhan biaya digunakan dalam menganalisis dalam segi finansial (BOQ dan RAB) dalam rehabilitasi *air valve* pada sistem distribusi PDAM Kota Malang. BOQ dan RAB mengacu pada katalog *air valve*, katalog asesoris perpipaan, SNI Harga Satuan Kerja, dan Harga Satuan Pokok Kerja (HSPK) Kota Malang.

#### **5. Kesimpulan dan saran**

Kesimpulan dibuat setelah melakukan semua proses evaluasi dan kesimpulan ini bertujuan untuk mendapatkan suatu justifikasi singkat, padat, dan jelas yang dapat memberikan gambaran terhadap evaluasi. Saran yang dibuat dalam evaluasi ini bertujuan untuk memberikan masukan pada permasalahan yang berkaitan dengan topik penelitian.



**Gambar 3.1** Diagram Kerangka Perencanaan

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Kondisi Eksisting

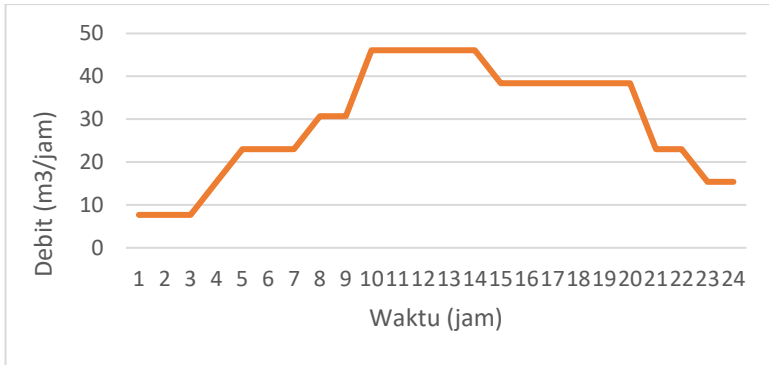
Analisa kondisi eksisting *air valve* meliputi pemilihan jenis, lokasi pemasangan, dan ukuran *orifice* pada jalur pipa. Data-data yang diperlukan diperoleh dari data sekunder dari pihak PDAM Kota Malang, serta data primer yang didapatkan dengan pengambilan data di lapangan. Data sekunder meliputi peta jalur pipa yang akan dilakukan evaluasi beserta informasi data diameter pipa, debit, dan *unit headloss* yang dibutuhkan dalam perhitungan diameter *orifice* dari *air valve*. Sedangkan pengambilan data primer dilakukan berupa koordinat dan elevasi pada beberapa titik sepanjang jalur pipa.

Pemilihan jalur yang akan dievaluasi didasarkan pada kondisi naik turunnya pipa dan tingkat kemiringan pada medan tempat pemasangan pipa. Jalur pipa yang dipilih terdapat 3 jalur pipa yang berada pada Kelurahan Buring dan sekitarnya. Air yang dialirkan berasal dari Sumber Air Baku Wendit III (dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5), dimana jalur yang dievaluasi adalah berwarna merah. Pemasangan *air valve* diprioritaskan pada jalur distribusi utama yang tidak tersambung ke meter pelanggan. Hal ini dikarenakan masih terjadi kemungkinan sirkulasi udara melalui kran-kran pelanggan, sehingga dapat dikatakan sedikit lebih aman. Berikut adalah gambaran jalur pipa yang akan dievaluasi. Terdapat 3 jalur yang akan dievaluasi, yakni:

#### 1. Buring Tengah – BTU

Jalur ini mengalirkan air dari Reservoir Buring Tengah menuju Reservoir BTU secara gravitasi. Adapun informasi datanya adalah sebagai berikut (PDAM Kota Malang, 2019):

- Diameter pipa = 6 in (150 mm)
- Tebal pipa = 3,6 mm
- Unit headloss = 2,91 m/km (*Galvanized Iron Pipe*)
- Debit maksimum = 48,06 m<sup>3</sup>/jam

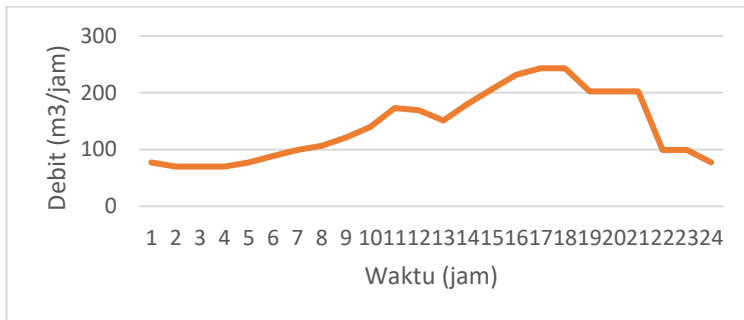


**Gambar 4.1** Fluktuasi Debit Jalur Buring Tengah - BTU  
 Sumber : PDAM Kota Malang, 2019

## 2. Buring Bawah – Sawojajar

Jalur ini mengalirkan air dari Reservoir Buring Bawah menuju PRV Distribusi Sawojajar secara gravitasi. Adapun informasi datanya adalah sebagai berikut (PDAM Kota Malang, 2019):

- Diameter pipa = 12 in (300 mm)
- Tebal pipa = 5 mm
- Unit headloss = 2,48 m/km (*Galvanized Iron Pipe*)
- Debit maksimum = 243,06 m<sup>3</sup>/jam

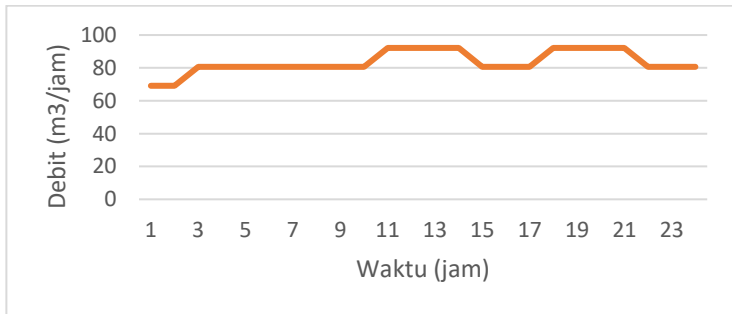


**Gambar 4.2** Fluktuasi Debit Jalur Buring Bawah - Sawojajar  
 Sumber : PDAM Kota Malang, 2019

#### 4. Buring Atas – Jabal Nur

Jalur ini mengalirkan air dari Reservoir Buring Tengah menuju Reservoir BTU secara gravitasi. Adapun informasi datanya adalah sebagai berikut (PDAM Kota Malang, 2019):

- Diameter pipa = 6 in (150 mm)
- Tebal pipa = 3,6 mm
- Unit headloss = 10,48 m/km (*Galvanized Iron Pipe*)
- Debit maksimum = 92,16 m<sup>3</sup>/jam

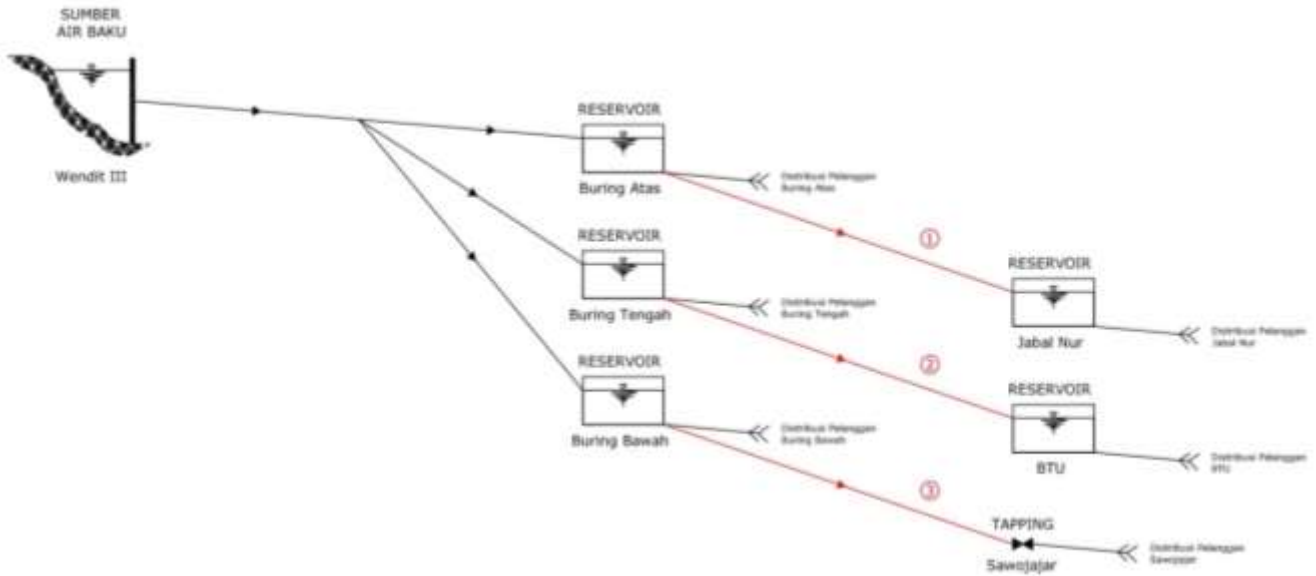


**Gambar 4.3** Fluktuasi Debit Jalur Buring Atas – Jabal Nur  
Sumber : PDAM Kota Malang, 2019

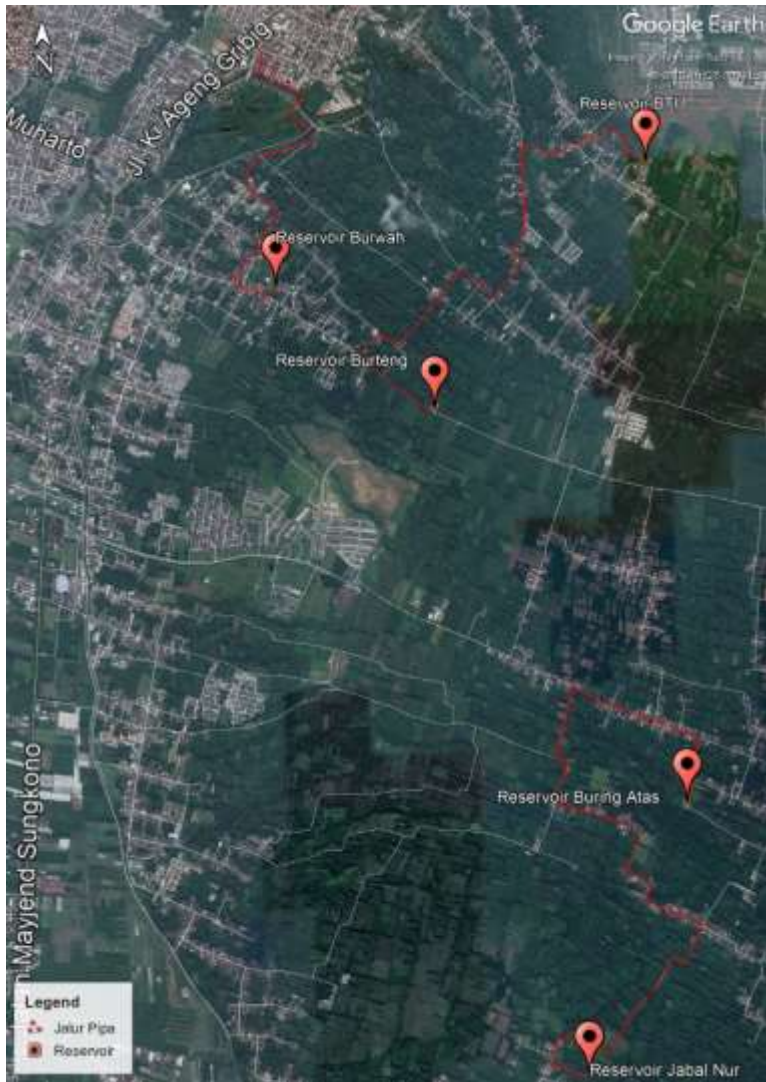
Data di lapangan menunjukkan bahwa terdapat beberapa *air valve* yang sudah terpasang pada jalur yang akan dievaluasi. Data lengkap *air valve* terpasang dapat dilihat pada Tabel 4.1. *Air valve* eksisting dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan posisinya pada masing-masing jalur dapat dilihat pada Lampiran A (Nomor Gambar 1 sampai dengan Nomor Gambar 4).

**Tabel 4.1** *Air Valve* Terpasang Masing-masing Jalur

Jalur	<i>Air Valve</i> Terpasang	D Orifice (in)		Jumlah
		Small	Large	
Buring Tengah – BTU	Combination Valve	3/32	2	3 buah
Buring Bawah – Sawojajar	Combination Valve	1/8	3	3 buah
Buring Atas - Jabal Nur	Combination Valve	3/32	2	1 buah



**Gambar 4.4** Diagram Alir Jalur Pipa  
 Sumber: PDAM Kota Malang, 2019



**Gambar 4.5** Peta Satelit Jalur Pipa  
Sumber: *Google Earth*



**Gambar 4.6** Air Valve Eksisting

Dari kondisi eksisting tersebut akan dilakukan evaluasi untuk mengetahui kesesuaian *air valve* eksisting dengan *AWWA Manual M51 Standard*. Penting dilakukan evaluasi untuk meminimalisasikan terjadinya kondisi yang tidak diinginkan, diantaranya:

- Pengurangan kapasitas aliran, karena udara bergerak melawan aliran air serta dapat mengurangi luas penampang dari pipa.
- Pengukuran dan pembacaan meter yang salah disebabkan keberadaan udara yang berlebihan.
- Pada operasi normal udara akan terakumulasi pada beberapa titik hingga volume tertentu dapat menyebabkan gelombang atau fluktuasi tekanan yang tinggi, sehingga menyebabkan getaran atau hentakan pada sistem yang dapat berakibat lepasnya sambungan pada pipa.
- Kondisi vakum akibat pengurusan pipa.
- Getaran pada saat pengisian awal pipa.

#### **4.1.1 Koordinat dan Elevasi Jalur Pipa**

Pengumpulan data koordinat dilakukan langsung di lapangan dengan menggunakan aplikasi GPS (*Global Positioning System*) yang bernama "*measure maps*" yang terdapat pada *smartphone*. Koordinat dan elevasi diambil pada beberapa node sepanjang pipa yang sudah ditandai. Node adalah titik dimana terdapat belokan dan atau perubahan *slope* (kemiringan) pada pipa. Proses pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4.7





**Gambar 4.7** Proses Pengambilan Data Koordinat dan Elevasi

Pengambilan data dilakukan dengan cara memposisikan *smartphone* tepat node yang sudah ditentukan kemudian node ditandai sebagai titik dari sebuah belokan dan atau perubahan *slope* pada pipa. Setelah semua node pada jalur pipa selesai ditandai, akan muncul data-data yang meliputi data koordinat, elevasi, dan jarak antar node secara berurutan. Pengukuran elevasi pada pada masing-masing node akan dijadikan *input* dalam pembuatan gambar profil pipa nantinya. Data lengkap hasil pengambilan koordinat dan elevasi dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.4

**Tabel 4.2** Data Koordinat dan Elevasi Jalur Buring Tengah – BTU

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	m
1	8° 0' 19"	112° 39' 41"	558.92
2	8° 0' 18"	112° 39' 39"	554.64
3	8° 0' 12"	112° 39' 32"	536.78
4	8° 0' 11"	112° 39' 30"	534.54

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	m
5	8° 0' 10"	112° 39' 29"	531.99
6	8° 0' 9"	112° 39' 30"	537.04
7	8° 0' 7"	112° 39' 32"	535.96
8	8° 0' 6"	112° 39' 32"	529.91
9	8° 0' 7"	112° 39' 34"	534.95
10	8° 0' 8"	112° 39' 35"	536.15
11	8° 0' 7"	112° 39' 36"	535.50
12	8° 0' 5"	112° 39' 39"	539.94
13	8° 0' 0"	112° 39' 42"	542.91
14	8° 0' 0"	112° 39' 42"	542.53
15	7° 59' 56"	112° 39' 45"	541.74
16	7° 59' 55"	112° 39' 46"	540.96
17	7° 59' 58"	112° 39' 48"	546.18
18	7° 59' 59"	112° 39' 50"	550.29
19	8° 0' 0"	112° 39' 51"	553.67
20	7° 59' 57"	112° 39' 54"	552.39
21	7° 59' 55"	112° 39' 56"	547.54
22	7° 59' 53"	112° 39' 54"	545.02
23	7° 59' 50"	112° 39' 56"	541.65
24	7° 59' 47"	112° 39' 57"	537.45
25	7° 59' 35"	112° 39' 56"	517.23
26	7° 59' 35"	112° 39' 59"	520.98
27	7° 59' 37"	112° 40' 1"	528.91
28	7° 59' 35"	112° 40' 5"	529.18
29	7° 59' 35"	112° 40' 6"	531.00
30	7° 59' 34"	112° 40' 7"	529.53

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	m
31	7° 59' 34"	112° 40' 8"	532.02
32	7° 59' 31"	112° 40' 13"	527.23
33	7° 59' 33"	112° 40' 16"	534.15
34	7° 59' 36"	112° 40' 13"	537.75
35	7° 59' 38"	112° 40' 17"	543.49

Head Statis = Elevasi Awal – Elevasi Akhir  
= 558,92 m – 543,49 m  
= 15,43 m

**Tabel 4.3** Data Koordinat dan Elevasi Jalur Buring Bawah – Sawojajar

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	m
1	7° 59' 57"	112° 39' 15"	492.84
2	8° 0' 0"	112° 39' 14"	489.00
3	7° 59' 59"	112° 39' 11"	478.66
4	7° 59' 57"	112° 39' 8"	467.95
5	7° 59' 54"	112° 39' 10"	474.14
6	7° 59' 53"	112° 39' 11"	475.47
7	7° 59' 52"	112° 39' 12"	475.01
8	7° 59' 51"	112° 39' 13"	473.42
9	7° 59' 51"	112° 39' 12"	470.57
10	7° 59' 50"	112° 39' 13"	472.41
11	7° 59' 49"	112° 39' 14"	472.31
12	7° 59' 45"	112° 39' 16"	467.85
13	7° 59' 43"	112° 39' 13"	454.56
14	7° 59' 42"	112° 39' 12"	447.91
15	7° 59' 41"	112° 39' 11"	444.33

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	m
16	7° 59' 38"	112° 39' 11"	439.17
17	7° 59' 36"	112° 39' 13"	436.99
18	7° 59' 35"	112° 39' 16"	439.02
19	7° 59' 33"	112° 39' 21"	437.34
20	7° 59' 32"	112° 39' 21"	435.62
21	7° 59' 29"	112° 39' 18"	431.54
22	7° 59' 28"	112° 39' 19"	432.42
23	7° 59' 27"	112° 39' 20"	432.92
24	7° 59' 25"	112° 39' 19"	433.11
25	7° 59' 23"	112° 39' 16"	433.91
26	7° 59' 22"	112° 39' 13"	435.01
27	7° 59' 20"	112° 39' 13"	435.93
28	7° 59' 18"	112° 39' 13"	436.83
29	7° 59' 16"	112° 39' 11"	434.29
30	7° 59' 16"	112° 39' 12"	434.22

Head Statis = Elevasi Awal – Elevasi Akhir  
= 492,84 m – 434,22 m  
= 58,62 m

**Tabel 4.4** Data Koordinat dan Elevasi Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	M
1	8° 1' 22"	112° 40' 20"	628.20
2	8° 1' 21"	112° 40' 21"	629.04
3	8° 1' 18"	112° 40' 21"	626.48
4	8° 1' 12"	112° 40' 22"	622.84
5	8° 1' 10"	112° 40' 16"	622.95
6	8° 1' 8"	112° 40' 12"	622.42

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	M
7	8° 1' 6"	112° 40' 7"	611.83
8	8° 1' 4"	112° 40' 23"	602.23
9	8° 1' 10"	112° 40' 1"	592.80
10	8° 1' 15"	112° 59' 39"	580.93
11	8° 1' 16"	112° 40' 21"	581.54
12	8° 1' 19"	112° 40' 0"	577.35
13	8° 1' 22"	112° 59' 39"	577.11
14	8° 1' 24"	112° 40' 6"	576.28
15	8° 1' 26"	112° 40' 11"	576.68
16	8° 1' 28"	112° 40' 13"	577.39
17	8° 1' 33"	112° 40' 11"	571.99
18	8° 1' 35"	112° 40' 14"	575.01
19	8° 1' 37"	112° 40' 13"	575.91
20	8° 1' 40"	112° 40' 19"	576.98
21	8° 1' 42"	112° 40' 22"	577.71
22	8° 1' 46"	112° 40' 20"	579.02
23	8° 1' 47"	112° 40' 19"	575.45
24	8° 1' 47"	112° 40' 18"	572.23
25	8° 1' 51"	112° 40' 14"	555.36
26	8° 1' 52"	112° 40' 13"	550.36
27	8° 1' 57"	112° 40' 9"	525.44
28	8° 1' 59"	112° 40' 8"	515.66
29	8° 1' 1"	112° 40' 7"	506.50
30	8° 1' 0"	112° 40' 2"	499.20
31	8° 1' 58"	112° 40' 0"	493.97
32	8° 2' 1"	112° 39' 59"	489.52
33	8° 2' 5"	112° 39' 58"	486.71

Node	Koordinat		Elevasi Medan
	S	E	M
34	8° 2' 5"	112° 39' 56"	476.91
35	8° 2' 6"	112° 39' 58"	479.76
36	8° 2' 8"	112° 40' 3"	484.19
37	8° 2' 5"	112° 40' 4"	492.82

Head Statis = Elevasi Awal – Elevasi Akhir  
= 628,20 m – 492,82 m  
= 135,38 m

Simbol S pada hasil pembacaan menunjukkan posisi koordinat lintang, sementara simbol E menunjukkan posisi koordinat bujur. Data elevasi yang terbaca dalam satuan meter atau meter di atas permukaan laut (mdpl).

Masing-masing node dihubungkan secara berurutan untuk mengetahui jarak antar node, sehingga dapat membentuk segmen-segmen naik turunnya jalur pipa. Segmen-segmen ini akan divisualisasikan berupa profil pipa berdasarkan naik turunnya jalur dan *slope* pada pipa. *Slope* pada pipa dihitung dengan cara selisih elevasi pada node-node yang berhubungan dibagi dengan panjang segmen. Dengan terbentuknya profil pada jalur pipa, akan mempermudah penentuan titik-titik tempat pemasangan air valve pada proses berikutnya. Data lengkap segmentasi jalur pipa dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai dengan Tabel 4.7

**Tabel 4.5** Data Segmen Jalur Buring Tengah – BTU

Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
1 - 2	90.70	4.28	0.047	Turun
2 - 3	275.51	17.86	0.065	Turun
3 - 4	64.26	2.24	0.035	Turun
4 - 5	53.79	2.55	0.047	Turun
5 - 6	38.47	5.05	0.131	Naik

Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
6 - 7	84.11	1.08	0.013	Turun
7 - 8	35.92	6.05	0.168	Turun
8 - 9	71.17	5.04	0.071	Naik
9 - 10	31.82	1.2	0.038	Naik
10 - 11	52.50	0.65	0.012	Turun
11 - 12	101.70	4.44	0.044	Naik
12 - 13	180.91	2.97	0.016	Turun
13 - 14	10.08	0.38	0.038	Turun
14 - 15	140.47	0.79	0.006	Turun
15 - 16	37.33	0.78	0.021	Turun
16 - 17	95.08	5.22	0.055	Naik
17 - 18	64.68	4.11	0.064	Naik
18 - 19	66.62	3.38	0.051	Naik
19 - 20	134.94	1.28	0.009	Turun
20 - 21	107.15	4.85	0.045	Turun
21 - 22	72.98	2.52	0.035	Turun
22 - 23	99.04	3.37	0.034	Turun
23 - 24	88.42	4.2	0.048	Turun
24 - 25	393.05	20.22	0.051	Turun
25 - 26	97.06	3.75	0.039	Naik
26 - 27	92.93	7.93	0.085	Naik
27 - 28	126.19	0.27	0.002	Naik
28 - 29	34.83	1.82	0.052	Naik
29 - 30	70.64	1.47	0.021	Turun
30 - 31	45.55	2.49	0.055	Naik
31 - 32	74.08	4.79	0.065	Turun
32 - 33	116.80	6.92	0.059	Naik

Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
33 - 34	116.89	3.6	0.031	Naik
34 - 35	132.12	5.74	0.043	Naik

Total panjang jalur = 3297.79 m  
= 3.30 km

**Tabel 4.6** Data Segmen Jalur Buring Bawah – Sawojajar

Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
1 - 2	75.17	3.84	0.051	Turun
2 - 3	95.07	10.34	0.109	Turun
3 - 4	101.48	10.71	0.106	Turun
4 - 5	110.03	6.19	0.056	Naik
5 - 6	46.59	1.33	0.029	Naik
6 - 7	43.08	0.46	0.011	Turun
7 - 8	42.39	1.59	0.038	Turun
8 - 9	27.07	2.85	0.105	Turun
9 - 10	17.67	1.84	0.104	Naik
10 - 11	61.55	0.10	0.002	Naik
11 - 12	113.06	4.46	0.039	Turun
12 - 13	107.03	13.29	0.124	Turun
13 - 14	60.11	6.65	0.111	Turun
14 - 15	38.33	3.58	0.093	Turun
15 - 16	98.73	5.16	0.052	Turun
16 - 17	81.13	2.18	0.027	Turun
17 - 18	109.84	2.03	0.018	Naik
18 - 19	171.98	1.68	0.010	Turun
19 - 20	26.62	1.72	0.065	Turun



Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
20 - 21	139.25	4.08	0.029	Turun
21 - 22	44.04	0.88	0.020	Naik
22 - 23	58.30	0.50	0.009	Naik
23 - 24	57.59	0.19	0.003	Naik
24 - 25	118.70	0.80	0.007	Naik
25 - 26	99.26	1.10	0.011	Naik
26 - 27	42.18	0.92	0.022	Naik
27 - 28	67.95	0.90	0.013	Naik
28 - 29	91.53	2.54	0.028	Turun
29 - 30	13.26	0.07	0.005	Turun

Total panjang jalur = 2158,99 m  
= 2,16 km

**Tabel 4.7** Data Segmen Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
1 - 2	57.26	0.84	0.015	Naik
2 - 3	76.36	2.56	0.034	Turun
3 - 4	188.23	3.64	0.019	Turun
4 - 5	209.79	0.11	0.001	Naik
5 - 6	147.57	0.53	0.004	Turun
6 - 7	162.40	10.59	0.065	Turun
7 - 8	142.76	9.60	0.067	Turun
8 - 9	186.18	9.43	0.051	Turun
9 - 10	183.85	11.87	0.065	Turun
10 - 11	64.12	0.61	0.010	Naik
11 - 12	110.49	4.19	0.038	Turun

Pipa	Panjang	Beda Elevasi	Slope	Keterangan
	m	m		
12 - 13	93.16	0.24	0.003	Turun
13 - 14	226.08	0.83	0.004	Turun
14 - 15	167.31	0.40	0.002	Turun
15 - 16	57.88	0.71	0.012	Naik
16 - 17	160.42	5.40	0.034	Turun
17 - 18	135.38	3.02	0.022	Naik
18 - 19	70.90	0.90	0.013	Naik
19 - 20	198.87	1.07	0.005	Naik
20 - 21	103.48	0.73	0.007	Naik
21 - 22	146.83	1.31	0.009	Naik
22 - 23	53.88	3.57	0.066	Turun
23 - 24	53.74	3.22	0.060	Turun
24 - 25	175.52	16.87	0.096	Turun
25 - 26	43.20	5.00	0.116	Turun
26 - 27	202.18	24.92	0.123	Turun
27 - 28	73.69	9.78	0.133	Turun
28 - 29	69.56	9.16	0.132	Turun
29 - 30	147.32	7.30	0.050	Turun
30 - 31	88.59	5.23	0.059	Turun
31 - 32	38.70	4.45	0.115	Turun
32 - 33	61.20	2.81	0.046	Turun
33 - 34	130.76	9.80	0.075	Turun
34 - 35	69.44	2.85	0.041	Naik
35 - 36	151.95	4.43	0.029	Naik
36 - 37	93.53	8.63	0.092	Naik

Total panjang jalur = 4342,58 m  
= 4,34 km

#### **4.1.2 Analisa Debit Menggunakan WaterCAD**

Debit menjadi salah satu indikasi akibat keberadaan udara, dimana udara di dalam pipa sendiri dapat mengurangi efektivitas kapasitas pengaliran. Dalam analisa ini akan dilakukan perbandingan antara kapasitas ideal atau kemampuan debit yang dapat dialirkan oleh sistem perpipaan (debit simulasi) dengan debit pada kondisi eksisting yang tercatat pada *flow meter*. Debit yang dapat dialirkan melalui sistem gravitasi dari suatu reservoir menuju suatu titik dapat disimulasikan pada *software WaterCAD*. Data *input* teknis yang dimasukkan sama dengan kondisi eksisting, yaitu diameter pipa, jenis pipa, elevasi setiap node dan panjang setiap segmen pipa. Data tersebut akan mempengaruhi jumlah debit yang dapat dialirkan, kecepatan aliran, dan *unit headloss* pada proses simulasi ini. Proses simulasi diilustrasikan pada Gambar 4.8

Perbedaan debit hasil simulasi dengan debit eksisting mengindikasikan adanya suatu permasalahan. Permasalahan tersebut biasanya disebabkan oleh:

- 1. Pembacaan meter yang tidak akurat**

Mekanisme pengukur debit biasanya digerakkan oleh baling-baling di dalam *flow meter*. Baling-baling ini sangat peka terhadap aliran yang melewatinya. Semakin lama seiring dengan usia *flow meter* akan aus, sehingga sensitivitas pendeteksian alirannya akan semakin berkurang. Hal ini menyebabkan meter air mencatat lebih rendah dari aliran semestinya.

- 2. Sambungan dan aksesoris pipa**

Kehilangan energi pada air selain diakibatkan oleh gesekan air dengan lapisan dalam pipa (*friction losses*), juga disebabkan oleh aksesoris dan sambungan sepanjang pipa (*minor losses*). Pada jalur pipa panjang dengan sedikit belokan, *minor losses* mungkin dapat diabaikan. Namun pada jalur pipa pendek dengan jumlah belokan banyak, *minor losses* akan berpengaruh cukup *significant*. Sementara penggunaan *Software "WaterCAD"* tidak mendeteksi *minor losses* akibat sambungan pipa eksisting,

sehingga aliran mengalami telah banyak banyak kehilangan energi akibat sambungan yang tak terdeteksi.

### 3. Udara dalam pipa

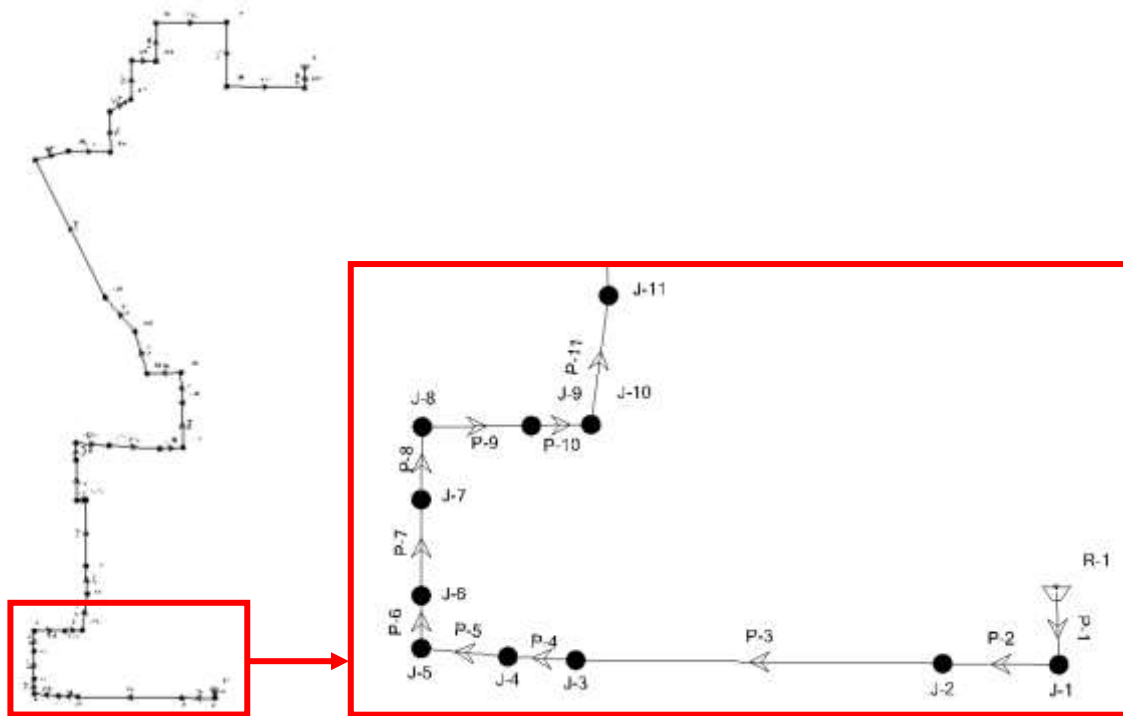
Sejumlah udara yang terbawa ke dalam sistem perpipaan akan terakumulasi pada beberapa titik di sepanjang pipa. Kantong-kantong udara ini akan membuat tahanan yang akan menghambat laju aliran di dalam pipa dan memperkecil luas penampang pada pipa. Dalam persamaan umum laju aliran dan luas penampang berbanding lurus dengan debit, sehingga dalam kasus ini juga mengurangi debit yang dapat dialirkan oleh sistem perpipaan. Dalam kasus ini pemasangan *air valve* menjadi faktor yang sangat penting.

Hasil *running* menunjukkan adanya perbedaan antara debit kondisi eksisting dan debit hasil simulasi *WaterCAD*. Data perbedaan debit masing-masing jalur dilihat Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Data Analisa Debit

Jalur	Diameter Pipa	Head Statis	Debit Maks Eksisting	Debit Simulasi	Selisih Debit
	in	m	m <sup>3</sup> /jam	m <sup>3</sup> /jam	m <sup>3</sup> /jam
Buring Tengah – BTU	6	15.43	48.06	52.79	4.73
Buring Bawah – Sawojajar	12	58.62	243.06	689.26	446.20
Buring Atas - Jabal Nur	6	135.38	103.68	133.95	30.27

Berdasarkan hasil di atas dapat diketahui bahwa pada jalur Buring Bawah - Sawojajar memiliki perbedaan debit yang cukup besar. Hal ini dikarenakan ujung dari jalur tersebut bukanlah suatu reservoir, melainkan pipa *tapping* yang melayani Zona Sawojajar. Sehingga debit eksisting yang dialirkan adalah debit berdasarkan pemakaian air pada zona yang dilayani.



Gambar 4.8 Analisa Menggunakan *WaterCAD*

### 4.1.3 Titik Pemasangan Air Valve

Lokasi pemasangan dan penentuan jenis *air valve* menjadi hal yang sangat penting dalam jalur pipa agar *air valve* dapat bekerja secara efektif, dengan cara mengidentifikasi lokasi dimana udara harus masuk dan keluar sistem perpipaan. Penentuan lokasi dan jenis mengacu pada rekomendasi *AWWA Manual M51 Standard* yang terdapat pada sub bab 2.7.2. Penentuan titik penempatan *air valve* dapat dilakukan setelah profil pipa dibuat melalui data elevasi dan segmen naik turunnya pipa. Data lengkap titik pemasangan pipa dapat dilihat pada Tabel 4.9 sampai dengan Tabel 4.11

**Tabel 4.9** Rencana Pemasangan Jalur Buring Tengah – BTU

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Keterangan	Status
1	Segmen 2-3	Combination Valve	Jalur turun panjang	Belum terpasang
2	Node 6	Combination Valve	Titik tertinggi	Terpasang, lokasi tidak tepat
3	Node 10	Combination Valve	Titik tertinggi	Terpasang, lokasi tidak tepat
4	Node 12	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
5	Node 19	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
6	Node 23	Combination Valve	Jalur turun panjang	Belum terpasang
7	Segmen 25-26	Combination Valve	Jembatan Pipa	Terpasang
8	Node 27	Air Vacuum Valve	Penurunan upslope	Belum terpasang
9	Node 29	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
10	Node 31	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
11	Node 35	Air Vacuum Valve	Penurunan upslope	Belum terpasang

**Tabel 4.10** Rencana Pemasangan Jalur Buring Bawah – Sawojajar

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Keterangan	Status
1	Node 2	Combination Valve	Peningkatan downslope	Belum terpasang
2	Node 6	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
3	Node 11	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
4	Node 12	Combination Valve	Peningkatan downslope	Terpasang, lokasi tidak tepat
5	Node 18	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
6	Segmen 19-20	Combination Valve	Jembatan Pipa	Terpasang
7	Segmen 22-23	Combination Valve	Jembatan Pipa	Terpasang
8	Node 28	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang

**Tabel 4.11** Rencana Pemasangan Jalur Buring Atas – Jabal Nur

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Keterangan	Status
1	Node 3	Combination Valve	Peningkatan downslope	Belum terpasang
2	Node 6	Combination Valve	Peningkatan downslope	Terpasang
3	Node 8	Combination Valve	Jalur turun panjang	Belum terpasang
4	Node 11	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
5	Node 16	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang
6	Node 19	Air Vacuum Valve	Jalur naik panjang	Belum terpasang
7	Node 21	Combination Valve	Titik tertinggi	Belum terpasang

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Keterangan	Status
8	Node 25	Combination Valve	Peningkatan downslope	Belum terpasang
9	Node 27	Combination Valve	Jalur turun panjang	Belum terpasang
10	Node 31	Combination Valve	Peningkatan downslope	Belum terpasang
11	Node 37	Air Vacuum Valve	Penurunan upslope	Belum terpasang

Posisi *air valve* pada masing-masing jalur yang sesuai dengan *AWWA Manual M51 Standard* dapat dilihat pada Lampiran B (Nomor Gambar 5 sampai dengan Nomor Gambar 8)

#### 4.1.4 Diameter Orifice

Perhitungan diameter *orifice* menggunakan metodologi umum berdasarkan formula, grafik, dan tabel yang terdapat dalam *AWWA Manual M51 Standard*. Perhitungan didasarkan pada jenis atau fungsi dari *air valve* yang terpasang pada masing-masing titik untuk masing jalur. Perhitungan diameter dilakukan sesuai dengan langkah-langkah yang terdapat pada sub bab 2.7.3

#### 4.4.2.1 Releasing Valve

Proses *realising* terjadi pada *air valve* berjenis *air releasing valve* dan *combination valve*. Proses *realising* adalah proses pelepasan sejumlah kecil udara yang terperangkap di dalam pipa melalui *small orifice* dari *air valve* yang terpasang. Berikut adalah contoh perhitungan dari proses releasing valve

#### Jalur Buring Tengah – BTU

*Contoh perhitungan (Segmen 2-3):*

Diketahui:

Q pipa = 46,08 m<sup>3</sup>/jam  
D pipa = 6 inchi  
Unit headloss = 2,91 m/km  
= 2,91 m/1000m



Perhitungan :

1. Mengkonversi debit pipa ke dalam satuan cfm (*cubic feet per minute*)

$$\begin{aligned} Q \text{ pipa} &= Q \text{ pipa (m}^3/\text{jam)} \times \text{Faktor konversi} \\ &= 46,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 35,3147 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \times 0,0167 \\ &\quad \text{jam/menit} \\ &= 27,12 \text{ cfm} \end{aligned}$$

2. Menghitung debit udara dalam satuan scfm (*standard cubic feet per minute*)

$$\begin{aligned} Q \text{ udara} &= 0,02 \times Q \text{ pipa} \\ &= 0,02 \times 27,12 \text{ cfm} \\ &= 0,54 \text{ scfm} \end{aligned}$$

3. Menentukan tekanan kerja (*head*) pada titik pemasangan air valve dalam satuan psi (*pound per square inch*)

$$\begin{aligned} \sum \text{ Panjang} &= \text{Panjang total pipa dari titik awal (inlet) hingga} \\ &\quad \text{titik pemasangan air release valve} \\ &= 228,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum H_f &= \sum \text{ Panjang} \times H_f \text{ pipa} \\ &= 228,5 \text{ m} \times 2,91 \text{ m}/1000\text{m} \\ &= 0,66 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head} &= \text{Elevasi Awal} - \text{Elevasi Titik} - H_f \\ &= 558,92 \text{ m} - 553,67 \text{ m} - 0,66 \text{ m} \\ &= 12,55 \text{ m} \end{aligned}$$

Head dikonversi dalam satuan psi:

$$\begin{aligned} \text{Head} &= \text{Head (m)} \times \text{Faktor konversi} \\ &= 12,94 \text{ m} \times 3,281 \text{ ft/m} \times 0,433 \text{ psi/ft} \\ &= 17,83 \text{ psi} \end{aligned}$$

4. Memplotkan tekanan kerja dan debit udara pada Tabel 4.12 untuk mencari diameter *orifice* yang dibutuhkan. Pilih diameter yang memenuhi tekanan kerja dan debit udara.

Dengan debit udara 0,54 scfm dan tekanan kerja 17,83 dipilih diameter *orifice* 1/16 inchi yang mempunyai kapasitas pelepasan udara 1,6 scfm pada tekanan kerja 25 psi

**Tabel 4.12** Contoh Pemilihan Diameter *Small Orifice* pada Jalur Buring Tengah - BTU

Pressure (psi)	Orifice Diameter, In.									
	1/16	1/32	1/16	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	1
25	3.5	6.3	14.2	20.2	39.4	56.7	77.1	100	400	
50	2.6	5.8	10.3	23.1	41.0	64.1	92.3	126	164	656
75	3.6	8.0	14.2	32.0	56.9	88.9	128	174	228	910
100	4.5	10.2	18.2	40.9	72.8	114	164	223	291	1,160
125	5.5	12.5	22.2	49.8	88.6	138	199	271	354	1,420
150	6.5	14.7	26.1	58.5	104	163	235	320	418	1,610
175	7.5	16.9	30.1	67.7	120	188	271	369	481	1,920
200	8.5	19.2	34.1	76.6	136	213	306	417	545	2,180
225	9.5	21.4	38.0	85.5	152	238	342	465	608	2,430
250	10.5	23.6	42.0	94.5	168	262	378	514	672	2,690
275	11.5	25.8	45.9	103	184	287	414	563	735	2,940
300	12.5	28.1	49.9	112	200	312	449	611	799	3,200

- Dilakukan pengecekan kapasitas udara yang dapat dikeluarkan oleh air valve terpilih berdasarkan tekanan kerja.

Karena tekanan kerja berbanding lurus dengan kapasitas udara yang akan dilepaskan *air release valve*, sementara tekanan kerja pada titik tersebut < 25 psi (tidak tercantum pada tabel), maka harus dilakukan pengecekan kapasitas udara pada diameter orifice dengan tekanan kerja 17,83 psi dengan rumus perbandingan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q \text{ udara cek} &= (Q \text{ udara pada tekanan kerja } 25 \text{ psi} / 25 \text{ psi}) \times \\
 &\quad \text{tekanan kerja eksisting} \\
 &= (1,6 \text{ scfm} / 25 \text{ psi}) \times 17,83 \text{ psi} \\
 &= 1,14 \text{ scfm} (\geq 0,54 \text{ scfm, memenuhi})
 \end{aligned}$$

Ketika Q udara cek < Q udara yang dibutuhkan, maka diameter orifice harus diperbesar dan dilakukan pengecekan ulang sampai kapasitas udaranya memenuhi.

### Jalur Buring Bawah-Sawojajar

*Contoh perhitungan (Node 2):*

Diketahui:

Q pipa = 243,06 m<sup>3</sup>/jam

D pipa = 12 inchi

$$\begin{aligned}\text{Unit headloss} &= 2,48 \text{ m/km} \\ &= 2,48 \text{ m/1000m}\end{aligned}$$

Perhitungan :

1. Mengkonversi debit pipa ke dalam satuan cfm (*cubic feet per minute*)

$$\begin{aligned}\text{Q pipa} &= \text{Q pipa (m}^3\text{/jam)} \times \text{Faktor konversi} \\ &= 243,06 \text{ m}^3\text{/jam} \times 35,3147 \text{ ft}^3\text{/m}^3 \times 0,0167 \\ &\quad \text{jam/menit} \\ &= 143,07 \text{ cfm}\end{aligned}$$

2. Menghitung debit udara dalam satuan scfm (*standard cubic feet per minute*)

$$\begin{aligned}\text{Q udara} &= 0,02 \times \text{Q pipa} \\ &= 0,02 \times 143,07 \text{ cfm} \\ &= 2,86 \text{ scfm}\end{aligned}$$

3. Menentukan tekanan kerja (*head*) pada titik pemasangan air valve dalam satuan psi (*pound per square inch*)

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ Panjang} &= \text{Panjang total pipa dari titik awal (inlet) hingga} \\ &\quad \text{titik pemasangan air release valve} \\ &= 75,17 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ Hf} &= \Sigma \text{ Panjang} \times \text{Hf pipa} \\ &= 75,17 \text{ m} \times 2,48 \text{ m/1000m} \\ &= 0,19 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Head} &= \text{Elevasi Awal} - \text{Elevasi Titik} - \text{Hf} \\ &= 492,84 \text{ m} - 489,00 \text{ m} - 0,19 \text{ m} \\ &= 3,65 \text{ m}\end{aligned}$$

Head dikonversi dalam satuan psi:

$$\begin{aligned}\text{Head} &= \text{Head (m)} \times \text{Faktor konversi} \\ &= 3,65 \text{ m} \times 3,281 \text{ ft/m} \times 0,433 \text{ psi/ft} \\ &= 5,19 \text{ psi}\end{aligned}$$

4. Memplotkan tekanan kerja dan debit udara pada Tabel 4.13 untuk mencari diameter *orifice* yang dibutuhkan. Pilih diameter yang memenuhi tekanan kerja dan debit udara.

Dengan debit udara 2,86 scfm dan tekanan kerja 3,65 psi dipilih diameter *orifice* 3/32 inchi yang mempunyai kapasitas pelepasan udara 3,5 scfm pada tekanan kerja 25 psi

**Tabel 4.13** Contoh Pemilihan Diameter *Small Orifice* pada Jalur Buring Bawah – Sawojajar

Pressure (psi)	Orifice Diameter, in.									
	1/16	1/32	1/16	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	1
25	1.1	3.5	6.3	14.2	23.2	39.4	56.7	77.1	100	400
50	2.6	5.8	10.3	23.1	41.0	64.1	92.3	126	164	656
75	3.6	8.0	14.2	32.0	56.9	88.9	128	174	228	910
100	4.5	10.2	18.2	40.9	72.8	114	164	223	291	1,160
125	5.5	12.6	22.2	49.8	88.6	138	199	271	354	1,420
150	6.5	14.7	26.1	58.5	104	163	235	320	418	1,610
175	7.5	16.9	30.1	67.7	120	188	271	369	481	1,920
200	8.5	19.2	34.1	76.6	136	213	306	417	545	2,180
225	9.5	21.4	38.0	85.5	152	238	342	466	608	2,430
250	10.5	23.6	42.0	94.5	168	262	378	514	672	2,690
275	11.5	25.8	45.9	103	184	287	414	563	735	2,940
300	12.5	28.1	49.9	112	200	312	449	611	799	3,200

- Dilakukan pengecekan kapasitas udara yang dapat dikeluarkan oleh *air valve* terpilih berdasarkan tekanan kerja.

Karena tekanan kerja berbanding lurus dengan kapasitas udara yang akan dilepaskan *air release valve*, sementara tekanan kerja pada titik tersebut < 25 psi (tidak tercantum pada tabel), maka harus dilakukan pengecekan kapasitas udara pada diameter *orifice* dengan tekanan kerja 3,65 psi dengan rumus perbandingan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q \text{ udara cek} &= (Q \text{ udara pada tekanan kerja } 25 \text{ psi} / 25 \text{ psi}) \times \\
 &\quad \text{tekanan kerja eksisting} \\
 &= (3,5 \text{ scfm} / 25 \text{ psi}) \times 3,65 \text{ psi} \\
 &= 0,51 \text{ scfm} (\leq 2,86 \text{ scfm, tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Ketika Q udara cek < Q udara yang dibutuhkan, maka diameter *orifice* harus diperbesar dan dilakukan pengecekan ulang sampai kapasitas udaranya memenuhi.

Dipilih diameter *orifice* 3/16 inchi yang mempunyai kapasitas pelepasan udara 14,2 scfm pada tekanan kerja 25 psi

$$\begin{aligned}
 Q \text{ udara cek} &= (Q \text{ udara pada tekanan kerja } 25 \text{ psi} / 25 \text{ psi}) \times \\
 &\quad \text{tekanan kerja eksisting} \\
 &= (14,2 \text{ scfm} / 25 \text{ psi}) \times 3,65 \text{ psi} \\
 &= 2,95 \text{ scfm} (\geq 2,86 \text{ scfm, memenuhi})
 \end{aligned}$$

## Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Contoh perhitungan (Node 3):

Diketahui:

$$\begin{aligned} Q \text{ pipa} &= 123,68 \text{ m}^3/\text{jam} \\ D \text{ pipa} &= 8 \text{ inchi} \\ \text{Unit headloss} &= 4,71 \text{ m/km} \\ &= 4,71 \text{ m/1000m} \end{aligned}$$

Perhitungan :

1. Mengkonversi debit pipa ke dalam satuan cfm (cubic feet per minute)

$$\begin{aligned} Q \text{ pipa} &= Q \text{ pipa (m}^3/\text{jam)} \times \text{Faktor konversi} \\ &= 123,68 \text{ m}^3/\text{jam} \times 35,3147 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \times 0,0167 \\ &\quad \text{jam/menit} \\ &= 72,80 \text{ cfm} \end{aligned}$$

2. Menghitung debit udara dalam satuan scfm (standard cubic feet per minute)

$$\begin{aligned} Q \text{ udara} &= 0,02 \times Q \text{ pipa} \\ &= 0,02 \times 72,80 \text{ cfm} \\ &= 1,46 \text{ scfm} \end{aligned}$$

3. Menentukan tekanan kerja (*head*) pada titik pemasangan air valve dalam satuan psi (*pound per square inch*)

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Panjang} &= \text{Panjang total pipa dari titik awal (inlet) hingga} \\ &\quad \text{titik pemasangan air release valve} \\ &= 133,62 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma H_f &= \Sigma \text{ Panjang} \times H_f \text{ pipa} \\ &= 133,62 \text{ m} \times 4,71 \text{ m/1000m} \\ &= 0,63 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head} &= \text{Elevasi Awal} - \text{Elevasi Titik} - H_f \\ &= 628,20 \text{ m} - 626,48 \text{ m} - 0,63 \text{ m} \\ &= 1,09 \text{ m} \end{aligned}$$

Head dikonversi dalam satuan psi:

$$\begin{aligned} \text{Head} &= \text{Head (m)} \times \text{Faktor konversi} \\ &= 1,09 \text{ m} \times 3,281 \text{ ft/m} \times 0,433 \text{ psi/ft} \\ &= 1,55 \text{ psi} \end{aligned}$$

4. Memplotkan tekanan kerja dan debit udara pada Tabel 4.14 untuk mencari diameter orifice yang dibutuhkan. Pilih diameter yang memenuhi tekanan kerja dan debit udara.

Dengan debit udara 1,09 scfm dan tekanan kerja 1,55 dipilih diameter orifice 3/16 in yang mempunyai kapasitas pelepasan udara 14,2 scfm pada tekanan kerja 25 psi

**Tabel 4.14** Contoh Pemilihan Diameter *Small Orifice* pada Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Pressure (psi)	Orifice Diameter, In.									
	1/16	3/32	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	1
25	2.0	3.5	6.3	14.2	25.2	39.4	56.7	77.1	100	400
50	2.6	5.8	10.3	23.1	41.0	64.1	92.3	126	164	656
75	3.6	8.0	14.2	32.0	56.9	88.9	128	174	228	910
100	4.5	10.2	18.2	40.9	72.8	114	164	223	291	1,160
125	5.5	12.6	22.2	49.8	88.6	138	199	271	354	1,420
150	6.5	14.7	26.1	58.8	104	163	235	320	418	1,610
175	7.5	16.9	30.1	67.7	120	188	271	369	481	1,920
200	8.5	19.2	34.1	76.6	136	213	306	417	545	2,180
225	9.5	21.4	38.0	85.5	152	238	342	466	608	2,430
250	10.5	23.6	42.0	94.5	168	262	378	514	672	2,690
275	11.5	25.8	45.9	103	184	287	414	563	735	2,940
300	12.5	28.1	49.9	112	200	312	449	611	799	3,200

5. Dilakukan pengecekan kapasitas udara yang dapat dikeluarkan oleh air valve terpilih berdasarkan tekanan kerja.

Karena tekanan kerja berbanding lurus dengan kapasitas udara yang akan dilepaskan *air release valve*, sementara tekanan kerja pada titik tersebut < 25 psi (tidak tercantum pada tabel), maka harus dilakukan pengecekan kapasitas udara pada diameter orifice dengan tekanan kerja 1,55 psi dengan rumus perbandingan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ udara cek} &= (Q \text{ udara pada tekanan kerja } 25 \text{ psi} / 25 \text{ psi}) \times \\
 &\quad \text{tekanan kerja eksisting} \\
 &= (14,2 \text{ scfm} / 25 \text{ psi}) \times 1,55 \text{ psi} \\
 &= 1,56 \text{ scfm} (\leq 1,09 \text{ scfm, memenuhi})
 \end{aligned}$$

Perhitungan lengkap dari diameter *orifice* masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 4.15 sampai dengan Tabel 4.17

**Tabel 4.15** Perhitungan Diameter *Orifice Air Release Valve* Jalur Buring Tengah – BTU

Titik Pemasangan	Elevasi	$\Sigma$ Panjang	$\Sigma$ HL	Tekanan Kerja		D Small Orifice		Q udara cek
	m	m	m	M	psi	in	mm	scfm
Segmen 2-3	545.71	228.46	0.66	12.55	17.83	1/16	2	1.14
Node 6	537.04	522.73	1.52	20.36	28.93	1/16	2	1.85
Node 10	536.15	745.75	2.17	20.60	29.27	1/16	2	1.87
Node 12	539.94	899.95	2.62	16.36	23.25	1/16	2	1.49
Node 19	553.67	1495.12	4.35	0.90	1.28	3/16	5	0.73
Node 23	541.65	1909.23	5.55	11.72	16.65	1/16	2	1.07
Segmen 25-26	517.23	2390.70	6.95	34.74	49.36	1/16	2	3.16
Node 29	531.00	2741.71	7.97	19.95	28.35	1/16	2	1.81
Node 31	532.02	2857.90	8.31	18.59	26.42	1/16	2	1.69

**Tabel 4.16** Perhitungan Diameter *Orifice Air Release Valve* Jalur Buring Bawah Sawojajar

Titik Pemasangan	Elevasi	$\Sigma$ Panjang	$\Sigma$ HL	Tekanan Kerja		D Small Orifice		Q udara cek
	m	m	m	m	psi	in	mm	scfm
Node 2	489.00	75.17	0.19	3.65	5.19	3/16	5	2.95
Node 6	475.47	428.34	1.06	16.31	23.18	3/32	3	3.24
Node 11	472.31	620.10	1.54	18.99	26.99	3/32	3	3.78
Node 13	467.85	840.19	2.08	22.91	32.55	3/32	3	4.56
Node 18	439.02	1228.33	3.04	50.78	72.16	1/16	2	10.39

Titik Pemasangan	Elevasi	$\Sigma$ Panjang	$\Sigma$ HL	Tekanan Kerja		D Small Orifice		Q udara cek
	m	m	m	m	psi	in	mm	scfm
Segmen 19-20	437.34	1566.18	3.88	51.62	73.35	1/16	2	10.56
Segmen 22-23	432.92	1668.52	4.13	55.79	79.27	1/16	2	11.42
Node 28	436.83	2054.20	5.09	50.92	72.36	1/16	2	10.42

**Tabel 4.17** Perhitungan Diameter *Orifice Air Release Valve* Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Titik Pemasangan	Elevasi	$\Sigma$ Panjang	$\Sigma$ HL	Tekanan Kerja		D Small Orifice		Q udara cek
	m	m	m	m	psi	in	mm	scfm
Node 3	626.48	133.62	0.63	1.09	1.55	3/16	5	1.56
Node 6	622.42	679.21	3.20	2.58	3.66	3/16	5	2.08
Node 8	602.23	984.37	4.64	21.33	30.31	1/16	2	1.94
Node 11	581.54	434.15	4.55	37.47	53.24	1/16	2	3.41
Node 16	577.39	1089.07	11.42	34.75	49.39	1/16	2	3.16
Node 21	577.71	1758.12	18.43	27.42	38.96	1/16	2	2.49
Node 25	555.36	2188.09	22.94	45.26	64.32	1/16	2	4.12
Node 27	525.44	2433.47	25.51	72.61	103.18	1/16	2	6.60
Node 31	493.97	2812.63	29.48	100.11	142.25	1/16	2	9.10



#### 4.2.2.2 Vacuum Valve (*Filling* dan *Draining*)

Perhitungan proses vacuum terjadi hanya saat meliputi 2 kondisi, yakni pada saat pengisian awal pipa (*filling*) dan pengurasan pipa (*draining*). Perhitungan dilakukan untuk masing-masing kondisi diameter untuk mencari *large orifice*. Diameter yang dipilih adalah diameter yang paling besar diantara 2 kondisi tersebut.

#### **Pengisian awal (*filling*)**

Pengisian awal yang dimaksud adalah adalah pengisian air pada pipa ketika pipa dalam keadaan kosong. Biasanya setelah dilakukan pengurasan pipa atau perbaikan pada pipa. Penting dilakukan perhitungan kapasitas udara yang dapat dikeluarkan dari sistem, agar tidak terjadi lonjakan tekanan secara tiba-tiba yang dapat menimbulkan getaran ataupun lepasnya sambungan perpipaan. Berikut adalah contoh perhitungan diameter *orifice air vacuum valve* pada kondisi *filling*

#### **Jalur Buring Tengah – BTU**

Diketahui:

$$\begin{aligned} Q \text{ pipa} &= 46,08 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \Delta P &= 2 \text{ psi} \end{aligned}$$

Karena pipa tidak dilengkapi perangkat *anti-slam*, maka laju udara yang dikeluarkan ke atmosfer diperkirakan mempunyai tekanan differensial sekitar 2 psi.

Perhitungan:

1. Menghitung debit ventilasi menggunakan Rumus 2.3
$$\begin{aligned} Q \text{ udara} &= Q \text{ pipa} \times F \text{ konversi} (\Delta P + 14.7 \text{ psi}) / (14.7 \text{ psi}) \\ &= 46,08 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam}/60\text{menit} \times 1 \text{ ft}^3/\text{m}^3 (2 + 14,7) / 14,7 \\ &= 116 \text{ scfm} \end{aligned}$$
2. Memplotkan tekanan differensial dan debit ventilasi pada Tabel 4.18 untuk mencari diameter *orifice* yang dibutuhkan. Pilih diameter yang memenuhi debit ventilasi yang dibutuhkan.

**Tabel 4.18** Contoh Pemilihan Diameter *Exhaust Orifice* pada Jalur Buring Tengah - BTU

Differential Pressure (psi)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.0	79	311	712	1,270	2,850	5,070	7,910	11,400	15,500	20,200	25,600	31,700
1.5	97	387	870	1,530	3,480	6,190	9,670	14,000	18,900	24,700	31,300	38,600
2.0	111	445	1,000	1,780	4,010	7,120	11,100	16,000	21,800	28,500	36,100	44,500
2.5	124	497	1,120	1,990	4,470	7,950	12,400	17,900	24,300	31,800	40,300	49,600
3.0	136	543	1,220	2,170	4,890	8,690	13,600	19,500	26,600	34,700	44,000	54,300
3.5	148	585	1,320	2,340	5,270	9,370	14,600	21,100	28,700	37,500	47,400	58,500
4.0	156	625	1,410	2,500	5,620	10,000	15,600	22,500	30,600	40,000	50,800	62,500
4.5	165	662	1,490	2,650	5,980	10,600	16,500	23,800	32,400	42,300	53,600	66,200
5.0	174	697	1,570	2,790	6,370	11,100	17,400	25,100	34,100	44,600	56,400	69,700

Dipilih diameter *orifice* sebesar 2 inci yang mempunyai kapasitas pembuangan udara sebesar 445 scfm ( $\geq 116$  scfm). Dikarenakan sepanjang jalur pipa debitnya dianggap sama, maka untuk semua *air vacuum valve* menggunakan diameter *orifice* 2 inci untuk kondisi *filling*

### Jalur Buring Bawah - Sawojajar

Diketahui:

Q pipa = 243,06 m<sup>3</sup>/jam

$\Delta P$  = 2 psi

Karena pipa tidak dilengkapi perangkat *anti-slam*, maka laju udara yang dikeluarkan ke atmosfer diperkirakan mempunyai tekanan differensial sekitar 2 psi.

Perhitungan:

1. Menghitung debit ventilasi menggunakan Rumus 2.3

$$\begin{aligned}
 Q \text{ udara} &= Q \text{ pipa} \times F \text{ konversi } (\Delta P + 14.7 \text{ psi}) / (14.7 \text{ psi}) \\
 &= 243,06 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam}/60\text{menit} \times 1 \text{ ft}^3/\text{m}^3 (2 + 14,7) / 14,7 \\
 &= 585 \text{ scfm}
 \end{aligned}$$

2. Memplotkan tekanan differensial dan debit ventilasi pada Tabel 4.19 untuk mencari diameter *orifice* yang dibutuhkan. Pilih diameter yang memenuhi debit ventilasi yang dibutuhkan.

**Tabel 4.19** Contoh Pemilihan Diameter *Exhaust Orifice* pada Jalur Buring Bawah - Sawojajar

Differential Pressure (psi)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.0	79	317	712	1,270	2,850	5,070	7,910	11,400	15,500	20,200	25,600	31,700
1.5	97	387	870	1,530	3,480	6,190	9,670	14,000	18,900	24,700	31,300	38,600
2.0	111	445	1,000	1,780	4,010	7,120	11,100	16,000	21,800	28,500	36,100	44,600
2.5	124	497	1,120	1,990	4,470	7,950	12,400	17,900	24,300	31,800	40,200	49,600
3.0	136	543	1,220	2,170	4,890	8,690	13,600	19,500	26,600	34,700	44,000	54,300
3.5	148	585	1,309	2,340	5,270	9,570	14,600	21,100	28,700	37,500	47,400	58,500
4.0	156	625	1,410	2,500	5,620	10,000	15,600	22,500	30,600	40,000	50,800	62,500
4.5	165	662	1,490	2,650	5,960	10,600	16,500	23,800	32,400	42,300	53,600	66,200
5.0	174	697	1,570	2,790	6,270	11,100	17,400	25,100	34,100	44,600	56,400	69,700

Dipilih diameter *orifice* sebesar 3 inchi yang mempunya kapasitas pembuangan udara sebesar 1000 scfm ( $\geq 585$  scfm). Dikarenakan sepanjang jalur pipa debitnya sama, maka untuk semua *air vacuum valve* menggunakan diameter *orifice* 3 inchi untuk kondisi *filling*

### Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Diketahui:

$$Q \text{ pipa} = 123,68 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\Delta P = 2 \text{ psi}$$

Karena pipa tidak dilengkapi perangkat *anti-slam*, maka laju udara yang dikeluarkan ke atmosfer diperkirakan mempunyai tekanan differensial sekitar 2 psi.

Perhitungan:

1. Menghitung debit ventilasi menggunakan Rumus 2.3

$$Q \text{ udara} = Q \text{ pipa} \times F \text{ konversi} (\Delta P + 14.7 \text{ psi}) / (14.7 \text{ psi})$$

$$= 123,68 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam}/60\text{menit} \times 1 \text{ ft}^3/\text{m}^3 (2 + 14,7) / 14,7$$

$$= 298 \text{ scfm}$$

2. Memplotkan tekanan differensial dan debit ventilasi pada Tabel 4.20 untuk mencari diameter *orifice* yang dibutuhkan. Pilih diameter yang memenuhi debit ventilasi yang dibutuhkan.

**Tabel 4.20** Contoh Pemilihan Diameter *Exhaust Orifice* pada Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Differential Pressure (psi)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.0	79	317	712	1,270	2,850	5,070	7,910	11,400	15,500	20,200	25,600	31,700
1.5	97	387	870	1,530	3,480	6,190	9,670	14,000	18,900	24,700	31,300	38,600
2.0	111	445	1,000	1,780	4,010	7,120	11,100	16,000	21,800	28,500	36,100	44,500
2.5	124	497	1,120	1,990	4,470	7,950	12,400	17,900	24,300	31,800	40,200	49,600
3.0	136	543	1,220	2,170	4,890	8,690	13,600	19,500	26,600	34,700	44,000	54,300
3.5	148	585	1,320	2,340	5,270	9,370	14,600	21,100	28,700	37,500	47,400	58,500
4.0	156	625	1,410	2,500	5,620	10,000	15,600	22,500	30,600	40,000	50,600	62,500
4.5	165	662	1,490	2,650	5,960	10,600	16,500	23,800	32,400	42,300	53,600	66,200
5.0	174	697	1,570	2,790	6,270	11,100	17,400	25,100	34,100	44,600	56,400	69,700

Dipilih diameter *orifice* sebesar 2 inci yang mempunyai kapasitas pembuangan udara sebesar 445 scfm ( $\geq 298$  scfm). Dikarenakan sepanjang jalur pipa debitnya sama, maka untuk semua *air vacuum valve* menggunakan diameter *orifice* 2 inci untuk kondisi *filling* pada pipa diameter 8 inci

### **Pengurasan pipa (*draining*)**

Pengurasan pipa bertujuan untuk membersihkan pipa dari endapan-endapan yang mungkin terdapat di dalam pipa. Ketika dilakukan pengurasan maka air keluar dari pipa menuju titik keluarnya air. Untuk menghindari kondisi hampa yang ditinggalkan air dari dalam pipa, maka perlu adanya sirkulasi udara yang masuk ke dalam pipa untuk mengisi kekosongan tersebut. Penting dilakukan perhitungan kapasitas udara masuk yang dibutuhkan ke dalam sistem, agar tidak terjadi kondisi vakum yang berakibat retak atau bahkan pecahnya pipa. Berikut adalah contoh perhitungan diameter *orifice air vacuum valve* pada kondisi *draining*

### **Jalur Buring Tengah – BTU**

Contoh perhitungan (*Segmen 2-3*)

Diketahui:

Q pipa = 46,08 m<sup>3</sup>/jam

Tebal pipa (t) = 3,6 mm

= 0,135 in

D pipa = 6 in

Perhitungan :

1. Menghitung tekanan negatif yang diizinkan ( $P_c$ ) menggunakan Rumus 2.4 dan tekanan differensial ( $\Delta P$ )

$$\begin{aligned} P_c &= 16.250.000 (t / (d + t))^3 \\ &= 16.250.000 (0,135 \text{ in} / 6 \text{ in})^3 \\ &= 69,72 \text{ psi} \end{aligned}$$

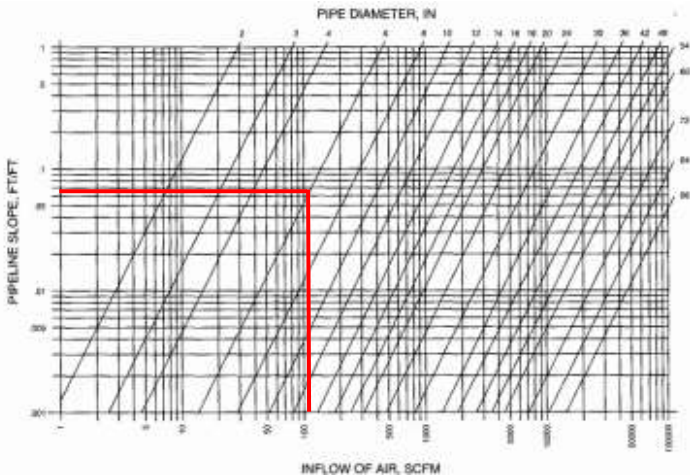
$$\begin{aligned} \Delta P &= P_c / F \text{ keamanan } (3,0 - 4,0) \\ &= 69,72 \text{ psi} / 4,0 \\ &= 17,43 \text{ psi } (> 5 \text{ psi, pipa tidak mengalami } \textit{collapsed}) \end{aligned}$$

Karena pipa tidak mengalami *collapsed* tekanan yang digunakan untuk perhitungan selanjtnya adalah 5 psi.

2. Menentukan *slope* pipa limpasan yang terlayani oleh *air vacuum valve*

$$\textit{Slope} = 0.065 \text{ (dapat dilihat pada Tabel 4.5)}$$

3. Memplotkan diameter pipa dan *slope* pada grafik yang terdapat Gambar 4.9, sehingga dapat diketahui kapasitas udara intake yang dibutuhkan.



**Gambar 4.9** Grafik Perhitungan Kapasitas Udara Intake Jalur Buring Tengah - BTU

Kapasitas udara yang dibutuhkan dari pipa diameter 6 inci dengan slope pipa sebesar 0,065 adalah sebesar 120 scfm.

- Memplotkan kapasitas udara intake dan tekanan differensial (5 psi) pada Tabel 4.21, sehingga dapat diketahui diameter orifice yang dibutuhkan.

**Tabel 4.21** Contoh Pemilihan Diameter *Intake Orifice* pada Jalur Buring Tengah - BTU

Differential Pressure (psig)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	20	
1.0	74	306	688	1,235	2,750	4,800	7,850	11,000	15,000	19,800	24,800	30,600
1.5	92	366	824	1,470	3,300	5,900	9,180	13,200	17,900	23,500	29,700	36,700
2.0	103	414	931	1,660	3,720	6,620	10,300	14,900	20,300	26,500	33,500	41,400
2.5	113	452	1,020	1,810	4,070	7,290	11,300	16,300	22,100	28,900	36,600	45,300
3.0	121	484	1,090	1,930	4,350	7,740	12,100	17,400	23,700	31,000	39,200	48,500
3.5	127	510	1,150	2,040	4,590	8,160	12,700	18,400	25,000	32,600	41,300	51,000
4.0	130	522	1,200	2,130	4,780	8,510	13,000	19,100	26,100	34,000	43,000	53,200
4.5	132	530	1,240	2,200	4,930	8,800	13,300	19,500	26,900	35,200	44,500	55,000
5.0	141	565	1,270	2,260	5,080	9,030	14,100	20,200	27,700	36,100	45,700	56,600

Dipilih diameter orifice 1 inci yang mempunyai kapasitas udara masuk sebesar 141 scfm.

### Jalur Buring Bawah - Sawojajar

*Contoh perhitungan (Node 2)*

Diketahui:

Q pipa = 243,06 m<sup>3</sup>/jam

Tebal pipa (t) = 5,0 mm

= 0,187 in

D pipa = 12 in

Perhitungan:

- Menghitung tekanan negatif yang diizinkan (Pc) menggunakan Rumus 2.4 dan tekanan differensial ( $\Delta P$ )

$$P_c = 16.250.000 (t / (d + t))^3$$

$$= 16.250.000 (0,187 \text{ in} / 12 \text{ in})^3$$

$$= 61,44 \text{ psi}$$

$$\Delta P = P_c / F \text{ keamanan } (3,0 - 4,0)$$

$$= 61,44 \text{ psi} / 4,0$$

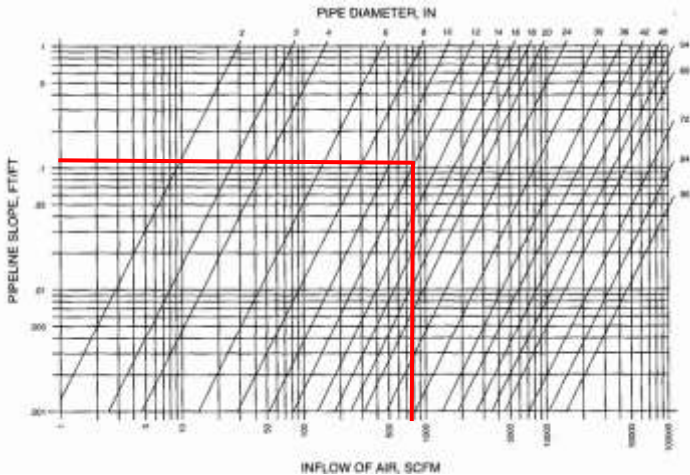
$$= 15,36 \text{ psi } (> 5 \text{ psi, pipa tidak mengalami } collapsed)$$

Karena pipa tidak mengalami *collapsed* tekanan yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah 5 psi.

2. Menentukan *slope* pipa limpasan yang terlayani oleh *air vacuum valve*

*Slope* = 0.109 (dapat dilihat pada Tabel 4.6)

3. Memplotkan diameter pipa dan *slope* pada grafik yang terdapat Gambar 4.10, sehingga dapat diketahui kapasitas udara intake yang dibutuhkan.



**Gambar 4.10** Grafik Perhitungan Kapasitas Udara Intake Jalur Buring Bawah - Sawojajar

Kapasitas udara yang dibutuhkan dari pipa diameter 12 inci dengan *slope* pipa sebesar 0,109 adalah sebesar 810 scfm.

4. Memplotkan kapasitas udara intake dan tekanan differensial (5 psi) pada Tabel 4.22, sehingga dapat diketahui diameter *orifice* yang dibutuhkan.

**Tabel 4.22** Contoh Pemilihan Diameter *Intake Orifice* pada Jalur Buring Bawah - Sawoajar

Differential Pressure (psig)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1.0	74	306	688	1,235	2,750	4,890	7,650	11,050	15,000	19,600	24,800	30,600
1.5	92	366	824	1,479	3,290	5,860	8,180	12,200	17,000	22,500	29,700	36,700
2.0	103	414	931	1,669	3,720	6,620	10,300	14,900	20,300	26,500	33,600	41,400
2.5	113	452	1,020	1,818	4,070	7,230	11,300	16,200	22,100	28,900	36,600	45,200
3.0	121	484	1,090	1,930	4,350	7,740	12,100	17,400	23,700	31,000	39,200	48,500
3.5	127	510	1,150	2,040	4,590	8,190	12,700	18,400	25,000	32,600	41,300	51,000
4.0	130	532	1,200	2,130	4,780	8,510	13,300	19,100	26,100	34,000	43,000	53,200
4.5	132	550	1,240	2,210	4,950	8,800	13,700	19,600	26,800	35,000	44,500	55,000
5.0	141	565	1,270	2,260	5,090	9,000	14,100	20,300	27,700	36,100	45,700	56,500

Dipilih diameter *orifice* 3 inchi yang mempunyai kapasitas udara masuk sebesar 1270 scfm.

**Jalur Buring Atas - Jabal Nur**

*Contoh perhitungan (Segmen 2-3)*

Diketahui:

Q pipa = 123,86 m<sup>3</sup>/jam

Tebal pipa (t) = 4,0 mm  
= 0,150 in

D pipa = 6 in

Perhitungan:

1. Menghitung tekanan negatif yang diizinkan (Pc) menggunakan Rumus 2.4 dan tekanan differensial (ΔP)

$$Pc = 16.250.000 (t / (d + t))^3$$

$$= 16.250.000 (0,150 \text{ in} / 8 \text{ in})$$

$$= 54,36 \text{ psi}$$

$$\Delta P = Pc / F \text{ keamanan } (3,0 - 4,0)$$

$$= 54,36 \text{ psi} / 4,0$$

= 13,59 psi (> 5 psi, pipa tidak mengalami *collapsed*)

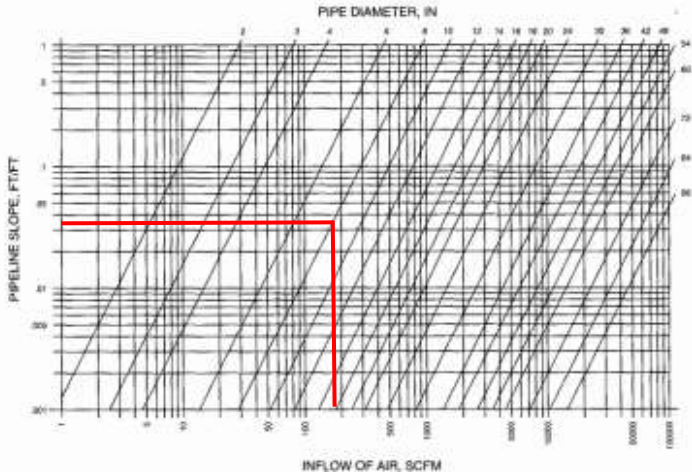
Karena pipa tidak mengalami *collapsed* tekanan yang digunakan untuk perhitungan selanjtnya adalah 5 psi.

2. Menentukan *slope* pipa limpasan yang terlayani oleh *air vacuum valve*

*Slope* = 0.034 (dapat dilihat pada Tabel 4.4)



3. Memplotkan diameter pipa dan *slope* pada grafik yang terdapat Gambar 4.11, sehingga dapat diketahui kapasitas udara intake yang dibutuhkan.



**Gambar 4.11** Grafik Perhitungan Kapasitas Udara Intake Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Kapasitas udara yang dibutuhkan dari pipa diameter 6 inci dengan *slope* pipa sebesar 0,034 adalah sebesar 295 scfm.

4. Memplotkan kapasitas udara intake dan tekanan differensial (5 psi) pada Tabel 4.23, sehingga dapat diketahui diameter orifice yang dibutuhkan.

Dipilih diameter *orifice* 2 inci yang mempunyai kapasitas udara masuk sebesar 565 scfm.

**Tabel 4.23** Contoh Pemilihan Diameter *Intake Orifice* pada Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Differential Pressure (psig)	Orifice Diameter, In.											
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	20	
1.0	74	306	688	1,235	2,750	4,890	7,650	11,000	15,000	19,800	24,800	30,600
1.5	92	366	824	1,479	3,360	6,060	9,180	13,200	17,900	23,500	29,700	36,700
2.0	103	414	931	1,669	3,720	6,820	10,300	14,900	20,300	26,500	33,500	41,400
2.5	113	452	1,020	1,818	4,070	7,520	11,300	16,200	22,100	28,900	36,600	45,200
3.0	121	484	1,090	1,930	4,350	7,940	12,100	17,400	23,700	31,000	39,200	48,500
3.5	127	510	1,150	2,040	4,590	8,180	12,700	18,400	25,000	32,600	41,300	51,000
4.0	130	522	1,200	2,130	4,780	8,510	13,300	19,100	26,100	34,000	43,000	53,200
4.5	132	535	1,240	2,210	4,950	8,800	13,700	19,600	26,600	34,500	43,500	53,800
5.0	141	565	1,270	2,260	5,090	9,030	14,100	20,200	27,700	36,100	45,700	56,500

Dari 2 perhitungan diameter *large orifice* untuk *air vacuum valve* pada kondisi *filling* dan *draining*, dipilih diameter dengan ukuran paling besar. Cara yang sama juga dilakukan pada masing-masing *air vacuum valve* untuk setiap jalur. Perhitungan lengkap diameter *orifice air vacuum valve* pada masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 4.24 sampai dengan Tabel 4.26

**Tabel 4.24** Perhitungan Diameter *Orifice Air Vacuum Valve* Jalur Buring Tengah – BTU

Titik Penempatan	Slope	Q intake	D intake	D exhaust	D orifice
	m/m	scfm	in	in	in
Segmen 2-3	0.065	120	1	2	2
Node 6	0.168	185	2	2	2
Node 10	0.071	130	1	2	2
Node 12	0.044	90	1	2	2
Node 19	0.064	118	1	2	2
Node 23	0.051	102	1	2	2
Segmen 25-26	0.039	86	1	2	2
Node 27	0.085	135	1	2	2
Node 29	0.052	105	1	2	2
Node 31	0.065	120	1	2	2
Node 35	0.059	108	1	2	2

**Tabel 4.25** Perhitungan Diameter *Orifice Air Vacuum Valve* Jalur Buring Bawah – Sawojajar

Titik Penempatan	Slope	Q intake	D intake	D exhaust	D orifice
	m/m	scfm	in	in	in
Segmen 2-3	0.109	810	3	3	3
Node 6	0.105	800	3	3	3
Node 10	0.039	500	3	3	3
Node 12	0.124	870	3	3	3
Node 19	0.018	451	3	3	3
Node 24	0.065	645	3	3	3
Node 27	0.020	360	2	3	3
Node 31	0.028	415	2	3	3

**Tabel 4.26** Perhitungan Diameter *Orifice Air Vacuum Valve* Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Titik Penempatan	Slope	Q intake	D intake	D exhaust	D orifice
	m/m	scfm	in	in	in
Node 3	0.034	295	2	2	2
Node 6	0.067	405	2	2	2
Node 8	0.065	390	2	2	2
Node 11	0.038	85	1	2	2
Node 16	0.034	80	1	2	2
Node 19	0.022	68	1	2	2
Node 21	0.096	140	1	2	2
Node 25	0.123	165	2	2	2
Node 27	0.133	170	2	2	2
Node 31	0.115	160	2	2	2
Node 37	0.092	150	2	2	2

Dari perhitungan proses *releasing*, *filling*, dan *draining* kondisi ideal ukuran dari *air valve* dapat dilihat pada Tabel 4.27 sampai dengan Tabel 4.29

**Tabel 4.27** Diameter *Orifice Air Valve* Jalur Buring Tengah – BTU

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Diameter Orifice (in)	
			Small	Large
1	Segmen 2-3	Combination Valve	1/16	2
2	Node 6	Combination Valve	1/16	2
3	Node 10	Combination Valve	1/16	2
4	Node 12	Combination Valve	1/16	2
5	Node 19	Combination Valve	3/16	2
6	Node 23	Combination Valve	1/16	2
7	Segmen 25-26	Combination Valve	1/16	2
8	Node 27	Air Vacuum Valve	-	2
9	Node 29	Combination Valve	1/16	2
10	Node 31	Combination Valve	1/16	2
11	Node 35	Air Vacuum Valve	-	2

**Tabel 4.28** Diameter *Orifice Air Valve* Jalur Buring Bawah – Sawojajar

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Diameter Orifice (in)	
			Small	Large
1	Node 2	Combination Valve	3/16	3
2	Node 6	Combination Valve	3/32	3
3	Node 11	Combination Valve	3/32	3
4	Node 12	Combination Valve	3/32	3
5	Node 18	Combination Valve	1/16	3
6	Segmen 19-20	Combination Valve	1/16	3
7	Segmen 22-23	Combination Valve	1/16	3
8	Node 28	Combination Valve	1/16	3

**Tabel 4.29** Diameter *Orifice Air Valve* Jalur Buring Atas – Jabal Nur

No.	Titik Penempatan	Jenis Air Valve	Diameter Orifice (in)	
			Small	Large
1	Node 3	Combination Valve	3/16	2
2	Node 6	Combination Valve	3/16	2
3	Node 8	Combination Valve	1/16	2
4	Node 11	Combination Valve	1/16	2
5	Node 16	Combination Valve	1/16	2
6	Node 19	Air Vacuum Valve	-	2
7	Node 21	Combination Valve	1/16	2
8	Node 25	Combination Valve	1/16	2
9	Node 27	Combination Valve	1/16	2
10	Node 31	Combination Valve	1/16	2
11	Node 37	Air Vacuum Valve	-	2

Dari proses analisa kondisi eksisting dibutuhkan beberapa *air valve* dengan jenis dan spesifikasi yang berbeda. Jenis, ukuran, dan jumlah *air valve* dapat dilihat pada Tabel 4.30. Pemasangan *air valve* sesuai *AWWA M51 Manual Standard* dapat dilihat pada Lampiran B (Nomor Gambar 5 sampai Nomor Gambar 8)

**Tabel 4.30** Spesifikasi dan Jumlah *Air Valve* yang Dibutuhkan

Jenis Air Valve	DN Pipa (mm)	D Orifice (in)		Jumlah
		Small	Large	
Combination Valve	150	1/16	2	14 buah
		3/16	2	1 buah
		1/16	2	1 buah
		3/16	2	2 buah
	300	1/16	3	4 buah
		3/32	3	3 buah
3/16		3	1 buah	
Air Vacuum Valve	150	-	2	4 buah

#### 4.2 Rencana Rehabilitasi Air Valve

Proses rehabilitasi meliputi pergantian, pemindahan posisi, dan penambahan jumlah *air valve*. Proses rehabilitasi dilakukan bertujuan untuk menyesuaikan pemasangan *air valve* eksisting dengan *AWWA M51 Manual Standard* agar sistem pengaliran dapat berjalan secara optimal. Dalam proses evaluasi ini hanya dapat dilakukan analisa perhitungan terhadap ukuran *orifice*. Adapun spesifikasi *air valve* yang lain seperti ukuran inlet, ukuran *body*, material penyusun, tipe sambungan, dan sebagainya akan mengikuti spesifikasi produk yang ada di pasaran. Pemilihan diameter *orifice* dengan ukuran lebih besar secara teknis operasional akan lebih baik, namun aspek biaya juga menjadi bahan pertimbangan. Rencana rehabilitasi masing-masing jalur dapat dilihat pada Tabel 4.31 sampai dengan Tabel 4.33. Posisi *air valve* hasil evaluasi atau rencana rehabilitasi masing-masing jalur dapat dilihat pada Lampiran C (Nomor Gambar 9 sampai Nomor Gambar 12)

**Tabel 4.31** Rehabilitasi Air Valve Jalur Buring Tengah – BTU

Rehabilitasi	Jenis	D Orifice (in)		Jumlah	Keterangan
		Small	Large		
Eksisting	Combination	3/32	2	3 buah	Semua ukuran orifice memenuhi, sehingga tidak perlu dilakukan pergantian
					Air valve pada segmen 6-7 dipindahkan pada node 6 dan pada node 8 dipindahkan pada node 9
Penambahan	Combination	1/32	2	5 buah	Titik penempatan dapat dilihat Tabel 4.18 dan Lampiran
		3/16	2	1 buah	
	Air vacuum	-	2	2 buah	

**Tabel 4.32** Rehabilitasi *Air Valve* Jalur Buring Bawah – Sawojajar

Rehabilitasi	Jenis	D Orifice (in)		Jumlah	Keterangan
		Small	Large		
Eksisting	Combination	1/8	3	3 buah	Semua ukuran orifice memenuhi, sehingga tidak perlu dilakukan pergantian
					Air valve pada node 14 dipindahkan pada node 12
Penambahan	Combination	1/32	3	2 buah	Titik penempatan dapat dilihat Tabel 4.18 dan Lampiran
		3/32	3	2 buah	
		3/16	3	1 buah	

**Tabel 4.33** Rehabilitasi *Air Valve* Jalur Buring Atas – Jabal Nur

Rehabilitasi	Jenis	D Orifice (in)		Jumlah	Keterangan
		Small	Large		
Eksisting	Combination	3/32	2	1 buah	Ukuran orifice memenuhi, sehingga tidak perlu dilakukan pergantian
					Penempatan air valve sudah sesuai, sehingga tidak perlu ada pemindahan
Penambahan	Combination	1/32	2	5 buah	Titik penempatan dapat dilihat Tabel 4.18 dan Lampiran
		3/16	2	1 buah	
	Air vacuum	-	2	1 buah	

Diameter *orifice* hasil perhitungan disesuaikan dengan diameter *orifice air valve* yang ada di pasaran. Adapun spesifikasi lainnya akan mengikuti produk yang akan digunakan. Daftar kesesuaian diameter *orifice air valve* hasil hitungan dengan produk pasaran dapat dilihat pada Tabel 4.34

**Tabel 4.34** Kesesuaian Diameter *Orifice* Hasil Perhitungan dengan Produk Pasaran

Jenis Air Valve	D Orifice Kebutuhan (in)		D Orifice Pasaran (in)		Merk	Series
	Small	Large	Small	Large		
Combination	1/16	2	3/32	2	Bermad	C10
	3/16	2	3/16	2	Bermad	C35
	1/16	3	3/32	3	AVK	851/10
	3/32	3	3/32	3	AVK	851/10
	3/16	3	3/16	3	AVK	851/20
Air Vacuum	-	2	-	2	Bermad	A30

Tidak semua diameter *orifice* hasil perhitungan tersedia di dalam produk pasaran. Sehingga hasil hitungan yang tidak tersedia dipasaran, dipilihlah produk yang secara kapasitas memenuhi (diatas hasil hitungan) dan mendekati hasil perhitungan. Dalam pemilihan produk di atas, *combination valve* (*small orifice* : 1/16 in dan *large orifice* : 2 in) tidak tersedia, sehingga dipilihlah *combination valve* (*small orifice* : 3/32 in dan *large orifice* : 2 in), sementara *combination valve* (*small orifice* : 1/16 in dan *large orifice* : 3 in) tidak tersedia, sehingga dipilihlah *combination valve* (*small orifice* : 3/32 in dan *large orifice* : 3 in).

Terdapat 2 jenis sambungan pada *inlet air valve* yang digunakan, yakni jenis *flange* dan *thread*. Perbedaan ini menimbulkan jenis asesoris yang digunakan akan berbeda pula. Daftar asesoris dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.35 dan Tabel 4.36. Detail pemasangan dapat dilihat pada Lampiran D (Nomor Gambar 13).

**Tabel 4.35** Asesoris yang Digunakan Untuk Jenis Sambungan *Flange* pada *Inlet Air Valve*

Jenis Asesoris	Diameter	Jumlah
Tee All Flange	DN pipa	1
Reducing Flange	DN pipa x DN inlet air valve	1
Resilient Gate Valve	DN inlet air valve	1
Lap Flange Joint	DN inlet air valve	2
Pipa Galvanis (1,5 m)	DN inlet air valve	1



**Tabel 4.36** Asesoris yang Digunakan Untuk Jenis Sambungan *Thread* pada *Inlet Air Valve*

Jenis Asesoris	Diameter	Jumlah
Tee All Flange	DN pipa	1
Reducing Flange	DN pipa x DN inlet air valve	1
Resilient Gate Valve	DN inlet air valve	1
Flange Joint	DN inlet air valve	1
Pipa PVC (1,5 m)	DN inlet air valve	1
Universal Coupling	DN inlet air valve	1

### 4.3 *Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proses Rehabilitasi Air Valve*

BOQ dan RAB adalah seluruh proses perhitungan biaya secara rinci yang meliputi seluruh kegiatan pemindahan posisi dan pemasangan baru *air valve*. Perhitungan BOQ memerlukan rincian kebutuhan per unit pekerjaan yang didasarkan pada proses rencana rehabilitasi *air valve* dalam sistem perpipaan dan disesuaikan ketersediannya di pasaran. Sementara dalam perhitungan RAB didasarkan pada hasil perhitungan BOQ dikalikan dengan harga pekerjaan. Pada bab ini diuraikan perhitungan rencana anggaran biaya mulai dari harga satuan bahan dan upah, harga satuan pekerjaan, analisa harga pekerjaan, dan rekapitulasi anggaran biaya.

#### 4.3.1 Harga Satuan Bahan dan Upah

Pada tahap ini disiapkan daftar harga satuan bahan dan upah yang diperlukan. Daftar harga bersumber dari katalog *air valve*, katalog asesoris sambungan perpipaan, dan HSPK Kota Malang. Daftar harga satuan bahan dan upah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.37 sampai dengan Tabel 4.39

**Tabel 4.37** Harga Satuan Air Valve

Jenis Air Valve	Merk	Series	Sambungan	Harga
Combination	Bermad	C10	DN 50 Threaded	Rp8.835.866,00
	Bermad	C35	DN 50 Threaded	Rp9.073.717,00
	AVK	851/10	DN 80 Flanged	Rp12.993.343,00
	AVK	851/20	DN 80 Flanged	Rp13.391.399,00
Air Vacuum	Bermad	A30	DN 50 Threaded	Rp6.806.270,00

**Tabel 4.38** Harga Satuan Asesoris Sambungan

Jenis Asesoris	Harga
Tee All Flange Ø 12" x 4"	Rp2.944.300,00
Tee All Flange Ø 6" x 3"	Rp2.750.950,00
Reducing Flange Ø 4" x 3"	Rp136.500,00
Reducing Flange Ø 3" x 2"	Rp97.050,00
Resilient Gate Valve 3"	Rp3.252.210,00
Resilient Gate Valve 2"	Rp3.221.550,00
Flange Joint Ø 2"	Rp701.000,00
Lap Flange Ø 3"	Rp293.350,00
Pipa Galvanis Ø 3" (6 m)	Rp459.000,00
Pipa PVC Ø 2" (6 m)	Rp180.600,00
Universal Coupling Ø 2"	Rp673970,00

**Tabel 4.39** Harga Satuan Bahan dan Upah Pekerjaan

No.	Uraian	Satuan	Harga
<b>A</b>	<b>Bahan</b>		
1	Sewa Tamping Raper	hari	Rp454.620,00
2	Portland Cement	kg	Rp1.926,00
3	Pasir	m <sup>3</sup>	Rp193.291,00
4	Pasir Cor	m <sup>3</sup>	Rp206.267,00
5	Batu Pecah Mesin	m <sup>3</sup>	Rp285.082,00
7	Bata Merah	buah	Rp676,00
6	Air Bersih	L	Rp44,00

No.	Uraian	Satuan	Harga
<b>B</b>	<b>Upah</b>		
1	Pekerja	orang/hari	Rp61.000,00
2	Tukang Pipa	orang/hari	Rp80.000,00
3	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	Rp90.000,00
4	Tukang Pipa	orang/hari	Rp80.000,00
5	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	Rp90.000,00
6	Mandor	orang/hari	Rp96.000,00

#### 4.3.2 Harga Satuan Pekerjaan

Perhitungan harga satuan pekerjaan didasarkan pada analisa pekerjaan yang akan dilakukan. Perhitungan mengacu pada SNI 7511: 2011 tentang Tata Cara Pemasangan Pipa Transmisi dan Pipa Distribusi serta Bangunan Pelintas Pipa. Daftar harga satuan bahan dan upah pekerjaan dijadikan *input* dalam perhitungan, dengan mengalikan koefisien komponen pekerjaan. Daftar harga satuan pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 4.40 sampai dengan 4.48

**Tabel 4.40** Harga Galian Tanah Sebesar 1 m<sup>3</sup>

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	1,000	Rp61.000,00	Rp61.000,00
2	Mandor	orang/hari	0,333	Rp96.000,00	Rp31.968,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp92.968,00</b>

**Tabel 4.41** Harga Urugan Kembali Sebesar 1 m<sup>3</sup>

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,493	Rp61.000,00	Rp30.073,00
2	Mandor	orang/hari	0,021	Rp96.000,00	Rp2.016,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp32.089,00</b>

**Tabel 4.42** Harga Pemadatan Tanah Sebesar 1 m<sup>3</sup>

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,493	Rp61.000,00	Rp30.073,00
2	Mandor	orang/hari	0,021	Rp96.000,00	Rp2.016,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp32.089,00</b>

**Tabel 4.42** Harga Pembuangan Tanah Sebesar 1 m<sup>3</sup>

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,330	Rp61.000,00	Rp20.130,00
2	Mandor	orang/hari	0,010	Rp96.000,00	Rp960,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp21.090,00</b>
<b>B</b>	<b>Bahan</b>				
1	Mobilisasi Buangan	m <sup>3</sup>	1,000	Rp21.000,00	Rp21.000,00
<b>Jumlah Harga Bahan</b>					<b>Rp21.000,00</b>
<b>C</b>	<b>Jumlah Tenaga dan Bahan (A + B)</b>				<b>Rp42.090,00</b>

**Tabel 4.43** Harga Beton Mutu  $f_c = 19,3$  MPa, Slump (12 ± 2) cm, w/c = 0,58 ; Sebesar 1 m<sup>3</sup>

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	1,650	Rp61.000,00	Rp100.650,00
2	Tukang Batu Kepala	orang/hari	0,275	Rp76.000,00	Rp20.900,00
3	Tukang Batu	orang/hari	0,028	Rp90.000,00	Rp2.520,00
4	Mandor	orang/hari	0,083	Rp96.000,00	Rp7.968,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp132.038,00</b>
<b>B</b>	<b>Bahan</b>				
1	Portland Cement	kg	371,000	Rp1.926,00	Rp714.546,00
2	Pasir Cor	m <sup>3</sup>	0,499	Rp206.267,00	Rp102.927,23
3	Batu Pecah Mesin	m <sup>3</sup>	0,776	Rp285.082,00	Rp221.223,63
4	Air Bersih	L	215,000	Rp44,00	Rp9.460,00
<b>Jumlah Harga Bahan</b>					<b>Rp1.048.156,87</b>
<b>C</b>	<b>Jumlah Tenaga dan Bahan (A + B)</b>				<b>Rp1.180.194,87</b>

**Tabel 4.44** Harga Pemasangan Universal Coupling 6"

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,185	Rp61.000,00	Rp11.285,00
2	Tukang Pipa	orang/hari	0,160	Rp80.000,00	Rp12.800,00
3	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	0,055	Rp90.000,00	Rp4.950,00
4	Mandor	orang/hari	0,025	Rp96.000,00	Rp2.400,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp31.435,00</b>

**Tabel 4.45** Harga Pemasangan Tee Flange 6"

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,193	Rp61.000,00	Rp11.773,00
2	Tukang Pipa	orang/hari	0,107	Rp80.000,00	Rp8.560,00
3	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	0,043	Rp90.000,00	Rp3.870,00
4	Mandor	orang/hari	0,020	Rp96.000,00	Rp1.920,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp26.123,00</b>

**Tabel 4.46** Harga Pemasangan Tee Flange 12"

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,223	Rp61.000,00	Rp13.603,00
2	Tukang Pipa	orang/hari	0,167	Rp80.000,00	Rp13.360,00
3	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	0,043	Rp90.000,00	Rp3.870,00
4	Mandor	orang/hari	0,020	Rp96.000,00	Rp1.920,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp32.753,00</b>

**Tabel 4.47** Harga Pemasangan Resilient Gate Valve 2"

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,312	Rp61.000,00	Rp19.032,00
2	Tukang Pipa	orang/hari	0,158	Rp80.000,00	Rp12.640,00
3	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	0,078	Rp90.000,00	Rp7.020,00
4	Mandor	orang/hari	0,072	Rp96.000,00	Rp6.912,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp45.604,00</b>

**Tabel 4.48** Harga Pemasangan Resilent Gate Valve 3"

No.	Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>A</b>	<b>Tenaga</b>				
1	Pekerja	orang/hari	0,317	Rp61.000,00	Rp19.337,00
2	Tukang Pipa	orang/hari	0,168	Rp80.000,00	Rp13.440,00
3	Kepala Tukang Pipa	orang/hari	0,078	Rp90.000,00	Rp7.020,00
4	Mandor	orang/hari	0,072	Rp96.000,00	Rp6.912,00
<b>Jumlah Harga Tenaga</b>					<b>Rp46.709,00</b>

### 4.3.3 Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan merupakan besaran pekerjaan dan jumlah pengadaan bahan. Satuan pekerjaan pada umumnya banyak yang menggunakan satuan volume pekerjaan dalam m<sup>3</sup> dan jumlah pengadaan bahan memiliki satuan buah. Perhitungan volume disajikan berdasarkan jenis pekerjaan yang akan dilakukan.

#### 4.3.3.1 Pekerjaan Tanah

Sebelum dilakukan pemasangan sambungan, perlu dilakukan pekerjaan tanah yang meliputi galian tanah, urugan kembali, dan pemadatan tanah. Pekerjaan tanah dilakukan sesuai jumlah lubang, yakni 1 buah galian pada proses penambahan dan 2 buah galian pada proses pemindahan *air valve*. Pekerjaan tanah direncanakan sesuai dengan diameter pipa. Karena dalam rencana pemasangan *air valve* ini terdapat 2 ukuran diameter pipa, maka direncanakan seperti berikut:

- **DN 300 mm:**

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah lubang (n)} &= 7 \text{ buah} \\
 \text{Kedalaman (H)} &= 0,90 \text{ m} \\
 \text{Lebar (W)} &= 0,50 \text{ m} \\
 \text{Volume 1 galian} &= H \times W^2 \\
 &= 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \\
 &= 0,225 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume 7 galian} &= n \text{ lubang} \times \text{volume tanah} \\
 &= 7 \times 0,225 \text{ m}^3 \\
 &= 1,575 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- **DN 150 mm:**
  - Jumlah lubang (n) = 19 buah
  - Kedalaman (H) = 0,80 m
  - Lebar (W) = 0,45 m
  - Volume 1 galian =  $H \times W^2$   
=  $0,45 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$   
=  $0,162 \text{ m}^3$
  - Volume 19 galian = n lubang x volume tanah  
=  $19 \times 0,225 \text{ m}^3$   
=  $3,078 \text{ m}^3$
  - Volume total =  $1,575 \text{ m}^3 + 3,078 \text{ m}^3$   
=  **$4,653 \text{ m}^3$**

#### 4.3.3.2 Pembuatan *Thrustblock*

*Thrustblock* berfungsi sebagai pondasi bantalan atau dudukan pada sambungan perlengkapan pipa, yang dalam perencanaan kali ini adalah tepat pada *tee*. *Thrustblock* dibuat dari pasangan batu atau beton. Detail gambar *thrustblock* dapat dilihat pada Lampiran D (Nomor Gambar 14).

Karena dalam rencana pemasangan *air valve* ini terdapat 2 ukuran diameter pipa, maka direncanakan:

- **DN 300 mm:**
  - Jumlah pemasangan (n) = 6 buah
  - Luas bawah (A1) =  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$   
=  $1 \text{ m}^2$
  - Luas atas (A2) =  $0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$   
=  $0,12 \text{ m}^2$
  - Tinggi (H) = 0,6 m
  - Volume 1 buah *thrustblock*:  
= Volume beton – Volume  $\frac{1}{2}$  pipa  
=  $\left[ \frac{H}{3} \times (A1 + A2 + \sqrt{A1 + A2}) + (A \times B \times C) \right] -$   
 $\left[ \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{4} \times DN \text{ pipa}^2 \times D \right) \right]$   
=  $\left[ \frac{H}{3} \times (1 + 0,6 + \sqrt{1 + 0,6}) + (1 \times 1 \times 1) \right] -$   
 $\left[ \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{4} \times 0,3^2 \times 0,4 \right) \right]$   
=  $1,227 - 0,014$

$$= 1,213 \text{ m}^3$$

Volume 6 buah *thrustblock*:

$$= n \times \text{Volume 1 buah } \textit{thrustblock}$$

$$= 6 \times 1,213 \text{ m}^3$$

$$= 7,277 \text{ m}^3$$

- **DN 150 mm:**

Jumlah pemasangan (n) = 17 buah

Luas bawah (A1) = 0,6 m x 0,6 m

$$= 0,36 \text{ m}^2$$

Luas atas (A2) = 0,15 m x 0,25 m

$$= 0,04 \text{ m}^2$$

Tinggi (H) = 0,35 m

Volume 1 buah *thrustblock*:

$$= \text{Volume beton} - \text{Volume } \frac{1}{2} \text{ pipa}$$

$$= \left[ \frac{H}{3} \times (A1 + A2 + \sqrt{A1 + A2}) + (A \times B \times C) \right] -$$

$$\left[ \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{4} \times DN \text{ pipa}^2 \times D \right) \right]$$

$$= \left[ \frac{H}{3} \times (0,36 + 0,04 + \sqrt{0,36 + 0,04}) + \right.$$

$$\left. (0,6 \times 0,6 \times 0,6) \right] - \left[ \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{4} \times 0,15^2 \times 0,25 \right) \right]$$

$$= 0,262 - 0,002$$

$$= 0,260 \text{ m}^3$$

Volume 17 buah *thrustblock*:

$$= n \times \text{Volume 1 buah } \textit{thrustblock}$$

$$= 17 \times 0,260 \text{ m}^3$$

$$= 4,423 \text{ m}^3$$

Volume total *thrustblock* = 0,260 m<sup>3</sup> + 4,423 m<sup>3</sup>

$$= 11,700 \text{ m}^3$$

#### 4.3.3.3 Pengadaan Air Valve dan Asesoris Pemasangan

Kebutuhan air valve didasarkan pada hasil proses evaluasi. Sementara jumlah masing-masing asesoris akan mengikuti diameter pipa, diameter inlet *air valve*, dan jenis sambungan *inlet air valve*. Pengadaan *air valve* dan asesoris pemasangan dapat dilihat pada Tabel 4.49 dan Tabel 4.50



**Tabel 4.49** Pengadaan *Air Valve*

Jenis Air Valve	D Orifice (in)		Merk	Series	Jumlah (buah)
	Small	Large			
Combination	3/32	2	Bermad	C10	10
	3/16	2	Bermad	C35	2
	3/32	3	AVK	851/10	4
	3/16	3	AVK	851/20	1
Air Vacuum	-	2	Bermad	A30	3

**Tabel 4.50** Pengadaan Asesoris Pemasangan

Jenis Asesoris	Jumlah (Buah)
Universal Coupling Ø 2"	15
Tee All Flange Ø 12" x 4"	5
Tee All Flange Ø 6" x 3"	15
Reducing Flange Ø 4" x 3"	5
Reducing Flange Ø 3" x 2"	15
Resilent Gate Valve 3"	5
Resilent Gate Valve 2"	15
Flange Joint Ø 2"	15
Lap Flange Ø 3"	10
Pipa Galvanis Ø 3" (6 m)	3
Pipa PVC Ø 2" (6 m)	8

#### 4.3.4 Analisa Harga Pekerjaan

Setelah dilakukan perhitungan harga satuan pekerjaan dan volume bahan, kemudian disusun analisa harga pekerjaan untuk setiap jenis pekerjaan. Jenis pekerjaan yang digunakan adalah pekerjaan tanah, pekerjaan pemasangan, pengadaan *air valve* dan asesoris pemasangan, serta pekerjaan sambungan perpipaan. Perhitungan lengkap analisa harga pekerjaan untuk masing-masing jenis pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 4.51

**Tabel 4.51** Analisa Harga Pekerjaan

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>I</b>	<b>Pekerjaan Tanah</b>				
1	Galian Tanah	m3	4,653	Rp92.968,00	Rp432.580,10
2	Urugan Tanah	m3	4,653	Rp32.089,00	Rp149.310,12
3	Pemadatan Tanah	m3	4,653	Rp45.674,43	Rp212.523,12
<b>Jumlah Harga Pekerjaan Tanah</b>					<b>Rp794.413,34</b>
<b>II</b>	<b>Pekerjaan Pasangan</b>				
1	Pembuatan Thrustblock	m3	11,700	Rp1.180.194,87	Rp13.807.930,17
<b>Jumlah Harga Pekerjaan Pasangan</b>					<b>Rp13.807.930,17</b>
<b>III</b>	<b>Pengadaan Air Valve dan Asesoris Pemasangan</b>				
<b>1</b>	<b>Air Valve</b>				
	Bermad C10	buah	10	Rp8.835.866,00	Rp88.358.660,00
	Bermad C35	buah	2	Rp9.073.717,00	Rp18.147.434,00
	AVK 851/10	buah	4	Rp12.993.343,00	Rp51.973.372,00
	AVK 851/20	buah	1	Rp13.391.399,00	Rp13.391.399,00
	Bermad A35	buah	3	Rp6.806.270,00	Rp20.418.810,00
<b>Jumlah Harga Pengadaan Air Valve</b>					<b>Rp192.289.675,00</b>

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
<b>2</b>	<b>Asesoris Pemasangan</b>				
	Tee All Flange Ø 12" x 4"	buah	5	Rp2.944.300,00	Rp14.721.500,00
	Tee All Flange Ø 6" x 3"	buah	15	Rp2.750.950,00	Rp41.264.250,00
	Reducing Flange Ø 4" x 3"	buah	5	Rp136.500,00	Rp682.500,00
	Reducing Flange Ø 3" x 2"	buah	15	Rp97.050,00	Rp1.455.750,00
	Resilent Gate Valve 3"	buah	5	Rp3.252.210,00	Rp16.261.050,00
	Resilent Gate Valve 2"	buah	15	Rp3.221.550,00	Rp48.323.250,00
	Flange Joint Ø 2"	buah	15	Rp701.000,00	Rp10.515.000,00
	Lap Flange Ø 3"	buah	10	Rp293.350,00	Rp2.933.500,00
	Pipa Galvanis Ø 3" (6 m)	buah	3	Rp459.000,00	Rp1.377.000,00
	Pipa PVC Ø 2" (6 m)	buah	8	Rp180.600,00	Rp1.444.800,00
Universal Coupling Ø 2"	buah	15	Rp673.970,00	Rp10.109.550,00	
<b>Jumlah Harga Asesoris Pemasangan</b>					<b>Rp149.088.150,00</b>
<b>IV</b>	<b>Pekerjaan Sambungan Perpipaan</b>				
	Tee All Flange Ø 12" x 4"	buah	5	Rp32.753,00	Rp163.765,00
	Tee All Flange Ø 6" x 3"	buah	15	Rp26.123,00	Rp391.845,00
	Resilent Gate Valve 3"	buah	5	Rp46.709,00	Rp233.545,00
	Resilent Gate Valve 2"	buah	15	Rp45.604,00	Rp684.060,00
Universal Coupling Ø 2"	buah	15	Rp31.435,00	Rp471.525,00	
<b>Jumlah Harga Pekerjaan Perpipaan</b>					<b>Rp1.944.740,00</b>

#### 4.3.5 Rekapitulasi Anggaran Biaya

Setelah dilakukan perhitungan biaya untuk masing-masing detail kebutuhan perencanaan, dapat diperoleh rekapitulasi anggaran biaya untuk proses rehabilitasi *air valve*. Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 4.52

**Tabel 4.52** Rekapitulasi Anggaran Biaya

No.	Uraian Kegiatan	Harga
I	Pekerjaan Tanah	Rp794.413,34
II	Pekerjaan Pasangan	Rp13.807.930,17
III	Pengadaan Air Valve dan Asesoris Pelengkap	
	1. Air Valve	Rp192.289.675,00
	2. Asesoris Pelengkap	Rp149.088.150,00
IV	Pekerjaan Sambungan Perpipaan	Rp1.944.740,00
<b>Jumlah</b>		Rp357.924.908,51
<b>PPn 10%</b>		Rp35.792.490,85
<b>Jumlah Total</b>		Rp393.717.399,36
<b>Dibulatkan</b>		<b>Rp393.717.000,00</b>

Jadi, kebutuhan total seluruh biaya rehabilitasi *air valve* adalah sebesar **Rp 393.717.000,00** (terbilang: tiga ratus sembilan puluh tiga juta tujuh ratus tujuh belas ribu rupiah)

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Air valve* pada pipa utama distribusi Reservoir Buring PDAM Kota Malang perlu untuk dilakukan rehabilitasi agar sesuai dengan *AWWA Manual M51 Standard*. Proses rehabilitasi meliputi pergantian, pemindahan posisi pemasangan, dan penambahan jumlah *air valve*. Rehabilitasi masing-masing jalur adalah sebagai berikut:
  - a) Jalur Buring Tengah – BTU  
Pada *air valve* eksisting pada segmen 6-7 perlu dipindahkan ke node 6 dan pada node 8 perlu dipindahkan pada node 9. Kemudian perlu ditambahkan *combination valve (small orifice: 3/32 in dan large orifice: 2 in)* sebanyak 5 buah; *combination valve (small orifice: 3/16 in dan large orifice: 2 in)* sebanyak 1 buah; dan *air vacuum valve (large orifice: 2 in)* sebanyak 2 buah.
  - b) Jalur Buring Bawah – Sawojajar  
Pada *air valve* eksisting pada node 14 perlu dipindahkan pada node 12. Kemudian perlu ditambahkan *combination valve (small orifice: 3/32 in dan large orifice: 3 in)* sebanyak 4 buah; dan *combination valve (small orifice: 3/16 in dan large orifice: 3 in)* sebanyak 1 buah.
  - c) Jalur Buring Atas – Jabal Nur  
Perlu ditambahkan *combination valve (small orifice: 3/32 in dan large orifice: 2 in)* sebanyak 7 buah; *combination valve (small orifice: 3/16 in dan large orifice: 2 in)* sebanyak 1 buah; dan *air vacuum valve (large orifice: 2 in)* sebanyak 1 buah.
2. Total rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk proses rehabilitasi *air valve* adalah sebesar Rp 393.717.000,00

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil evaluasi ini adalah perlunya dilakukan perbandingan kondisi *air valve* sebelum

dan sesudah proses rehabilitasi dilakukan. Sehingga dapat diketahui secara pasti pengaruh pemasangan *air valve* terhadap efektifitas sistem pengaliran dan kuantitas perbaikan kerusakan terhadap sistem perpipaan yang dievaluasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Water Works Association (AWWA) M51 Manual Standard, Second Edition. 2016. **Air Release, Air Vacuum, and Combination Air Valve.**
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2018. **Kota Malang Dalam Angka 2017.** Kota Malang
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. **SNI 7511:2011 tentang Tata Cara Pemasangan Pipa Transmisi dan Pipa Distribusi Serta Bangunan Pelintas Pipa.** Jakarta: BSN
- E.B. Wylie, V.L. Streeter. 1993. **Fluid Transients in Systems.** New Jersey: Ed. Prentice Hall
- Izquierdo.J and Iglesias.P.L. 2002. **“Mathematical Modeling of Hydraulic Transients in Simple Systems”.** **Mathematical and Computer Modeling,** Valencia: Polytechnic University of Valencia. Vol.35, No.7
- Jianfeng Tang, Maixiang Xie and Jianguo Yin. 1999. **Power-speed Intake and Exhaust Valves”.** **Valve.** Xi'an: Chang'an University master's degree thesis
- Karassik, Igor J. 2001. **Pump Handbook.** New York: McGraw Hill
- Lee.T.S. and Leow.L.C. 1999. **Numerical Study on the Effects of Air Valve Characteristics on Pressure Surges During Pump Trip in Pumping Systems with Air Entrainment.** International journal for numerical methods in fluids. Vol.29 No.6,
- Li.G, Baggett.C.C. and Rosario.R.A. 2009. **Air/Vacuum Valve Breakage Caused by Pressure Surges-Analysis and Solution.** World Environmental and Water Resources Congress 2009. pp: 112-121.
- Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016. **Operasi dan Proses Pengolahan Air, Edisi Kedua.** Surabaya: ITS Press
- McIntosh, Arthur C. 2003. **Reaching the Urban Poor - A Guide and Sourcebook on Urban Water Supplies in Asia for**

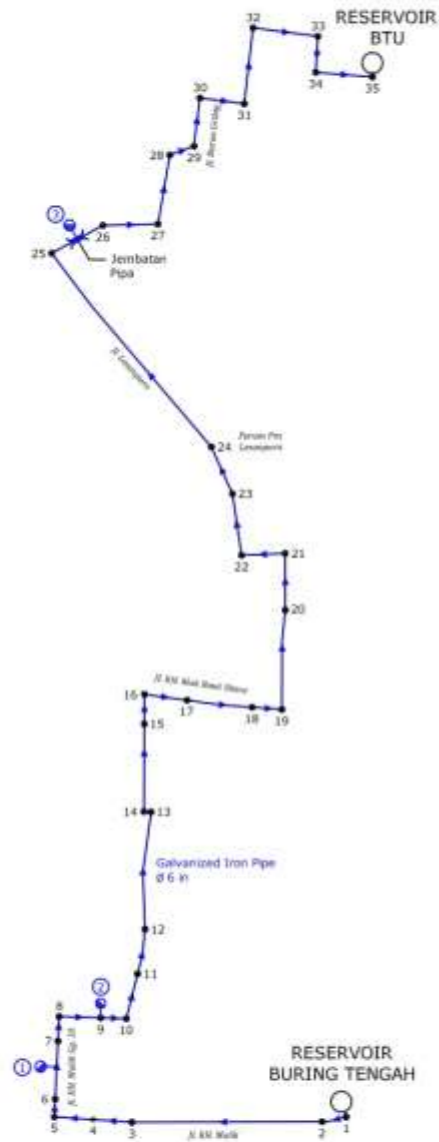
- Governments, Utilities.** Asian Developments Bank: Asian Water Supplies
- P.L. Iglesias-Rey, V.S. Fuertes-Miquel, F.J. García-Mares. 2014. **Comparative Study of Intake and Exhaust Air Flows of Different Comercial Air Valve.** Valencia: Polytechnic University of Valencia.
- Punmia, B. C. 2005. **Water Supply Engineering Volume 1.** University of Jodhpur
- Saparina. 2017. **Penurunan Kehilangan Air di Sistem Distribusi Air Minum PDAM Kota Malang.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Triatmojo, B. 2008. **Hidrolika II.** Yogyakarta: Beta Offset
- Val-Matic Valve & Mfg. Corp. 2015. **Theory, Application, and Sizing Air Valves**
- V.S. Fuertes. 2001. **Hydraulic transients with entrapped air pockets, PhD Thesis, Department of Hydraulic Engineering,** Valencia: Polytechnic University of Valencia.
- V.S. Fuertes-Miquel, P.L. Iglesias-Rey, F.J. García-Mares, D. Mora-Meliá. 2009. **Air Valves Behavior: Comparison Between Compressible and Incompressible Modelling, Environmental Hydraulics - Theoretical, Experimental and Computational Solutions, Proceedings of the International Workshop on Environmental Hydraulics.** Valencia: Polytechnic University of Valencia.
- Website PDAM Kota Malang <http://www.pdamkotamalang.com/>
- Wu, Yuebin, Ying Xu, Cunteng Wang. 2015. **Research on Air Valves.** Heilongjiang: Harbin University
- Zumdahl, Steven S. 1997. **Chemistry, third edition.** New York: McGraw Hill



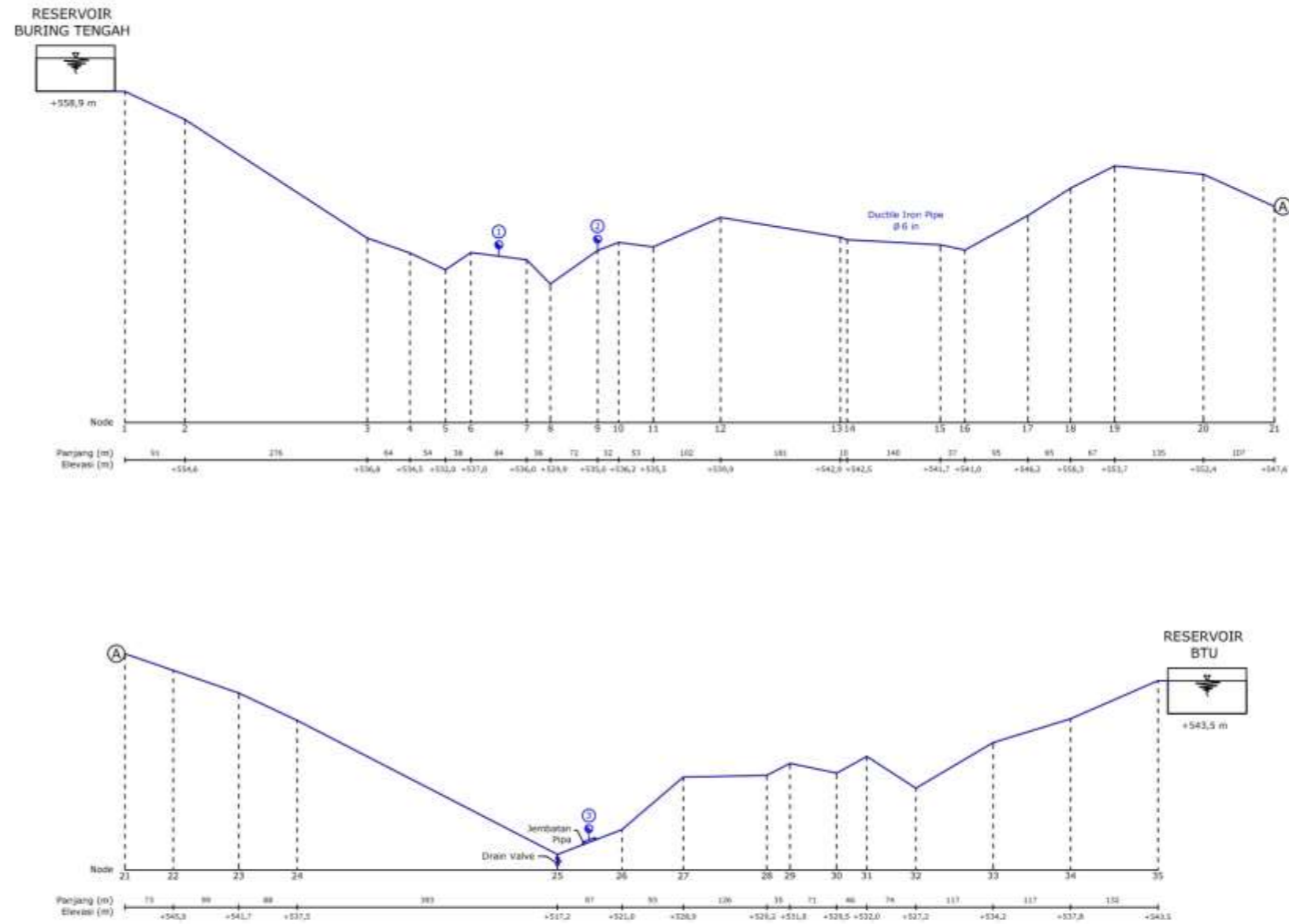
**Lampiran A.** Eksisting Titik Pemasangan *Air Valve*

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

### PETA JARINGAN PIPA



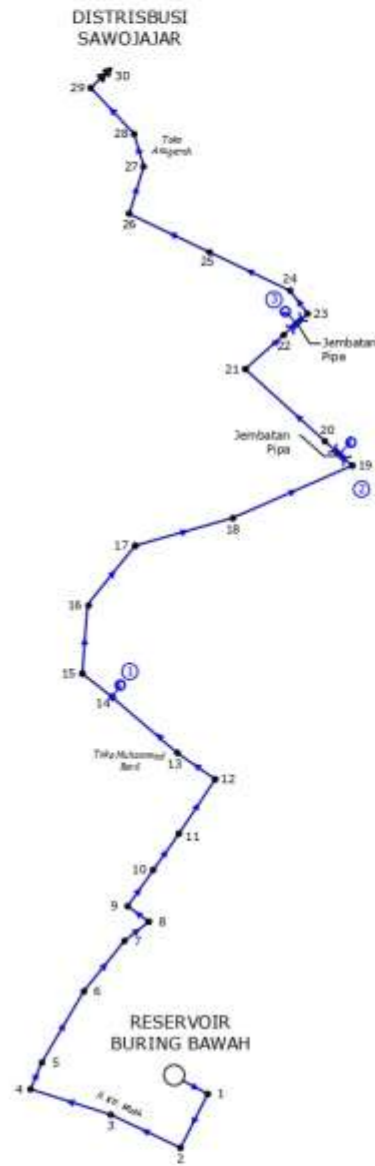
### PROFIL HIDROLIS PIPA



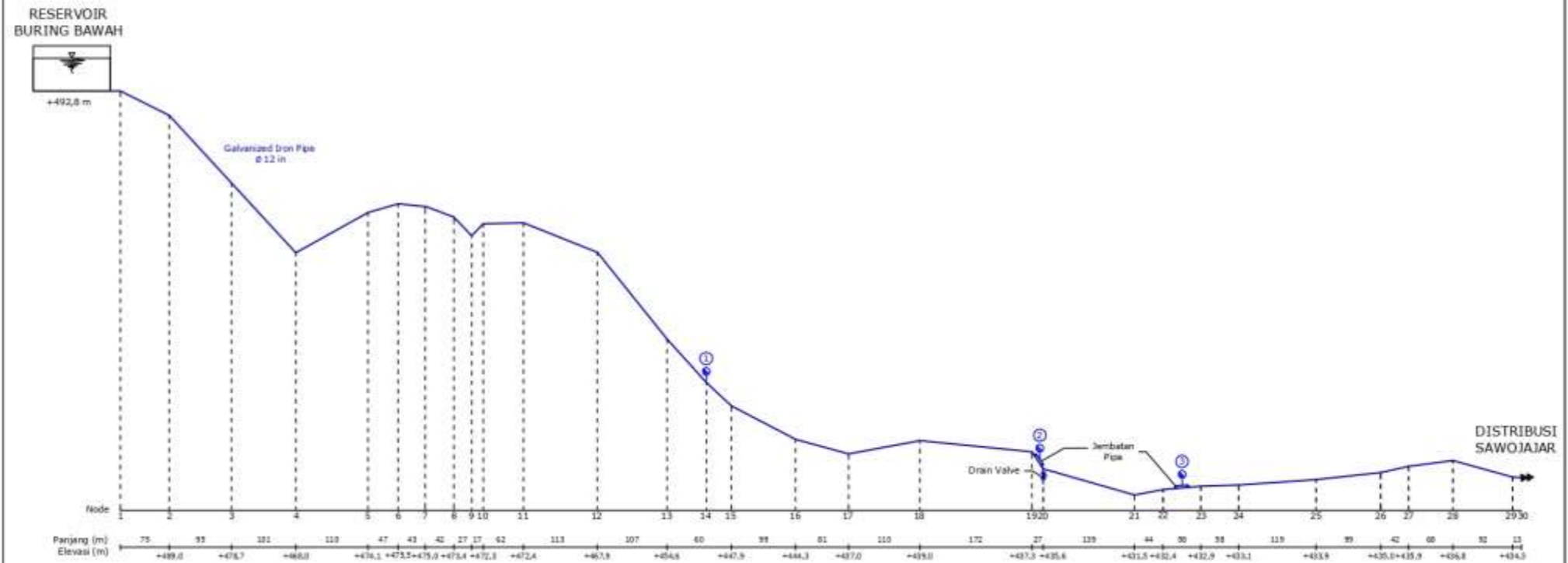
PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

JUDUL GAMBAR	SKALA PROFIL PENANAMAN	DRAFTER	JENIS AIR VALVE	SUMBER DATA
EKSISTING TITIK PEMASANGAN AIR VALVE PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU	SKALA VERTIKAL 1 : 750	MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091	○ Air Release Valve ● Air Vacuum Valve ● Combination Valve	1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" FDAM Kota Malang Tahun 2019 2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".
SKALA PETA JARINGAN	SKALA HORIZONTAL 1 : 7,500	SUPERVISOR	NOMOR GAMBAR	
SKALA 1 : 10,000		DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	1	

**PETA JARINGAN PIPA**



**PROFIL HIDROLIS PIPA**



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

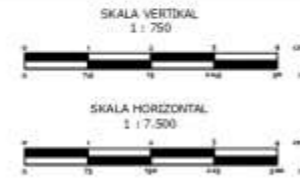
**JUDUL GAMBAR**

EKSISTING TITIK PEMASANGAN AIR VALVE  
PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU

**SKALA PETA JARINGAN**



**SKALA PROFIL PENANAMAN**



**DRAFTER**

MOHAMMAD AULIAULQUBRO  
032114000091

**SUPERVISOR**

DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

**JENIS AIR VALVE**

- Air Release Valve
- Air Vacuum Valve
- Combination Valve

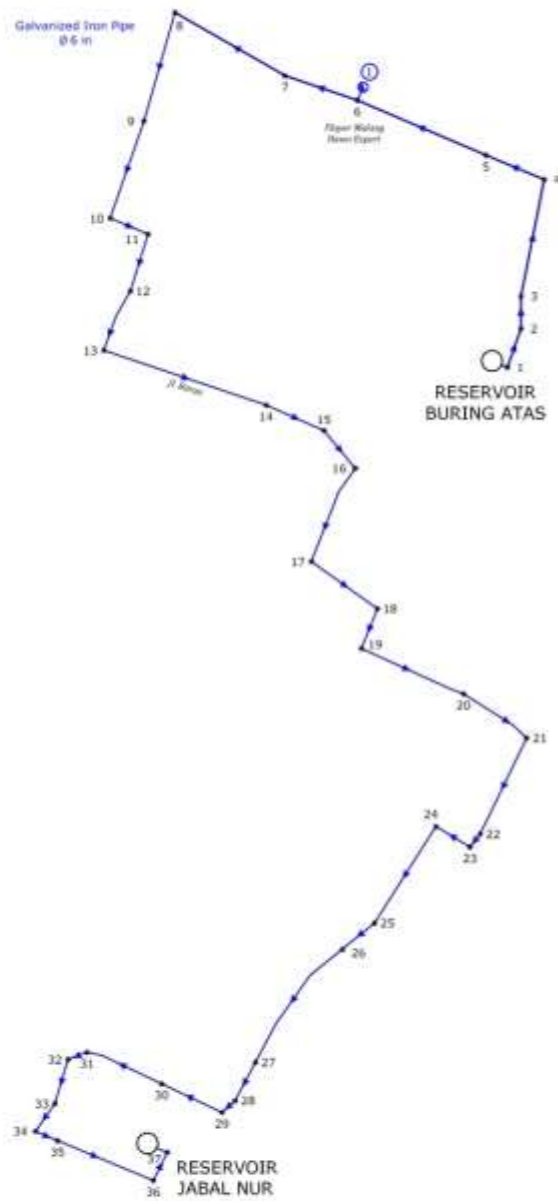
**NOMOR GAMBAR**

2

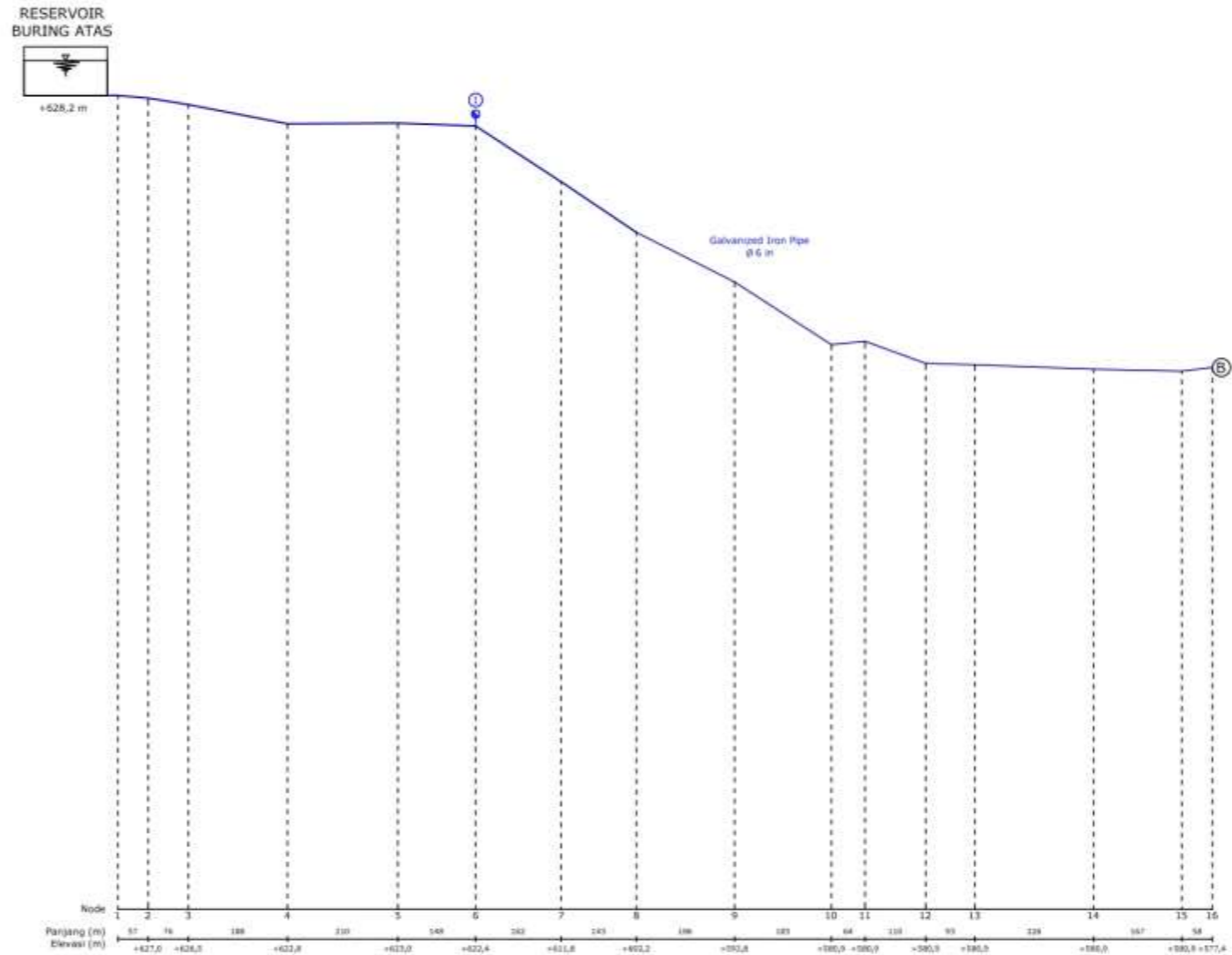
**SUMBER DATA**

1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019
2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".

**PETA JARINGAN PIPA**



**PROFIL HIDROLIS PIPA**



**PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

**JUDUL GAMBAR**

EKSISTING TITIK PEMASANGAN AIR VALVE  
PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU

**SKALA PETA JARINGAN**



**SKALA PROFIL PENANAMAN**

SKALA VERTIKAL  
1 : 750



SKALA HORIZONTAL  
1 : 7.500



**DRAFTER**

MOHAMMAD AULIAULQUBRO  
032114000091

**SUPERVISOR**

DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

**JENIS AIR VALVE**

- Air Release Valve
- Air Vacuum Valve
- Combination Valve

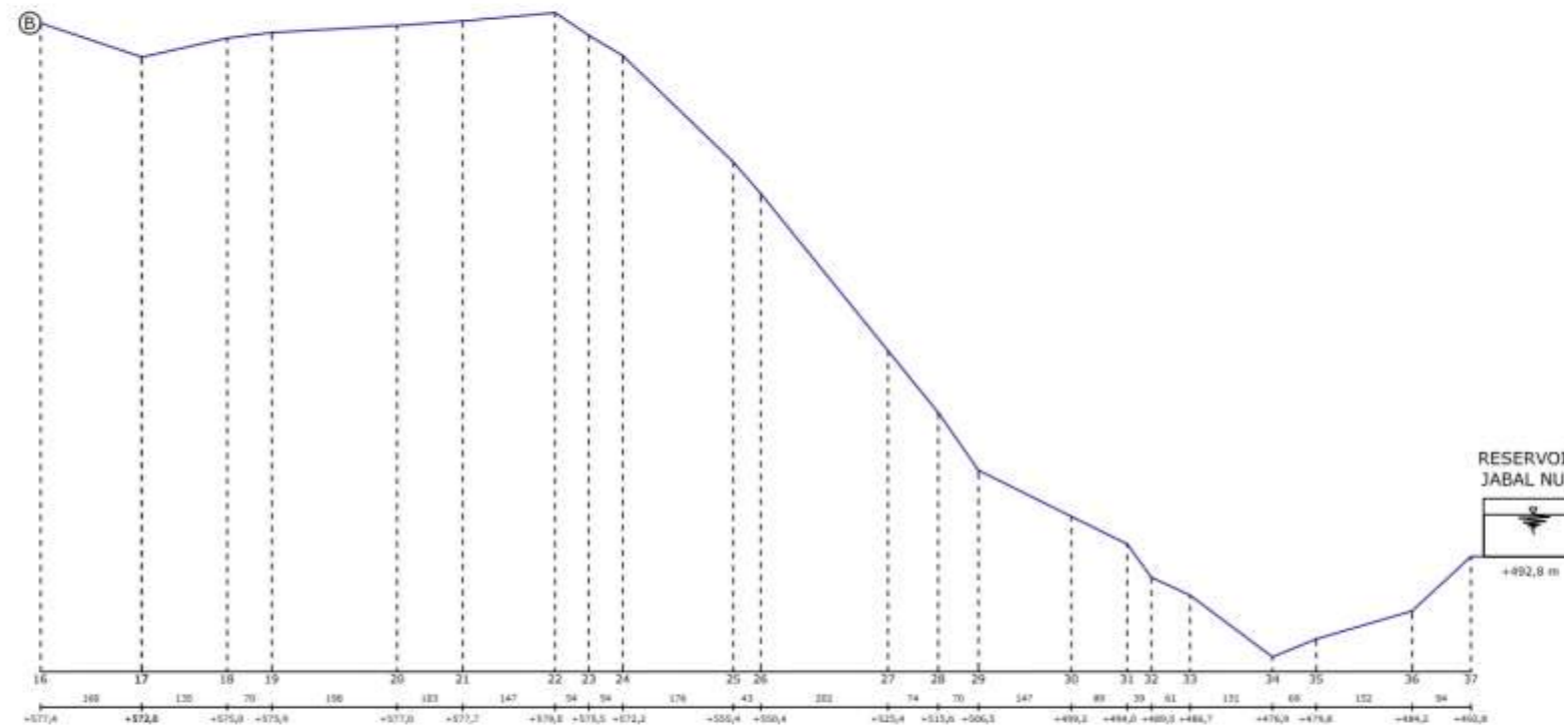
**NOMOR GAMBAR**

3

**SUMBER DATA**

1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019
2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".

PROFIL HIDROLIS PIPA



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

JUDUL GAMBAR

EKSISTING TITIK PEMASANGAN AIR VALVE  
PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU

SKALA PETA JARINGAN



SKALA PROFIL PENANAMAN

SKALA VERTIKAL  
1 : 750



SKALA HORIZONTAL  
1 : 7.500



DRAFTER

MOHAMMAD AULIAULQUBRO  
032114000091

SUPERVISOR

DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

JENIS AIR VALVE

- Air Release Valve
- Air Vacuum Valve
- Combination Valve

NOMOR GAMBAR

4

SUMBER DATA

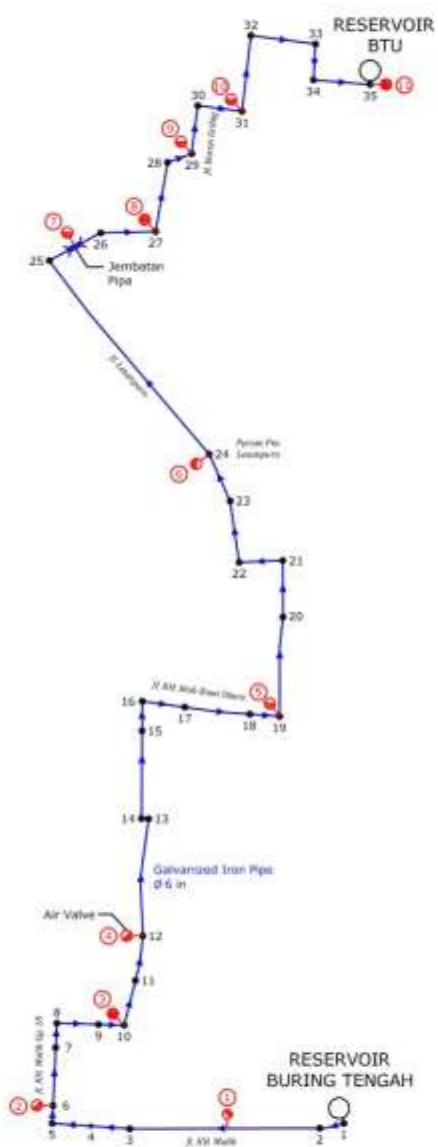
1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019
2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".

**Lampiran B.** Titik Pemasangan *Air Valve* sesuai *AWWA Manual M51 Standard*

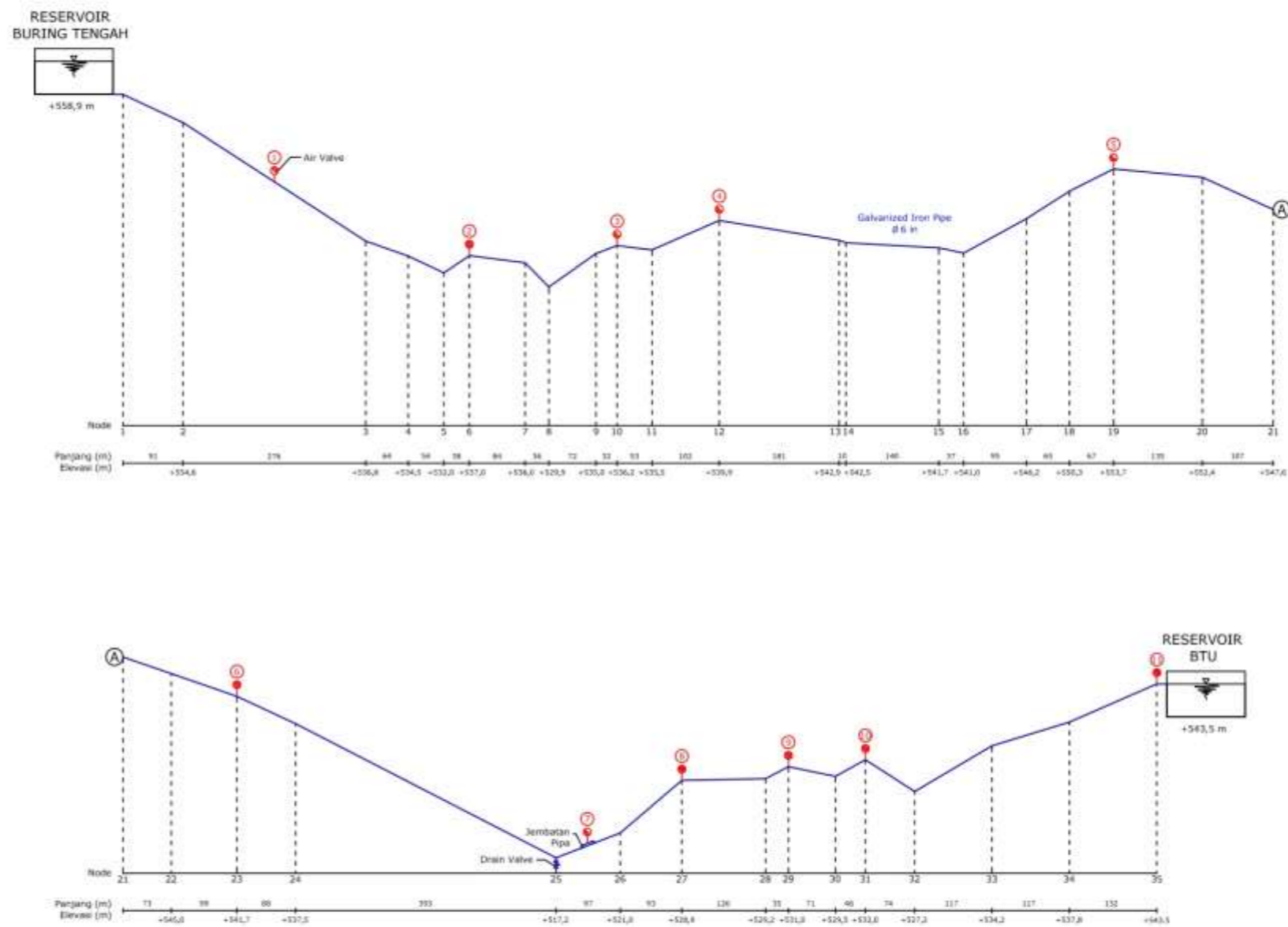
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



### PETA JARINGAN PIPA



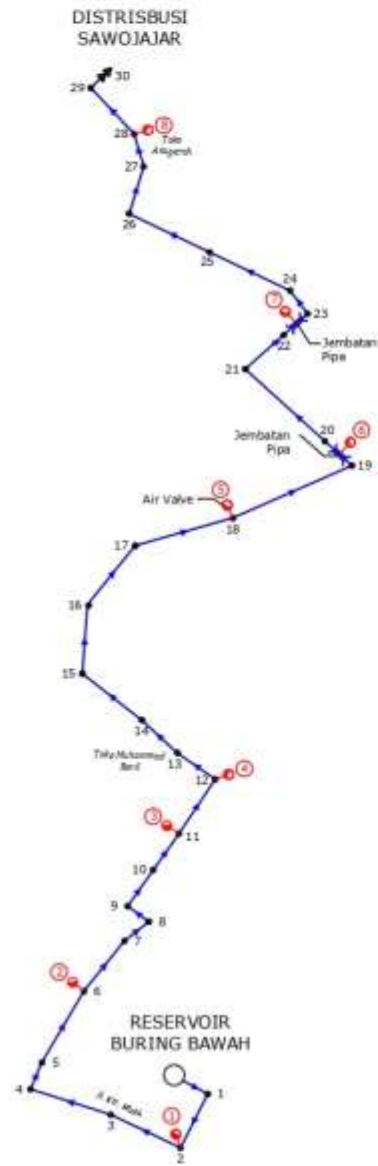
### PROFIL PENANAMAN PIPA



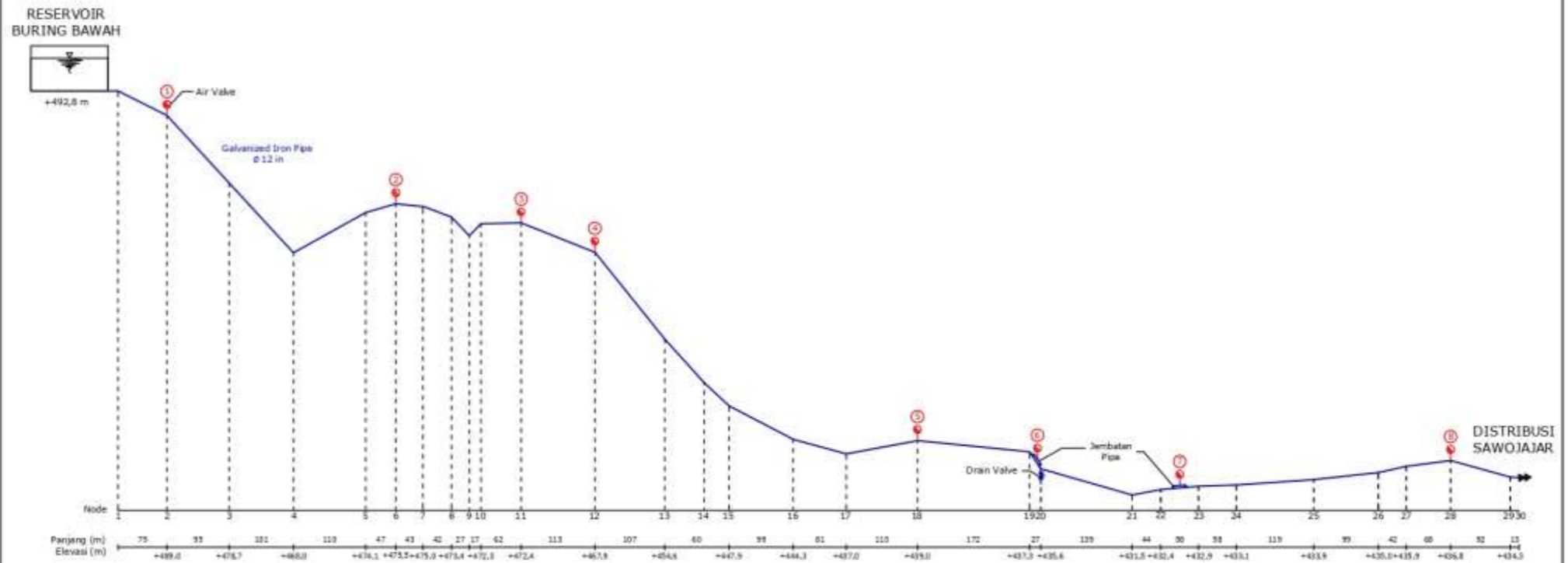
PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

JUDUL GAMBAR	SKALA PROFIL PENANAMAN	DRAFTER	JENIS AIR VALVE	SUMBER DATA
TITIK PEMASANGAN AIR VALVE SESUAI AWWA MANUAL M51 STANDARD PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU	SKALA VERTIKAL 1 : 750	MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091	○ Air Release Valve ● Air Vacuum Valve ● Combination Valve	1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019 2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".
SKALA PETA JARINGAN	SKALA HORIZONTAL 1 : 7.500	SUPERVISOR	NOMOR GAMBAR	
SKALA 1 : 10.000		DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	5	

**PETA JARINGAN PIPA**



**PROFIL HIDROLIS PIPA**



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

**JUDUL GAMBAR**

TITIK PEMASANGAN AIR VALVE SESUAI  
AWWA MANUAL M51 STANDARD  
PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU

**SKALA PETA JARINGAN**



**SKALA PROFIL PENANAMAN**



**DRAFTER**

MOHAMMAD AULIAULQUBRO  
032114000091

**SUPERVISOR**

DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

**JENIS AIR VALVE**

- Air Release Valve
- Air Vacuum Valve
- Combination Valve

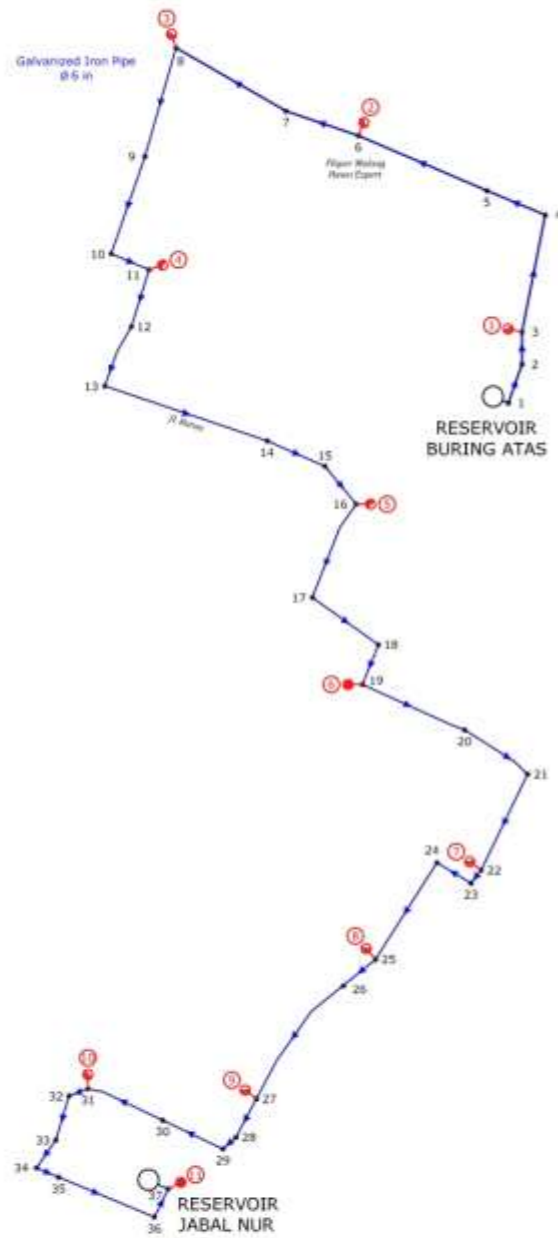
**NOMOR GAMBAR**

6

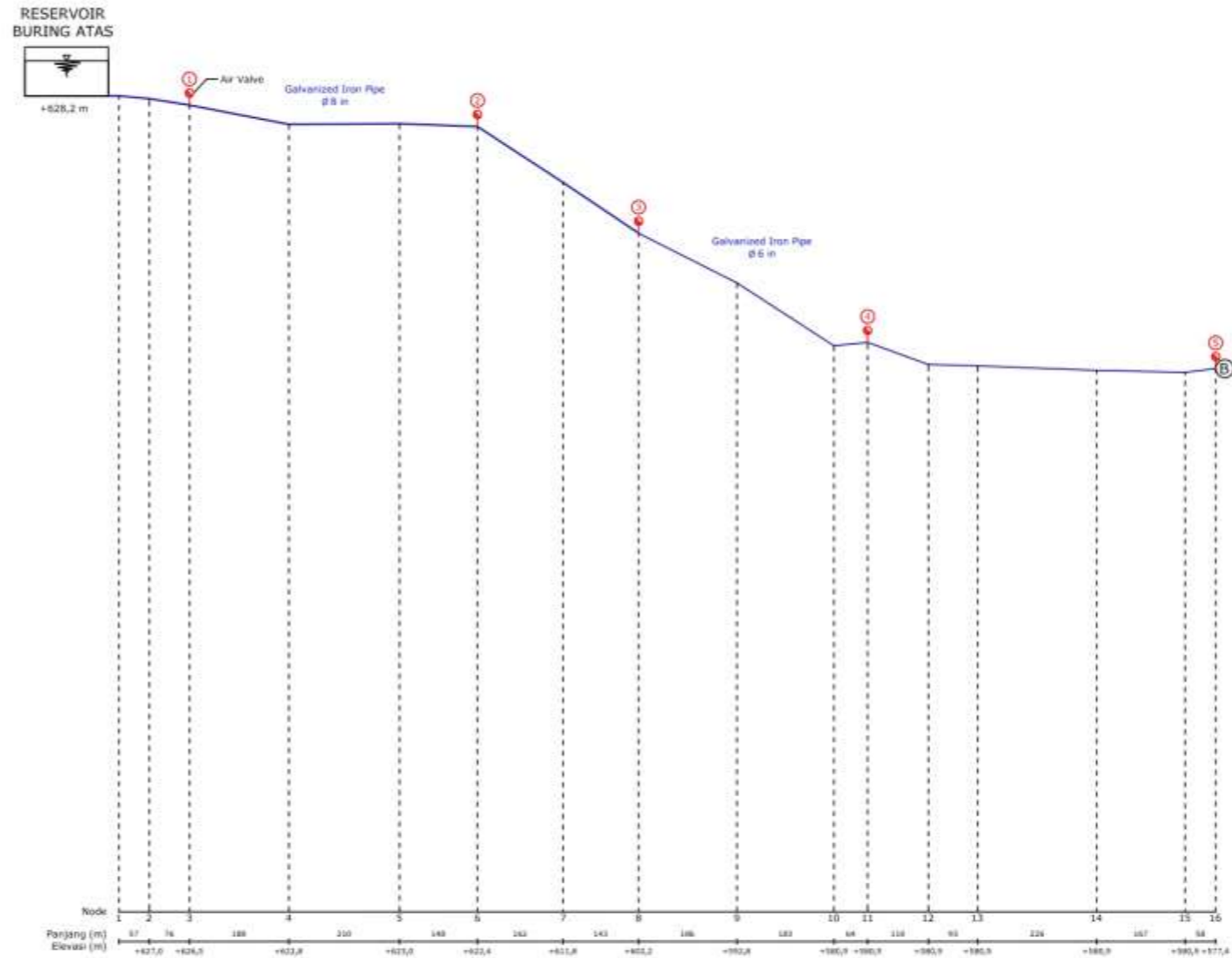
**SUMBER DATA**

1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019
2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".

**PETA JARINGAN PIPA**



**PROFIL HIDROLIS PIPA**



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

**JUDUL GAMBAR**

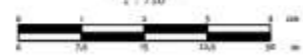
TITIK PEMASANGAN AIR VALVE SESUAI  
AWWA MANUAL M51 STANDARD  
PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU

**SKALA PETA JARINGAN**

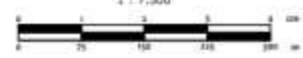


**SKALA PROFIL PENANAMAN**

SKALA VERTIKAL  
1 : 750



SKALA HORIZONTAL  
1 : 7.500



**DRAFTER**

MOHAMMAD AULIAULQUBRO  
032114000091

**SUPERVISOR**

DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

**JENIS AIR VALVE**

- Air Release Valve
- Air Vacuum Valve
- Combination Valve

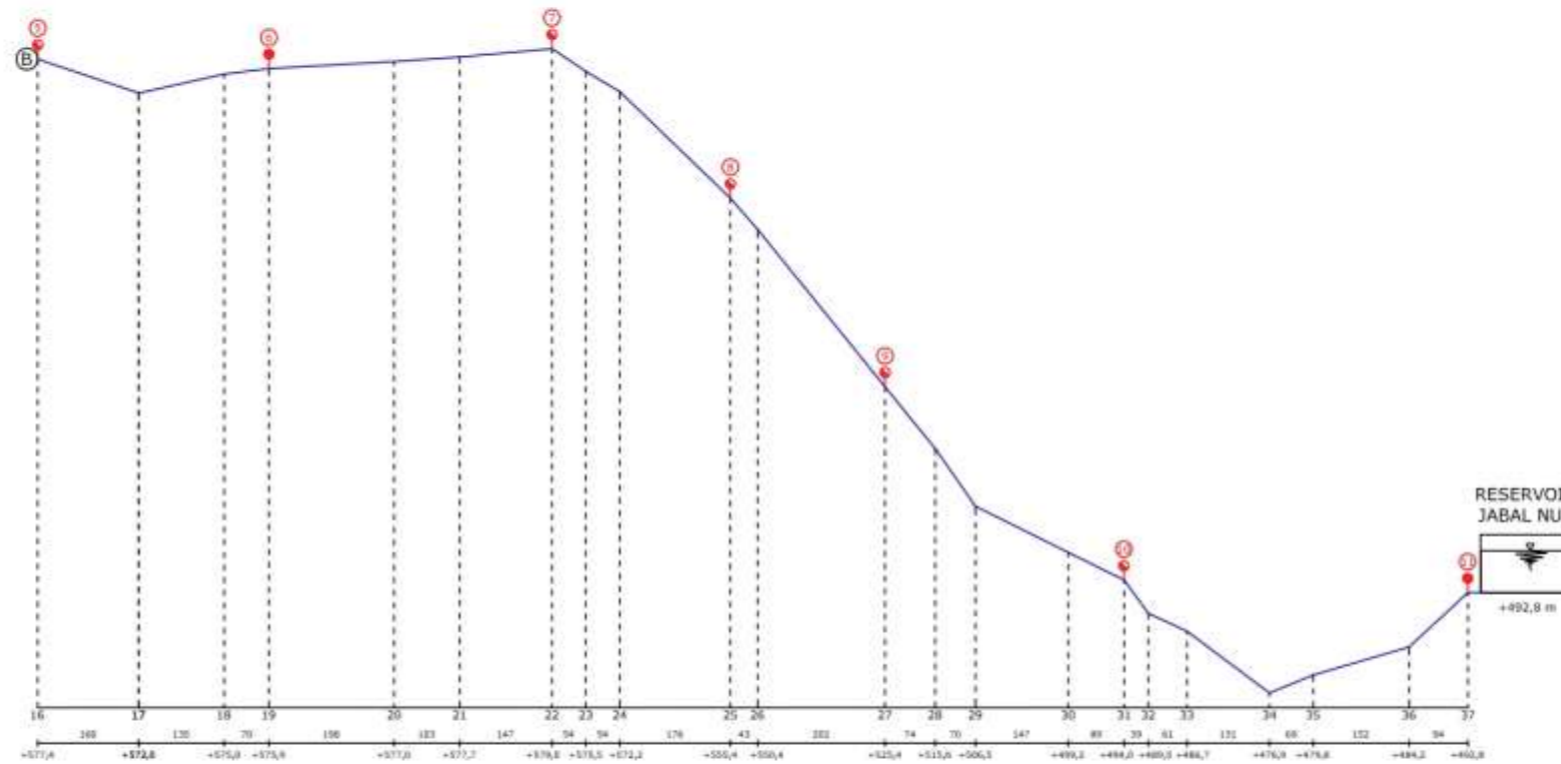
**NOMOR GAMBAR**

7

**SUMBER DATA**

1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019
2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".

PROFIL HIDROLIS PIPA



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

JUDUL GAMBAR	SKALA PROFIL PENANAMAN	DRAFTER	JENIS AIR VALVE	SUMBER DATA
TITIK PEMASANGAN AIR VALVE SESUAI AWWA MANUAL M51 STANDARD PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU	SKALA VERTIKAL 1 : 750 	MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091	Air Release Valve Air Vacuum Valve Combination Valve	1. Peta Jalur Pipa dalam Software "Water Office" PDAM Kota Malang Tahun 2019 2. Peta Citra Satelit dalam Software "Measure Maps".
SKALA PETA JARINGAN	SKALA HORIZONTAL 1 : 7.500 	SUPERVISOR	NOMOR GAMBAR	
SKALA 1 : 10.000 		DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	8	

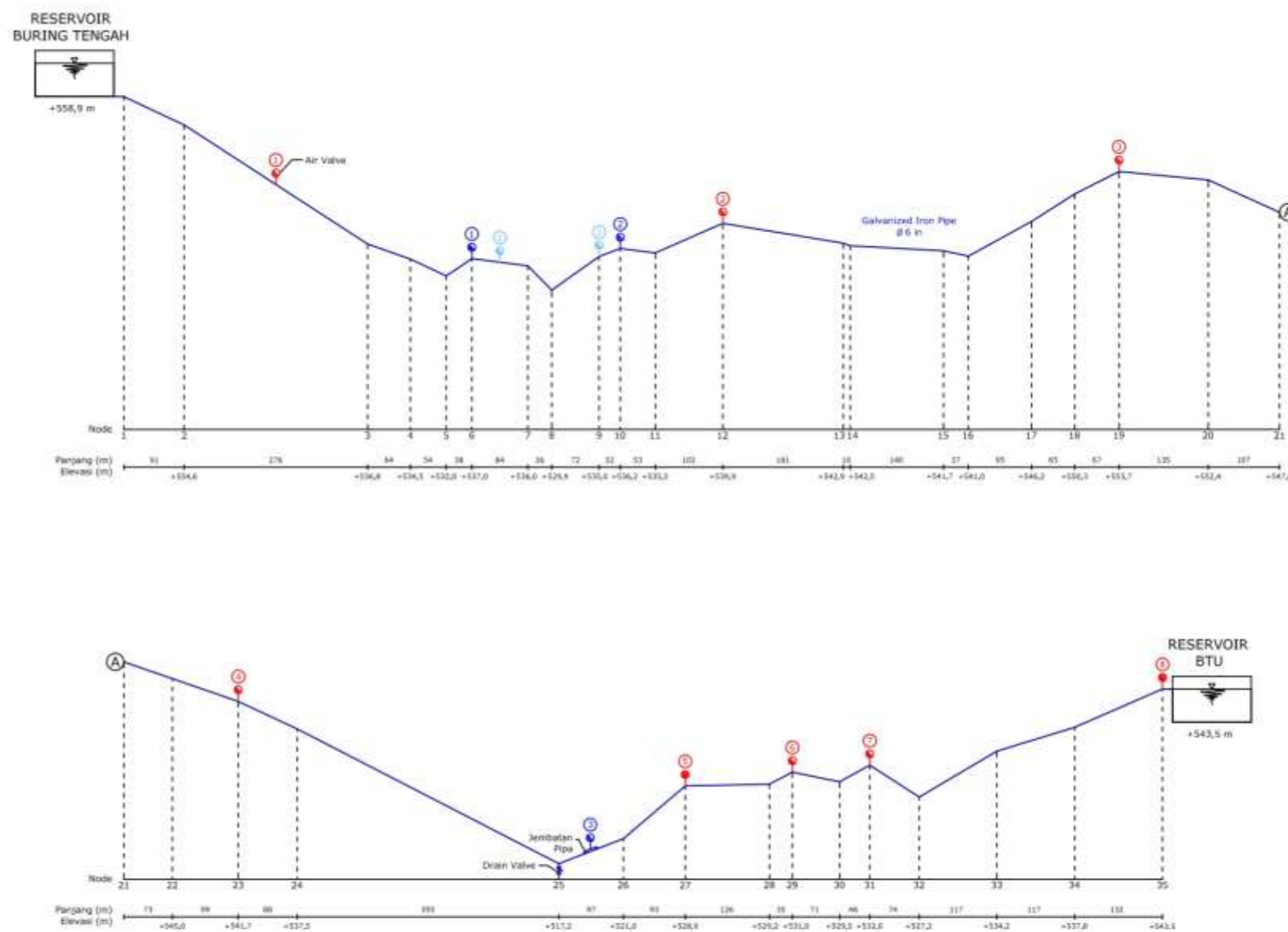
**Lampiran C.** Rencana Rehabilitasi Titik Pemasangan *Air Valve*

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**PETA JARINGAN PIPA**



**PROFIL PENANAMAN PIPA**



**PROGRAM SARJANA**  
**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2019**

<b>JUDUL GAMBAR</b>
RENCANA REHABILITASI TITIK PEMASANGAN AIR VALVE PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU
<b>SKALA PETA JARINGAN</b>
SKALA 1 : 10.000

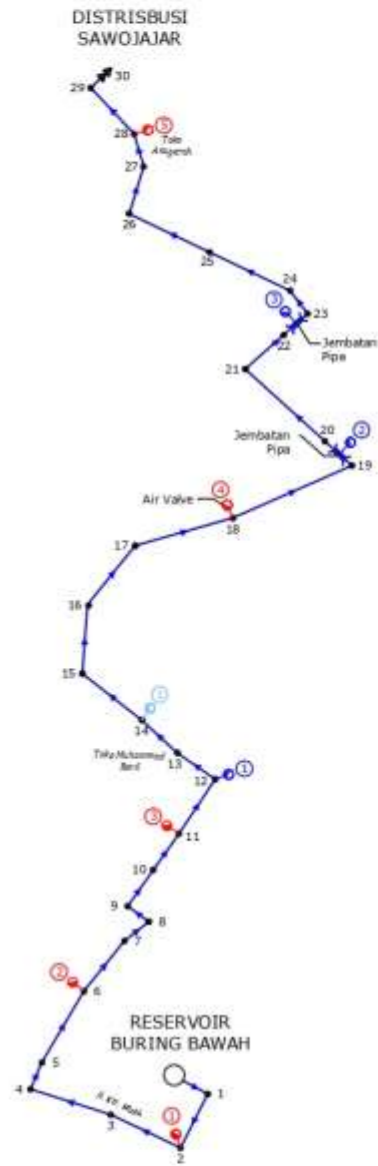
<b>SKALA PROFIL PENANAMAN</b>
SKALA VERTIKAL 1 : 750
SKALA HORIZONTAL 1 : 7.500

<b>DRAFTER</b>
MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091
<b>SUPERVISOR</b>
DR. ALI MASDUQI, ST., MT.

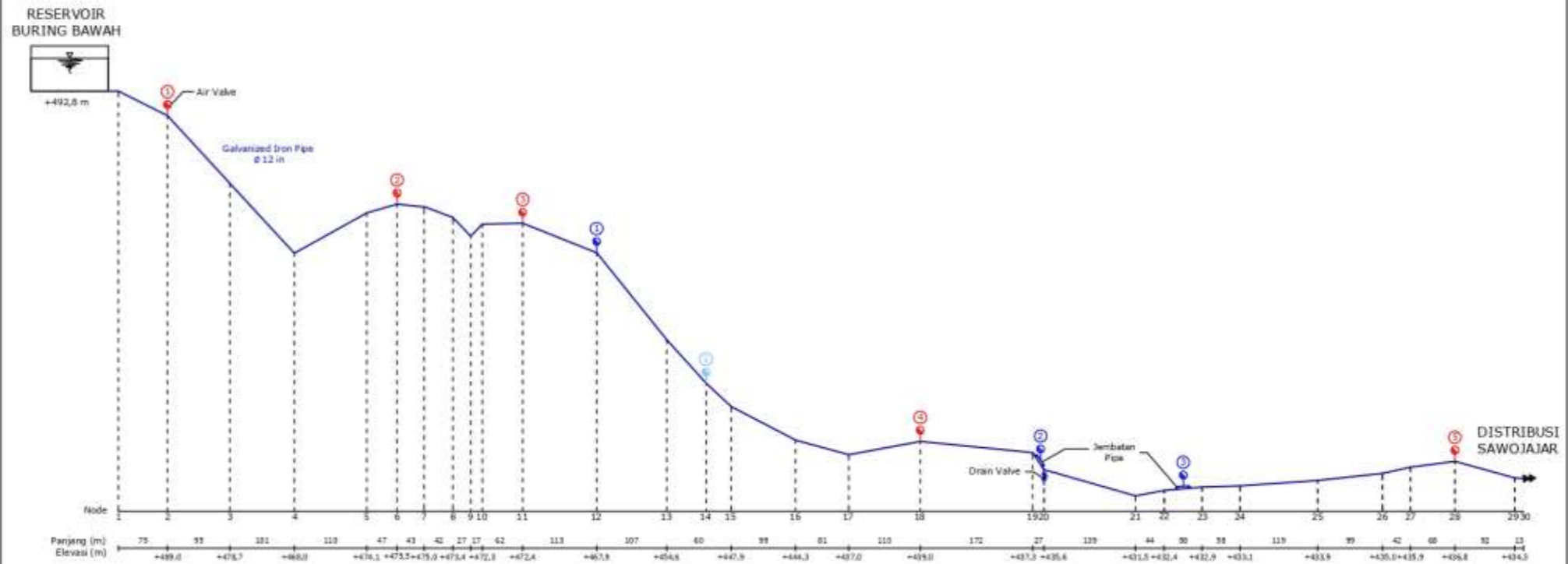
<b>JENIS AIR VALVE</b>
○ Air Release Valve ● Air Vacuum Valve ● Combination Valve
<b>NOMOR GAMBAR</b>
9

<b>LEGENDA</b>
● Penambahan Air Valve Baru ● Posisi Air Valve Terpasang Sesuai AWWA M51 Standard ● Posisi Awal Air Valve Terpasang yang Diperlukan Pemindahan

**PETA JARINGAN PIPA**



**PROFIL HIDROLIS PIPA**

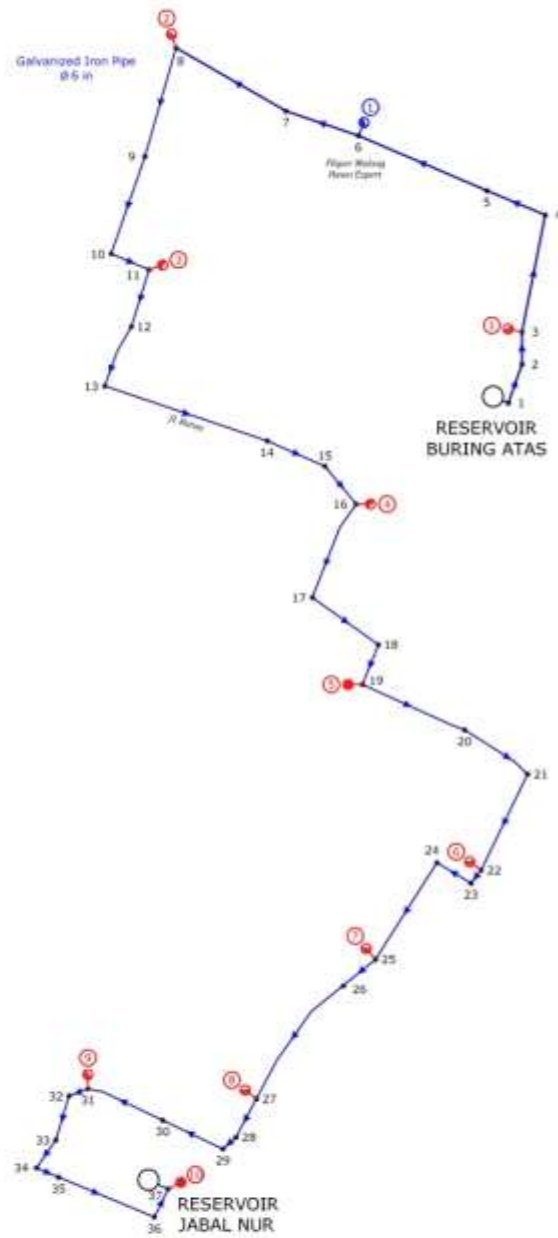


PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

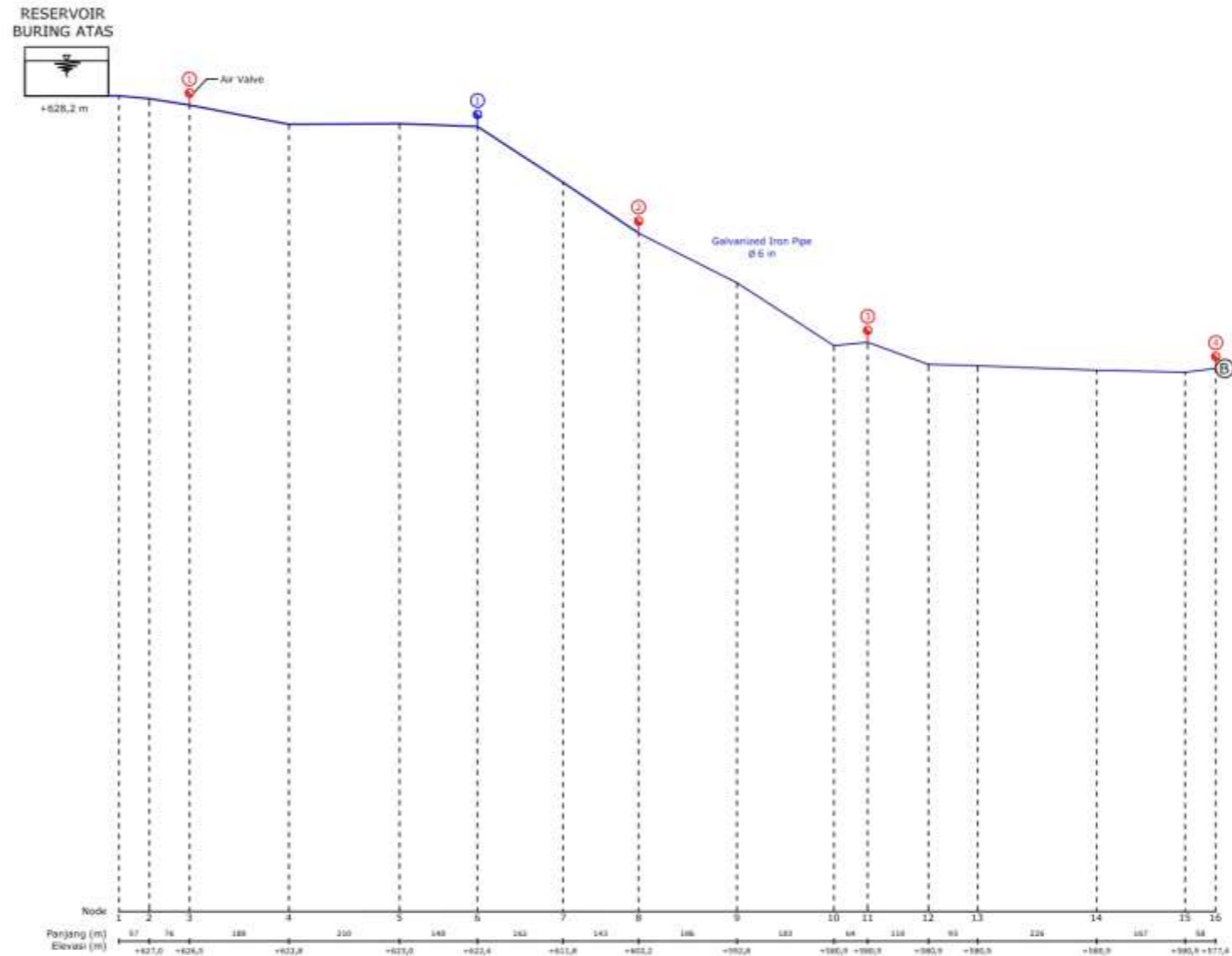
JUDUL GAMBAR	SKALA PROFIL PENANAMAN	DRAFTER	JENIS AIR VALVE	KETERANGAN
RENCANA REHABILITASI TITIK PEMASANGAN AIR VALVE PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU	SKALA VERTIKAL 1 : 750 	MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">○</span> Air Release Valve</li> <li><span style="color: red;">●</span> Air Vacuum Valve</li> <li><span style="color: red;">●</span> Combination Valve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">●</span> Penambahan Air Valve Baru</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Posisi Air Valve Terpasang Sesuai AWWA M51 Standard</li> <li><span style="color: lightblue;">●</span> Posisi Awal Air Valve Terpasang yang Diperlukan Pemindahan</li> </ul>
SKALA PETA JARINGAN	SKALA HORIZONTAL 1 : 7.500 	SUPERVISOR	NOMOR GAMBAR	
		DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	10	



**PETA JARINGAN PIPA**



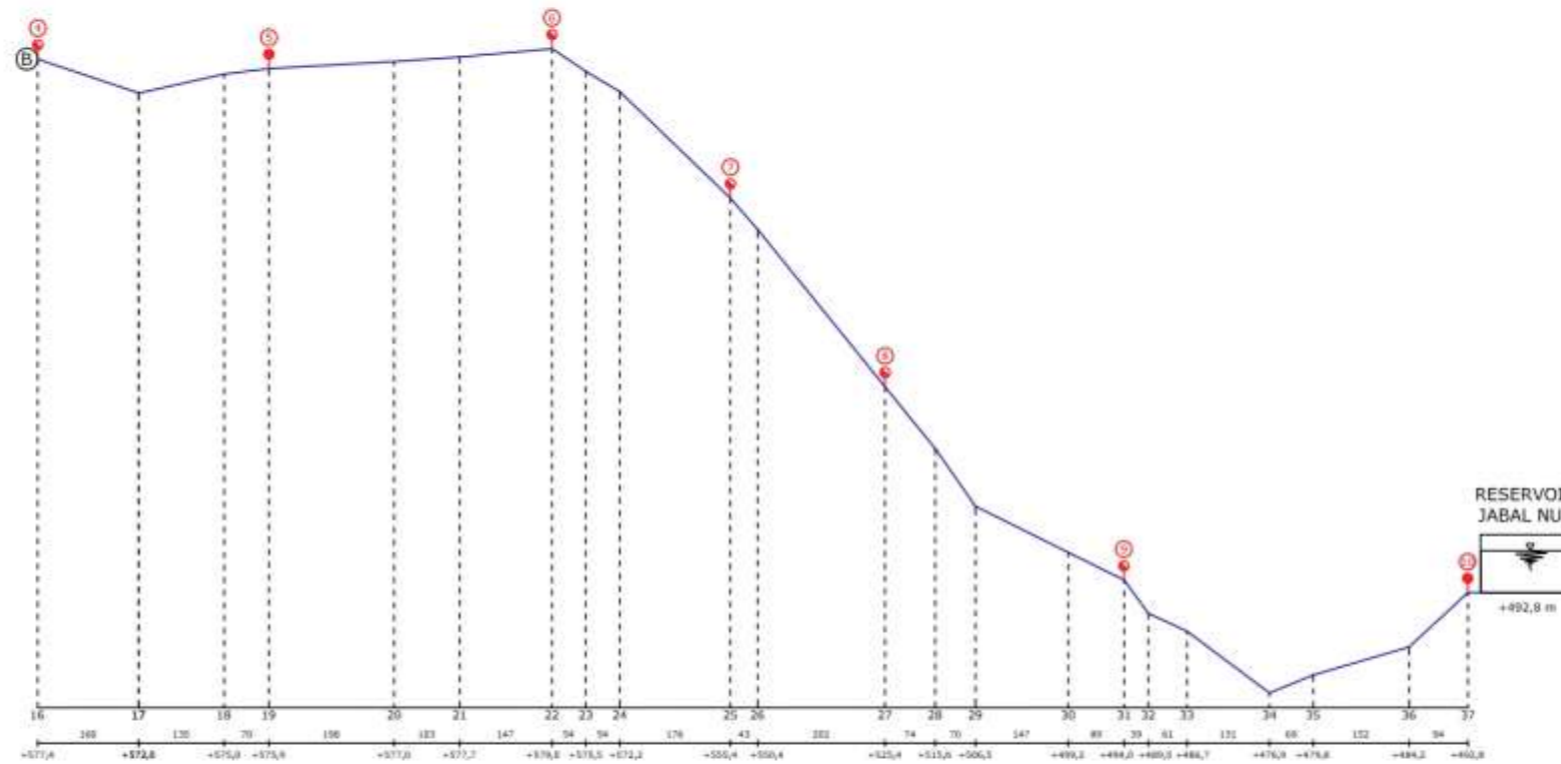
**PROFIL HIDROLIS PIPA**



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

JUDUL GAMBAR	SKALA PROFIL PENANAMAN	DRAFTER	JENIS AIR VALVE	KETERANGAN
RENCANA REHABILITASI TITIK PEMASANGAN AIR VALVE PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU	SKALA VERTIKAL 1 : 750	MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Air Release Valve</li> <li>● Air Vacuum Valve</li> <li>● Combination Valve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Penambahan Air Valve Baru</li> <li>● Posisi Air Valve Terpasang Sesuai AWWA M51 Standart</li> <li>● Posisi Awal Air Valve Terpasang yang Diperlukan Pemindahan</li> </ul>
SKALA PETA JARINGAN	SKALA HORIZONTAL 1 : 7.500	SUPERVISOR	NOMOR GAMBAR	
SKALA 1 : 10.000		DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	11	

PROFIL HIDROLIS PIPA

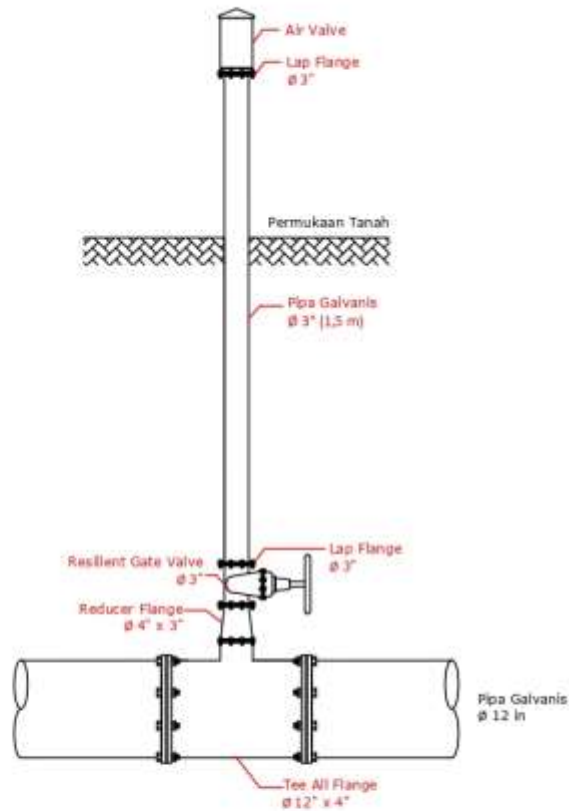


PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

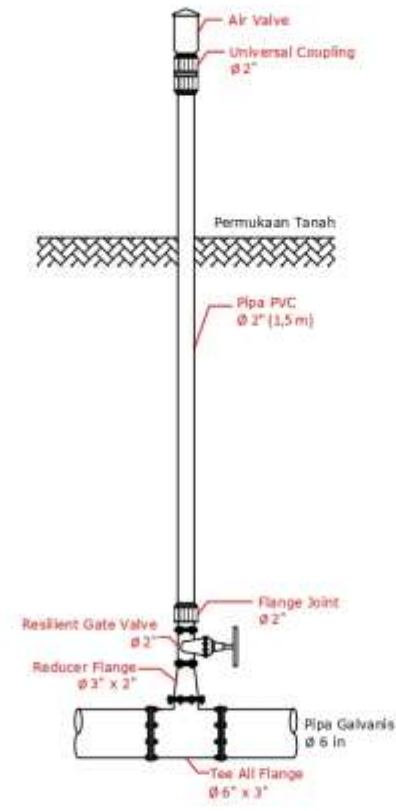
JUDUL GAMBAR	SKALA PROFIL PENANAMAN	DRAFTER	JENIS AIR VALVE	KETERANGAN
RENCANA REHABILITASI TITIK PEMASANGAN AIR VALVE PADA JALUR PIPA BURING TENGAH - BTU	SKALA VERTIKAL 1 : 750 	MOHAMMAD AULIAULQUBRO 032114000091	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Air Release Valve</li> <li>● Air Vacuum Valve</li> <li>● Combination Valve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Penambahan Air Valve Baru</li> <li>● Posisi Air Valve Terpasang Sesuai AWWA M51 Standart</li> <li>● Posisi Awal Air Valve Terpasang yang Diperlukan Pemindahan</li> </ul>
SKALA PETA JARINGAN	SKALA HORIZONTAL 1 : 7.500 	SUPERVISOR	NOMOR GAMBAR	
SKALA 1 : 10.000 		DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	12	

**Lampiran D.** Detail Pemasangan *Air Valve* dan *Thrustblock*

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



**FLANGE INLET CONNECTION**

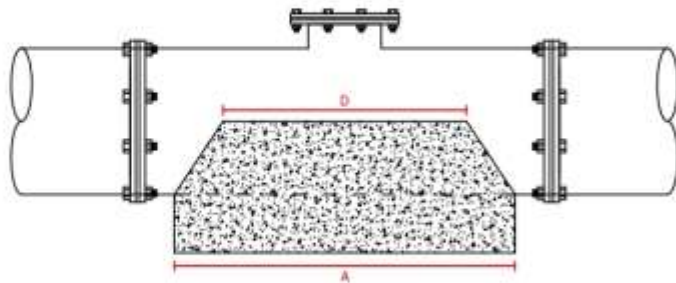


**THREAD INLET CONNECTION**

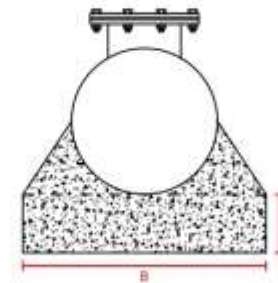


PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

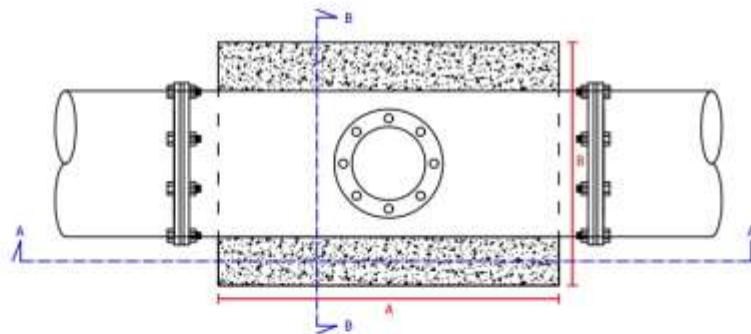
JUDUL TUGAS	NAMA MAHASISWA	SKALA GAMBAR	SUMBER DATA
DETAIL PEMASANGAN AIR VALVE BERDASARKAN DIAMETER DAN TIPE SAMBUNGAN INLET PADA AIR VALVE	MOHAMMAD AJULIAULQUBRO 032114000091	1 : 20	1. Katalog Air Valve 2. Katalog Aksoris Pipa 3. Badan Standardisasi Nasional SNI 7511:2013 tentang Tata Cara Pemasangan Pipa Transmisi dan Pipa Distribusi Serta Bangunan Pelintas Pipa
	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR GAMBAR	
	DR. ALI MASDUQI, ST., MT.	13	



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



TAMPAK ATAS

DN Pipa (mm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
150	60	60	60	25
300	100	100	100	40



PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

JUDUL TUGAS	NAMA MAHASISWA	SKALA GAMBAR	SUMBER DATA
DETAIL PEMASANGAN THRUSTBLOCK PADA ASESORIS PIPA SAMBUNGAN TEE	MOHAMMAD AJULIAULQUBRO 032114000091	TAK BERSKALA	1. Badan Standardisasi Nasional SNI 7511:2011 tentang Tata Cara Pemasangan Pipa Transmisi dan Pipa Distribusi Serta Bangunan Pelintir Pipa
	DOSEN PEMBIMBING	NOMOR GAMBAR	
	DR. ALI MASDUKI, ST., MT.	13	

## Lampiran E. Dokumentasi







## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dengan Nama lengkap Mohammad Auliaulqubro lahir di Kota Mojokerto, 28 Februari 1997. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2003 – 2009 di SD Negeri 1 Wates 5. Kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Kota Mojokerto pada tahun 2009 – 2012 dan SMA Negeri 1 Sooko pada tahun 2012 – 2015. Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 0321154000091. Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai pengurus organisasi di IMTLI, Al-Kaun, HMTL, dan BEM ITS. Penulis juga aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan HMTL, BEM FTSLK maupun BEM ITS. Berbagai pelatihan dan seminar juga telah diikuti dalam rangka pengembangan diri. Penulis juga memiliki pengalaman dalam Kerja Praktik pada Divisi Utility di PT Kutai Timber Indonesia. Penulis dapat dihubungi via email [moh.auliaulqubro@gmail.com](mailto:moh.auliaulqubro@gmail.com)

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama  
 NRP  
 Judul

: sidi . hilaugitro  
 : 0801514000031  
 : Evaluasi Air Value Basin Saringan FIBO Upena Distribusi  
 PDAM Kota Malang

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	20 Februari 2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diskusi awal yang membahas detail atau diameter yang terlewat</li> <li>• hasil observasi di lapangan setelah evaluasi (hasilnya yaitu penemuan atau tidak)</li> </ul>	<i>[Signature]</i>
2.	15 Maret 2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti meeting pembahasan untuk masing-masing sampel</li> <li>• Data - data dan hasil pengamatan setelah dilakukan, kegiatan di lapangan dan pembahasan</li> </ul>	<i>[Signature]</i>
3.	14 Mei 2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti meeting evaluasi, membahas detail atau data yang terlewat atau terlewat</li> <li>• diskusi mengenai air value pada proses (saringan, bakau, bakau)</li> <li>• Mengikuti meeting awal untuk air value yang dibutuhkan dalam perencanaan pembangunan</li> <li>• membahas data hasil dan pembahasan</li> </ul>	<i>[Signature]</i>

Surabaya, .....  
 Dosen Pembimbing



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN ITS  
Kampus ITS Sukoharjo, Surabaya 60115, Telp. 031 7993888, Fax. 031 7993387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Ganjil 2018/2019

Kode/SHS: RE141861 (D66)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 7 Mei 2019

Nilai TOEFL: 430

Pukul 14.00 - 15.00

Lokasi TL 104

Judul Evaluasi Air Valve pada Jaringan Pipa Utama Distribusi PDAM Kota Malang

Nama Mohammad Auliaqubro

Tanda Tangan

NRP. 0321154000091

Topik. Perencanaan

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Gambar dan tabel untuk plotting air valve sdr; nomor gbr/tabel dan dibuat lebih jelas → jika perlu belah ulang
2.	Mohon ditambahkan halaman PDAM dg perencanaan air valve ini.

*Uprafahy*  
23/5

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretaris Program Sesuai  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat eksistensi Aspekta Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing  
Dr. Ali Masduki, ST, MT

*Uprafahy*





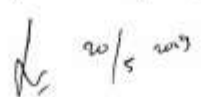
PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5940885, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (0/0/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 7 Mei 2019  
Pukul : 14.00 - 15.00  
Lokasi : TL 104  
Judul : Evaluasi Air Valve pada Jaringan Pipa Utama Diterbui PDAM Kota Malang  
Nama : Mohammad Auliaulqubro  
NRP : 0321154000091  
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Gambar diperbaiki
2.	Tujuan 2 diganti menghitung biaya 

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana.  
Formulir ini harus diserahkan dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah.  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing.

Dosen Pengarah : Afan Purnomo, ST., MT.

Dosen Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.






PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5628387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (D/60)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 7 Mei 2019  
Pukul : 14.00 - 15.00  
Lokasi : TL 104  
Judul : Evaluasi Air Valve pada Jaringan Pipa Utama Distribusi PDAM Kota Malang  
Nama : Mohammad Auliaulqubro  
NRP. : 0321154000091  
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<p>Apakah manfaat penambahan AV bagi PDAM - kaku bisa dalam bentuk debit</p> 

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan Formulir KTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana.  
Formulir ini harus diserahkan dibareng saat asistensi kepada Dosen Pengarah.  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing.

Dosen Pengarah : Ir. Eddy Seliadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing : Dr. Al Masduki, ST., MT.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
 RATU-45 Surabaya 60131 Telp. (031) 5941515 Fax. (031) 5925387

TA-51-TL-02 TUGAS AKHIR  
 Periode Genap 2018-2019

Kode SKS: RE141581 (0-0-0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
 Ujian Tugas Akhir

Tgl. tanggal: Selasa, 9 Juli 2019  
 Waktu: 07.30 - 09.30  
 Lokasi: TL 105  
 Judul: Evaluasi Air Valve pada Jaringan Ripe Utama Distribusi PDAM Kota Malang

Nilai TOEFL: 457

Nama: Muhammad Auliantoro  
 NRP: 0211154000091  
 Tempat: Perancis

Tanda Tangan

No. Item	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1	Kemudahan pemasangan air valve ditelus di Bab 9, baik secara teknis maupun keuangan.
2	Gambarkan pola tigo jalur pipa
3	Buat ringkasan Standar ANWA tentang air valve. App-1: 2-2 Gambar air valve 1. Air valve 2. Air Valve 3. Gambar

Utopia 15/7

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretaris Program Sarjana  
 Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asisten/Aspade Dosen Pembimbing  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

- Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:
1. Lulus Ujian Tugas Akhir
  2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
  3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing  
 Dr. Ali Masduki, ST., MT.





PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN ITS  
Rampal 171 Sukolilo, Surabaya 60117, Telp. 031-8463331, Fax. 031-8528387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018-2019

Kode SKS: RE1415E1 (S&G)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

**Hari, tanggal** Selasa, 9 Juli 2019  
**Pukul** 07.30 - 09.30  
**Lokasi** TL 108  
**Judul** Evaluasi Air Valve pada Jaringan Pipa Utama Distribusi PDAM Kota Malang  
**Nama** Mohammad Aulauqubro  
**NRP** 0321154000091  
**Topik** Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Apakah ada standar SNI untuk Airval?
2.	Begitu gambar map kes iduranya?
3.	Inset slide 91 60! 16!
4.	Dg investasi 412 jt apa keuntungan PDAM?

*[Handwritten signature]*  
2A  
7/19

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah saat Seminar Kelayakan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Dekretaris Program Sarjana.  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji.  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing.

Dosen Penguji: Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing: Dr. Ari Masduki, ST, MT

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMAHAN - ITS  
Kampus ITS Sukoharjo, Surabaya 50111. Telp: 031-5548895, Fax: 031-5928267

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (04/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 9 Juli 2019  
Pukul : 07.30 - 09.30  
Lokasi : TL 105  
Judul : Evaluasi Air Valve pada Jaringan Pipa Utama Diembusi PDAM Kota Malang

Nama : Mohamad Auladqubro  
NRP. : 0321154000091  
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Tambahkan gambar pemangangan air valve & tipikal instalasi
2.	Parutisan cek di buku

*[Signature]* 23/7 2019

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah beri Stempel Kewajiban selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana.  
Formulir ini harus mahasiswa dibarengi oleh asistennya kepada Dosen Penguji.  
Formulir ditandatangani bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing.

Dosen Penguji : Atan Purnomo ST, MT

Dosen Pembimbing : Dr. Ai Masduki ST, MT

( *[Signature]* )  
( *[Signature]* )



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**