



**SKRIPSI - ME 184833**

**Analisa Pengaruh Jarak dan Pemilihan *Anti-Surging Device* pada Sistem Perpipaan Transmisi Air (Studi Kasus di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar)**

Nanang Cahyono  
NRP. 0421154000012

Dosen Pembimbing 1  
Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.  
NIP. 197603102000031001

Dosen Pembimbing 2  
Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.  
NIP. 1992201711048

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**BACHELOR THESIS - ME 184833**

**Analysis of the Effect of Distance and Selection of Anti-Surging Device on Water Transmission Piping System (Case Study at Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar)**

Nanang Cahyono  
NRP. 0421154000012

Supervisor 1  
Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.  
NIP. 197603102000031001

Supervisor 2  
Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.  
NIP. 1992201711048

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

**Analisa Pengaruh Jarak dan Pemilihan Anti-Surging Device pada Sistem Perpipaan Transmisi Air (Studi Kasus di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar)**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Nanang Cahyono**  
NRP. 0421154000012

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

(  )

Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

(  )

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

**Analisa Pengaruh Jarak dan Pemilihan Anti-*Surging Device* pada Sistem Perpipaan Transmisi Air (Studi Kasus di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar)**

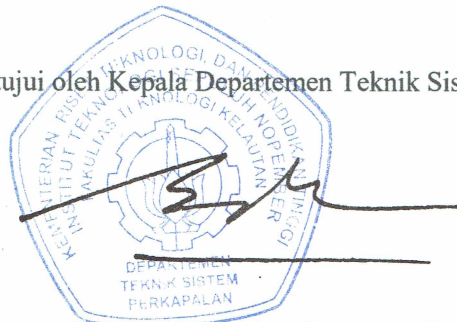
### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Nanang Cahyono**  
NRP. 0421154000012

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman., S.T., M.T.**  
NIP. 197708022008011007

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANALISA PENGARUH JARAK DAN PEMILIHAN ANTI-SURGING DEVICE  
PADA SISTEM PERPIPAAN TRANSMISI AIR (STUDI KASUS DI RUMAH  
POMPA UNIT SURUHWADANG PT. PDAM KABUPATEN BLITAR)**

**Nama Mahasiswa** : Nanang Cahyono  
**NRP** : 0421154000012  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
**Dosen Pembimbing** : Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.  
Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

*Dalam kehidupan sehari-hari pasti setiap orang membutuhkan sebuah sistem yang dapat membantu kemudahan dalam beraktivitas, salah satu sistem penting dan sangat besar peranannya bagi kehidupan manusia adalah sistem perpipaan. Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang berguna untuk mengalirkan suatu fluida baik itu dalam bentuk cair maupun gas untuk memenuhi kepentingan manusia. Oleh sebab itu, sistem perpipaan tidak akan lepas dari kehidupan manusia. Salah satu contoh nyata sistem perpipaan yang mempunyai peranan sangat penting dalam kehidupan manusia adalah sistem perpipaan air. Dalam melakukan fungsinya, sistem perpipaan yang terdiri dari berbagai komponen pasti akan mengalami suatu hal atau fenomena yang dapat membuat sistem tersebut tidak dapat menjalankan fungsi sebagaimana mestinya bahkan mengalami kerusakan. Fenomena yang sering terjadi di dalam sebuah sistem perpipaan adalah fenomena water hammer (pukulan air), fenomena ini sering terjadi dikarenakan kegagalan pompa atau penutupan katup secara tiba-tiba. Untuk mengatasi masalah ini, di sistem perpipaan biasanya dilengkapi dengan sebuah alat yang dapat mengatasi terjadinya fenomena water hammer atau biasa yang disebut dengan anti-surgings device. Alat-alat yang berfungsi sebagai anti-surgings antara lain gas accumulator, surge tanks dan lain sebagainya. Selain pemilihan anti-surgings device yang tepat, juga harus diperhatikan dan dianalisa variasi jarak penempatan anti-surgings device terhadap pompa, karena hal ini berkaitan dengan keefektifan anti-surgings device dalam meredam water hammer yang terjadi di sistem perpipaan tersebut. Pada penelitian ini, pemodelan sistem perpipaan akan dilakukan dengan menggunakan sebuah software komputasi untuk mempermudah dalam proses analisa dengan mempertimbangkan sesuai kondisi pada lapangan. Sehingga didapatkan hasil analisa (segi teknis dan ekonomi) yang paling baik untuk mengatasi fluktuasi tekanan akibat water hammer yaitu anti-surgings device surge tank dengan menggunakan variasi jarak 1 dan variasi jarak 2 (Desain 1 dan Desain 3).*

**Kata kunci:** *anti-surgings device, gas accumulator, surge tank, software, water hammer*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF DISTANCE AND SELECTION OF ANTI-SURGING DEVICE ON WATER TRANSMISSION PIPING SYSTEM (CASE STUDY AT RUMAH POMPA UNIT SURUHWADANG PT. PDAM KABUPATEN BLITAR)**

**Name of Student** : Nanang Cahyono  
**NRP** : 0421154000012  
**Departement** : Marine Engineering  
**Supervisor** : Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.  
Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

*In everyday life, everyone must need a system that can help ease the activities, one of the important systems and a very large role in human life is the piping system. The piping system is a system that is useful for flowing a fluid both in liquid and gas form to meet human interests. Therefore, the piping system will not be separated from human life. One concrete example of a piping system that has a very important role in human life is the water piping system. In carrying out its function, a piping system consisting of various components will surely experience a thing or phenomenon that can make the system unable to perform the function properly and even experience damage. A phenomenon that often occurs in a piping system is the water hammer phenomenon, this phenomenon often occurs due to sudden pump trips or valve closure. To overcome this problem, the piping system is usually equipped with a device that can overcome the occurrence of a water hammer phenomenon or commonly called an anti-surging device. Devices that function as anti-surging include gas accumulators, surge tanks and etc. In addition to choosing the right anti-surging devices, it must also be considered and analyzed the variation in the distance between the anti-surging devices and the pump, because this relates to the effectiveness of anti-surging devices in reducing the water hammer that occurs in the piping system. In this analysis, piping system modeling will be carried out using computational software to facilitate the analysis process by considering the conditions in the field. So that the best analysis (technical and economic aspects) results obtained to overcome the pressure fluctuations due to water hammer, namely the anti-surging device surge tank using variations of distance 1 and distance variation 2 (Design 1 and Design 3).*

**Keywords:** *anti-surging device, gas accumulator, surge tank, software, water hammer*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisa Pengaruh Jarak dan Pemilihan Anti-Surging Device pada Sistem Perpipaan Transmisi Air (Studi Kasus di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar)** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu:

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Sunaryati dan Bapak Adi Purwanto yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan petuah serta semangat kepada penulis.
2. Saudara penulis, Kanthi Malikhah yang senantiasa mendukung penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang senantiasa membimbing penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
4. Bapak Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc. dan Bapak Ede Mehta Wardhana S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis dan dosen pengampu Laboratorium MMS yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir.
5. Bapak Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc., Ibu Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T., M.Sc., Bapak Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M.Eng, D.Eng, serta Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc., yang telah membimbing penulis dalam mata kuliah Desain I, II, III, dan IV serta seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
6. Bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE, Bapak Ahmad Fuad Pribadi S.T., Mas Wildan Irfansyah S.T., Bapak Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T., dan rekan-rekan office EPC yang telah menjadi keluarga dan senantiasa memberikan pengalaman baru bagi penulis hingga meningkatkan kualitas diri dari waktu ke waktu.
7. Bapak dan Ibu di PT. PDAM Tirta Penataran Kabupaten Blitar, yang telah membantu penulis untuk mendapatkan data untuk menunjang Tugas Akhir ini.
8. Seluruh member MMS, SALVAGE '15, MERCUSUAR '14, VOYAGE '16, dan Taekwondo ITS.
9. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatn.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah/Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Definisi <i>Water Hammer</i> .....	3
2.2 Fenomena <i>Water Hammer</i> .....	5
2.2.1 Tahap Fase Pertama (Fase A): $0 < t < L/a$ .....	6
2.2.2 Tahap Fase Kedua (Fase B): $L/a < t < 2L/a$ .....	6
2.2.3 Tahap Fase Ketiga (Fase C): $2L/a < t < 3L/a$ .....	6
2.2.4 Tahap Fase Keempat (Fase D): $3L/a < t < 4L/a$ .....	6
2.3 Penyebab <i>Water Hammer</i> .....	7
2.4 Macam – macam anti- <i>surging device</i> .....	7
2.4.1 <i>Surge Tank</i> .....	7
2.4.2 <i>Gas Accumulator</i> .....	8
2.5 Estimasi Maksimum <i>Internal Pressure Pipe Design</i> Sesuai Standar Perhitungan AWWA ( <i>American Water Works Association</i> ) Manual M11.....	8
2.6 Tekanan Internal Pada Pipa.....	9
2.7 Tekanan Internal Pada Pipa PVC.....	9
2.8 <i>Head Loss Pump</i> .....	9
2.9 Analisa Ekonomi.....	10

2.10 Kajian Terdahulu .....	10
2.10.1 Ramadan dan Mustafa (2013).....	10
2.10.2 Nugraha (2017).....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 Perumusan masalah .....	16
3.2 Studi Literatur.....	16
3.3 Input Data .....	17
3.4 Pembuatan Model Simulasi .....	17
3.6 Proses Simulasi.....	18
3.7 Perhitungan Matematis .....	18
3.8 Verifikasi Hasil.....	18
3.9 Variasi Parameter Simulasi .....	19
3.10 Rekomendasi <i>Design</i> .....	20
3.11 Analisa Ekonomi .....	20
3.12 Kesimpulan dan Saran.....	20
3.13 Jadwal Pelaksanaan .....	20
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>23</b>
4.1 Pembuatan Model Simulasi .....	23
4.2 Validasi Model Simulasi .....	26
4.3 Variasi Parameter Simulasi .....	30
4.4 Skenario Simulasi.....	31
4.5 Data Hasil Simulasi .....	31
4.5.1 Skenario 1, <i>pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 OFF</i> .....	33
4.5.2 Skenario 2, <i>pump 1 ON, pump 2 trip dan pump 3 OFF</i> .....	41
4.5.3 Skenario 3, <i>pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 ON</i> .....	48
4.5.4 Skenario 4, <i>pump 1 ON, pump 2 trip dan pump 3 ON</i> .....	56
4.6 Perbandingan Efektivitas Anti- <i>Surging Device (Surge Tank dan Gas Accumulator)</i> .....	63
4.7 Rekomendasi Desain .....	67
4.8 Analisa Ekonomi .....	69
4.6.1 Analisa Ekonomi Desain 1 .....	70
4.6.2 Analisa Ekonomi Desain 2 .....	70
4.6.3 Analisa Ekonomi Desain 3 .....	70

4.6.4 Analisa Ekonomi Desain 4.....	71
4.6.5 Analisa Ekonomi Desain 5.....	71
4.6.6 Analisa Ekonomi Desain 6.....	72
4.9 Perbandingan dari Hasil Analisa Ekonomi .....	73
4.10 Kesimpulan dari Hasil Analisa <i>Software</i> (Efektivitas) dan Analisa Ekonomi .....	74
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan .....	77
5.2 Saran.....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN 1 .....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN 2.....</b>	<b>84</b>
<b>LAMPIRAN 3.....</b>	<b>89</b>
<b>LAMPIRAN 4.....</b>	<b>90</b>
<b>LAMPIRAN 5.....</b>	<b>92</b>
<b>LAMPIRAN 6.....</b>	<b>94</b>
<b>LAMPIRAN 7.....</b>	<b>97</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>99</b>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Jadwal Kegiatan Penelitian .....	21
Tabel 4. 1 Spesifikasi umum anti-surgin device yang digunakan .....	25
Tabel 4. 2 Perbandingan Efektivitas Anti-Surgin Device (Surge Tank, Gas Accumulator dan tanpa Anti-Surgin Device).....	64
Tabel 4. 3 Analisa Ekonomi Desain 2.....	70
Tabel 4. 4 Analisa Ekonomi Desain 3.....	70
Tabel 4. 5 Analisa Ekonomi Desain 4.....	71
Tabel 4. 6 Analisa Ekonomi Desain 5.....	71
Tabel 4. 7 Analisa Ekonomi Desain 6.....	72
Tabel 4. 8 Analisa Ekonomi Desain 7.....	72
Tabel 4. 9 Perbandingan Hasil Analisa Ekonomi.....	73
Tabel 4. 10 Kesimpulan Hasil Analisa Software (Efektivitas) dan Analisa Ekonomi .....	74

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi fenomena water hammer .....	3
Gambar 2. 2 Dampak water hammer yang terjadi di beberapa daerah Indonesia .....	4
Gambar 2. 3 Dampak water hammer yang terjadi pada pipa .....	4
Gambar 2. 4 Skema Fenomena Water Hammer Setelah Penutupan Katup pada Phase (A) $0 < t < L/a$ , Phase (B) $L/a < t < 2L/a$ , Phase (C) $2L/a < t < 3L/a$ dan Phase (D) $3L/a < t < 4L/a$ .....	5
Gambar 2. 5 Surge Tank .....	7
Gambar 2. 6 Tipe – tipe gas accumulator.....	8
Gambar 2. 7 Skema Dari Hydro-Electric Pembangkit dengan Surge Tank .....	11
Gambar 2. 8 Variasi Surge tank Level (AS=100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1300 dan 1500 m <sup>2</sup> ) yang berpengaruh terhadap first upsurge .....	11
Gambar 2. 9 Variasi Surge tank Level (AS=100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1300 dan 1500 m <sup>2</sup> ) yang berpengaruh terhadap discharge rate (Q) .....	12
Gambar 2. 10 Pemodelan sistem perpipaan pada software .....	13
Gambar 2. 11 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Pada Pipa P11 Inlet (Discharge Pompa 3) Dengan Variasi Jarak surge tank terhadap Forwading Pump pada skenario 3 pompa OFF.....	13
Gambar 2. 12 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Pada Pipa P11 Inlet (Discharge Pompa 3) Dengan Variasi Jarak Bladder Surge Tank terhadap Forwading Pump pada skenario 3 pompa OFF.....	14
Gambar 2. 13 Grafik Perbandingan Tekanan Terhadap Waktu Pada Pipa 23 Inlet dengan Variasi Jarak Surge Tank 20 meter vs Pipa 23 Inlet Dengan Variasi Jarak Bladder Surge Tank 20 meter Pada Skenario 3 Pompa OFF. ....	14
Gambar 3. 1 Alur penelitian .....	16
Gambar 3. 2 Pembuatan model simulasi dengan software.....	17
Gambar 3. 3 Hasil simulasi software .....	18
Gambar 3. 4 Pembuatan model simulasi di software dengan variasi anti-surgung device (surge tank) .....	19
Gambar 3. 5 Pembuatan model simulasi di software dengan variasi anti-surgung device (gas accumulator).....	19
Gambar 3. 6 Pembuatan model simulasi di software tanpa menggunakan anti-surgung device .....	20
Gambar 4. 1 Skema instalasi sistem perpipaan rumah pompa unit Suruhwadang ....	23
Gambar 4. 2 Skema saluran pipa air unit Suruhwadang .....	24
Gambar 4. 3 Skema saluran pipa air unit Suruhwadang .....	24
Gambar 4. 4 Pemodelan instalasi sistem perpipaan unit Suruhwadang di software dengan menggunakan anti-surgung device surge tank.....	25
Gambar 4. 5 Pemodelan instalasi sistem perpipaan unit Suruhwadang di software dengan menggunakan anti-surgung device gas accumulator .....	26
Gambar 4. 6 Pemodelan instalasi sistem perpipaan unit Suruhwadang di software tanpa menggunakan anti-surgung device .....	26
Gambar 4. 7 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P1 inlet dan outlet .....	28
Gambar 4. 8 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P2 inlet dan outlet .....	30

Gambar 4. 9 Titik-titik yang dianalisa pada permodelan sistem perpipaan unit Suruhwadang dengan bantuan software .....	32
Gambar 4. 10 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	33
Gambar 4. 11 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	33
Gambar 4. 12 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	34
Gambar 4. 13 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	35
Gambar 4. 14 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	35
Gambar 4. 15 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	36
Gambar 4. 16 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	36
Gambar 4. 17 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	37
Gambar 4. 18 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	37
Gambar 4. 19 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	38
Gambar 4. 20 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	38
Gambar 4. 21 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	39
Gambar 4. 22 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	40
Gambar 4. 23 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	41
Gambar 4. 24 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	41
Gambar 4. 25 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	42
Gambar 4. 26 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	42
Gambar 4. 27 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	43
Gambar 4. 28 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	43
Gambar 4. 29 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	44
Gambar 4. 30 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	44
Gambar 4. 31 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	45
Gambar 4. 32 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	45
Gambar 4. 33 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	46
Gambar 4. 34 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	46
Gambar 4. 35 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	47
Gambar 4. 36 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	48
Gambar 4. 37 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	48
Gambar 4. 38 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	49
Gambar 4. 39 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	50
Gambar 4. 40 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	50
Gambar 4. 41 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	51
Gambar 4. 42 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	51
Gambar 4. 43 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	52
Gambar 4. 44 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	52
Gambar 4. 45 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	53
Gambar 4. 46 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	53
Gambar 4. 47 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet .....	54
Gambar 4. 48 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet .....	55
Gambar 4. 49 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	56
Gambar 4. 50 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	56
Gambar 4. 51 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	57
Gambar 4. 52 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	57

Gambar 4. 53 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	58
Gambar 4. 54 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	58
Gambar 4. 55 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	59
Gambar 4. 56 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	59
Gambar 4. 57 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	60
Gambar 4. 58 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet .....	60
Gambar 4. 59 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	61
Gambar 4. 60 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	61
Gambar 4. 61 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet .....	62
Gambar 4. 62 Desain 1 (Jarak anti-surgings device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya) .....	67
Gambar 4. 63 Desain 3 (Jarak anti-surgings device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya dikurangi 1 meter ke belakang).....	68
Gambar 4. 64 Desain 1 (Jarak anti-surgings device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya) .....	68
Gambar 4. 65 Desain 3 (Jarak anti-surgings device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya dikurangi 1 meter ke belakang).....	69
Gambar 4. 66 Contoh Titik A0-A1 pada P&ID Sistem .....	69

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang dapat menghambat aktivitas manusia jika di dalam sistem tersebut terjadi suatu kegagalan, dikarenakan sistem perpipaan memiliki peranan penting untuk menunjang kelangsungan di berbagai bidang. Sistem perpipaan dapat mengalami beberapa fenomena dalam pendistribusian fluida dari suatu tempat ke tempat lain, salah satunya adalah *water hammer* (pukulan air). *Water hammer* adalah perubahan tekanan yang disebabkan peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam perpipaan secara mendadak (Anwar, 2012). Dalam praktiknya di lapangan *water hammer* dapat terjadi ketika aliran fluida yang berubah kecepatannya secara mendadak sebagai akibat dari pengoperasian pompa dan kegagalan pompa beroperasi yang menimbulkan perubahan tekanan yang sangat tajam sehingga menyerupai suatu pukulan dan dinamakan gejala pukulan air (*water hammer*) (Murni, 2007). Selain dari kegagalan pompa fenomena *water hammer* juga dapat terjadi ketika terjadi *human error*, salah satu contohnya ketika operator melakukan penutupan katup secara mendadak tanpa mematikan pompa terlebih dahulu sehingga menimbulkan lonjakan tekanan di dalam pipa (Murni, 2007).

Fenomena *water hammer* dapat terjadi di setiap sistem instalasi perpipaan yang di dalamnya mengalir fluida dan jika fenomena ini dibiarkan secara berlarut-larut di dalam sebuah sistem perpipaan akan berdampak negatif pada selang waktu tertentu. Ada banyak peralatan yang dapat digunakan untuk meminimalisir dampak *water hammer* pada jaringan pipa, atau dikenal dengan istilah *anti-surgin device*, antara lain *Gas Accumulator*, *Surge tank* dan lain sebagainya (AFT, 2008). Peralatan *anti-surgin* tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pengaplikasian sangat tergantung dengan kondisi operasional jaringan pipanya.

PT. PDAM Kabupaten Blitar atau yang memiliki nama resmi PT. PDAM Tirta Penataran Kabupaten Blitar, merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam sektor pendistribusian air bersih untuk area Kabupaten Blitar. PT. PDAM Kabupaten Blitar memiliki beberapa unit rumah pompa, salah satunya rumah pompa unit Suruhwadang. Di rumah pompa unit Suruhwadang memiliki alat proteksi *water hammer* (*anti-surgin device*) berupa *surge tank*. Selain *surge tank* masih banyak beberapa alat proteksi lain untuk mengurangi fluktuasi tekanan akibat *water hammer* yang digunakan di dunia industri dengan berbagai efektivitas yang dimiliki.

Studi kasus untuk melihat unjuk kerja peralatan *anti-surgin*, khususnya *surge tank* dan *gas accumulator* beserta pengaruh jarak alat proteksi *water hammer* tersebut yang melatar belakangi dilakukannya penelitian ini. Jika pada tempat studi kasus yang dijadikan objek penelitian masih belum memiliki peralatan *anti-surgin* yang memadai sesuai hasil analisa, maka akan dilakukan desain ulang (*re-design*) sistem perpipaan yang dilengkapi dengan peralatan *anti-surgin* sesuai hasil analisa dan pertimbangan ekonomi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sedemikian, maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tekanan *water hammer* pada sistem perpipaan transmisi air ketika menggunakan anti-*surgin device*?
2. Bagaimana efektivitas peralatan anti-*surgin* dalam mengurangi lonjakan tekanan akibat *water hammer* pada sistem perpipaan transmisi air?
3. Bagaimana rekomendasi desain (*re-design*) untuk sistem perpipaan transmisi air yang menjadi studi kasus sesuai hasil analisa dan pertimbangan ekonomi?

## 1.3 Batasan Masalah/Ruang Lingkup

Batasan masalah atau ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja yang digunakan adalah fluida air tawar.
2. Tidak terjadi perubahan temperatur selama air mengalir pada sistem perpipaan.
3. Analisa dilakukan pada kondisi *transient*.
4. Keluaran dari penelitian ini hanya berlaku pada sistem perpipaan yang menjadi studi kasus.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui tekanan ketika terjadi *water hammer* pada sistem perpipaan transmisi air yang dilengkapi dengan anti-*surgin device*.
2. Membandingkan efektivitas beberapa anti-*surgin device* (*surge tank* dan *gas accumulator*) dalam mengurangi tekanan *water hammer* pada sistem perpipaan transmisi air.
3. Memberikan rekomendasi desain (*re-design*) untuk sistem perpipaan transmisi air yang efektif untuk menahan perubahan tekanan sesuai dengan hasil analisa dan pertimbangan ekonomi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

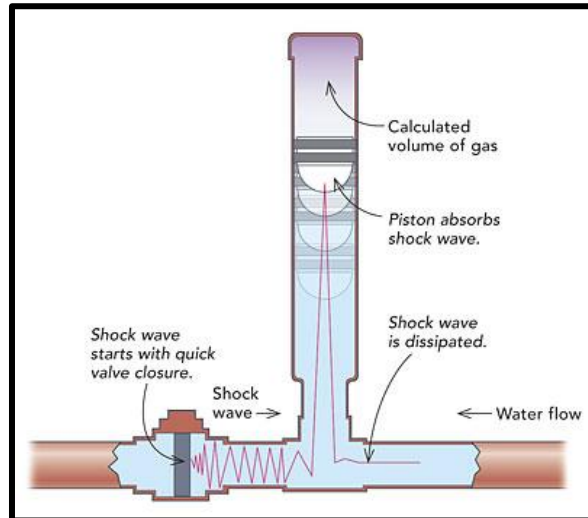
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui anti-*surgin device* yang efektif untuk mengurangi fluktuasi tekanan akibat *water hammer* pada sistem perpipaan transmisi air.
2. Memberikan rekomendasi desain (*re-design*) yang dilengkapi anti-*surgin device* untuk mengurangi fluktuasi tekanan akibat fenomena *water hammer* pada sistem perpipaan transmisi air.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi *Water Hammer*

*Water hammer* merupakan fenomena pada fluida yang terjadi ketika terjadi perubahan kecepatan fluida secara signifikan pada waktu yang sangat singkat, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan fluida secara drastis. Hal ini dapat terjadi karena suatu keadaan tertentu (misalnya: pompa mati mendadak akibat pemadaman listrik) (Murni, 2007).



Gambar 2. 1 Ilustrasi fenomena *water hammer*  
Sumber: [www.finehomebuilding.com](http://www.finehomebuilding.com)

Perubahan kecepatan dalam pipa yang terjadi secara tiba-tiba dapat menghasilkan perubahan tekanan yang besar. Jika tekanan tersebut telah melebihi tekanan kerja yang diijinkan (tekanan standart) di sebuah sistem, maka akan mengakibatkan pengaruh negatif pada sistem seperti rusaknya perlengkapan perpipaan, pipa pecah dan berkurangnya kapasitas pipa karena bocor. Peristiwa pukulan air (*water hammer*) tersebut merupakan peristiwa pengaliran tak tetap (*transient flow*), persamaan dasarnya merupakan persamaan diferensial parsil fungsi waktu dan tempat (Najib, 2017).

Banyak peristiwa *water hammer* yang telah terjadi, khususnya pada pipa yang memiliki fungsi khusus (seperti pipa penyalur air bersih). Banyak sekali dampak kerugian yang ditimbulkan jika fenomena *water hammer* benar terjadi di suatu instalasi sistem perpipaan. Gambar di bawah ini merupakan contoh dari fenomena *water hammer* yang pernah terjadi di Indonesia.



- (a) Pipa PDAM Malang pecah akibat dari efek *water hammer* (18/07/2018) sehingga mengakibatkan pasokan air terhambat.



- (b) Pipa PDAM Malang yang pecah (18/07/2018) juga mengakibatkan terganggunya arus lalu lintas.

*Sumber: www. tabloid jawa timur.com*



- (c) Pipa PDAM Bali meledak akibat dari efek *water hammer* (28/11/2018) sehingga membuat warga resah dikarenakan pasokan air terhambat.

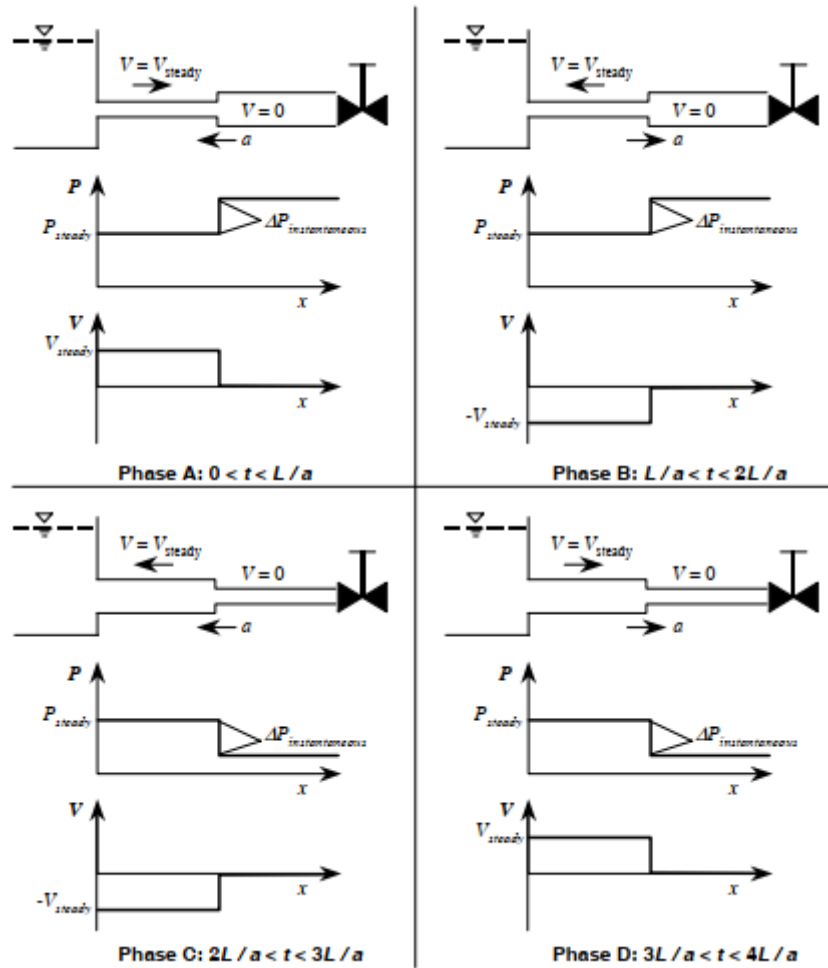
*Sumber: www. posbali.id*

Gambar 2. 2 Dampak *water hammer* yang terjadi di beberapa daerah Indonesia



Gambar 2. 3 Dampak *water hammer* yang terjadi pada pipa  
*Sumber: Mahanna, Loeb and Magalhaes, 2014*

## 2.2 Fenomena *Water Hammer*



Gambar 2. 4 Skema Fenomena *Water Hammer* Setelah Penutupan Katup pada Phase (A)  $0 < t < L/a$ , Phase (B)  $L/a < t < 2L/a$ , Phase (C)  $2L/a < t < 3L/a$  dan Phase (D)  $3L/a < t < 4L/a$

Sumber: *AFT Impulse User's Guide*

### 2.2.1 Tahap Fase Pertama (Fase A): $0 < t < L/a$

Fase pertama terjadi pada saat katup sudah ditutup, tetapi sebelum gelombang yang dihasilkan, akibat penutupan katup tersebut merambat disepanjang pipa dan mencapai *reservoir* (lihat Gambar 2.3). Gelombang merambat dengan kecepatan  $a$ , dari katup ke *reservoir* (lihat Gambar 2.3, fase A). Fluida dari *reservoir* dari bagian depan gelombang (di sebelah kiri) belum terkena efek dari penutupan katup, dengan demikian kecepatan dan tekanan tetap *steady*. Dalam fase ini, energi kinetik fluida telah diubah menjadi energi potensial dengan meningkatkan tekanan fluida dan memperluas diameter pipa (terjadi ekspansi), seperti yang terlihat pada Gambar 2.3, fase A menunjukkan pada bagian kanan pipa mengembang karena efek fluida yang berlebihan, jika dibandingkan dengan diameter pipa yang di sebelah kiri.

### 2.2.2 Tahap Fase Kedua (Fase B): $L/a < t < 2L/a$

Fase kedua terjadi setelah gelombang telah kembali dari *inlet reservoir*, dan merambat kembali menuju katup. Gelombang merambat pada kecepatan  $a$  dan fluida bergerak dari *reservoir* ke katup (lihat Gambar 2.3, fase B). Fluida *reservoir* dari bagian depan gelombang (di sebelah kiri) terkena efek dari penutupan katup. Selanjutnya, tekanan tinggi yang terjadi selama fase A menyebabkan banyaknya fluida yang berkumpul dalam pipa. Selama fase B fluida ini akan dikeluarkan ke satu-satunya tempat yang bisa menampungnya yaitu *reservoir upstream*. Dengan demikian, aliran balik terjadi untuk mengembalikan tekanan ke tingkat *steady*. Fluida *downstream* dari bagian depan gelombang (di sebelah kanan) belum mencapai bagian *upstream reservoir*, sehingga fluida tetap pada tekanan tinggi dan kecepatan nol.

### 2.2.3 Tahap Fase Ketiga (Fase C): $2L/a < t < 3L/a$

Fase ketiga terjadi setelah gelombang sudah kembali dari *inlet reservoir* yang bergerak kembali ke katup, kemudian gelombang bergerak kembali ke *reservoir* dengan kecepatan  $a$  (lihat Gambar 2.3, fase C). Pipa berusaha untuk membangun keseimbangan dan mengalirkan fluida kembali ke *reservoir* untuk mengurangi tekanan tinggi. Selama fase C (Gambar 2.3) tekanan turun di bawah stabil, besarnya penurunan tekanan pada tekanan pada fase C sama dengan kenaikan tekanan pada fase A.

### 2.2.4 Tahap Fase Keempat (Fase D): $3L/a < t < 4L/a$

Fase keempat terjadi setelah gelombang telah kembali dari *inlet reservoir* untuk kedua kalinya dan bergerak kembali menuju katup (lihat Gambar 2.3, fase D). Fluida *upstream* dari gelombang di sebelah kiri telah kembali ke kecepatan dan tekanan yang stabil. Fluida *downstream* dari bagian gelombang di sebelah kanan masih pada tekanan rendah. Selain itu, fase keempat juga terjadi setelah gelombang kembali dari *inlet reservoir* untuk kedua kalinya, merambat kembali ke katup dan tercermin dari katup sehingga gelombang bergerak kembali dari *reservoir*. (lihat Gambar 2.3, fase C) dan bergerak dengan kecepatan  $a$ .

Setelah gelombang mencapai katup untuk kedua kalinya, keempat fase ini akan berulang. Jika tidak terdapat gesekan dengan pipa, gerakan gelombang akan berlanjut tanpa henti. Namun, jika terdapat efek gesekan dengan pipa, maka kecepatan gelombang akan berkurang dari waktu ke waktu dan pada akhirnya akan berhenti.

### 2.3 Penyebab *Water Hammer*

*Water hammer* (pukulan air) dapat terjadi karena adanya penutupan aliran fluida secara tiba-tiba atau tidak direncanakan. Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya *water hammer* (pukulan air) yaitu (Murni, 2007):

1. Kegagalan pompa

Kegagalan pompa beroperasi bisa disebabkan banyak hal, salah satunya pemadaman listrik secara tiba-tiba, rusaknya pompa, tersumbatnya pompa, dan lain sebagainya. Hal ini menyebabkan aliran air akan terhalang oleh impeller sehingga mengalami perlambatan yang mendadak, pada keadaan ini akan terjadi lonjakan tekanan pada pompa dan pipa.

2. Penutupan dan pembukaaan katup

Penutupan dan pembukaaan *valve* (katup) dapat merubah kecepatan aliran fluida di dalam pipa dan akibat dari perubahan kecepatan tersebut bisa menyebabkan kecepatan fluida lebih tinggi atau lebih rendah dari kecepatan awal. Perubahan kecepatan tersebut akan menyebabkan *water hammer*.

3. Pengoperasian pompa

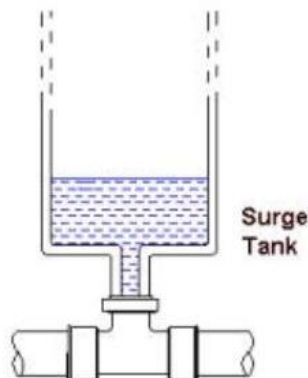
Pada saat pompa pertama kali menyala akan menyebabkan fluktuasi tekanan tinggi, hal ini disebabkan kondisi pompa belum stabil ketika pertama kali menyala.

### 2.4 Macam – macam anti-*surging device*

Ada bermacam-macam peralatan anti-*surging* yang berfungsi untuk mengurangi dampak dari *water hammer*, dan untuk instalasi perpipaan biasa menggunakan peralatan seperti *surge tank* dan *gas accumulator*.

#### 2.4.1 *Surge Tank*

*Surge tank* adalah sebuah tanki yang salah satu ujungnya terhubung dengan udara luar dan ujung lainnya terhubung pada pipa pada sistem perpipaan. *Surge tank* berguna mengurangi fluktuasi *water hammer*. Tekanan yang berlebih pada sistem perpipaan akan tersalur ke *surge tank*, sehingga tekanan berlebih tersebut dapat dikurangi (Nugraha, 2017).

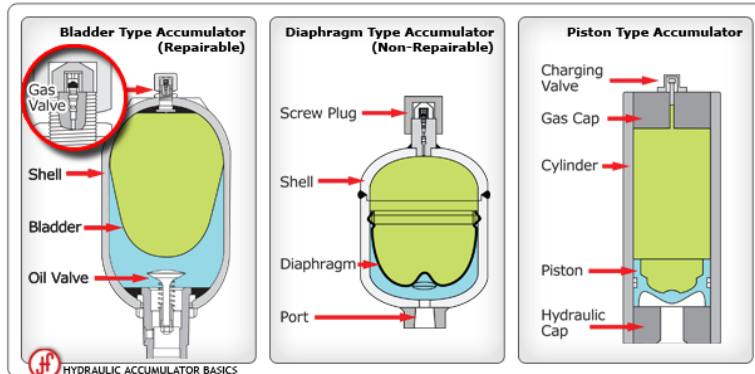


Gambar 2. 5 *Surge Tank*

Sumber : [www.imagenesmy.com](http://www.imagenesmy.com), 2019

### 2.4.2 Gas Accumulator

*Gas accumulator* merupakan alat yang berfungsi untuk mengurangi kenaikan tekanan akibat *water hammer*. *Gas accumulator* memiliki sistem kontrol untuk menjaga keseimbangan antara udara dan air. Ketika kondisi di dalam tangki kekurangan air, maka *release valve* akan membuka sehingga air di dalam tangki akan naik. Sedangkan apabila di dalam tangki kelebihan air, maka udara yang sebelumnya dikompres di *receiver* diinjeksikan ke dalam tangki sehingga jumlah udara dan air di dalam tangki tetap terjaga (Ferdiansyah, 2017).



Gambar 2. 6 Tipe – tipe *gas accumulator*

Sumber : [www.jhf.com](http://www.jhf.com), 2018

### 2.5 Estimasi Maksimum *Internal Pressure Pipe Design* Sesuai Standar Perhitungan AWWA (*American Water Works Association*) Manual M11

Berdasarkan perhitungan tebal pipa sesuai standar yang dikeluarkan AWWA (*American Water Works Association*) Manual M11, maka dapat diketahui maksimum *internal pressure pipe design* pada suatu pipa. Perhitungan tersebut berfungsi untuk melihat berapa tekanan maksimal yang diizinkan atau batas tekanan yang mampu diterima oleh pipa ketika terjadi lonjakan tekanan akibat *water hammer*. Dengan menggunakan data tebal pipa, diameter pipa, serta *allowable design stress for steel pipe*, maka maksimum *internal pressure pipe design* didapatkan dengan menggunakan persamaan Barlow sebagai berikut (AWWA, 2004):

$$p = \frac{2 \times s \times t}{d} \quad (1)$$

Keterangan :

- $t$  : desain tebal pipa untuk *internal pressure pipe design* (mm)
- $p$  : maksimum *internal pressure pipe design* (bar)
- $d$  : outside diameter pipa, tidak termasuk *coating* (mm)
- $s$  : *allowable design stress for steel* (bar)

## 2.6 Tekanan Internal Pada Pipa

Pada saat fluida mengalir di dalam pipa, fluida tersebut akan memberikan tekanan terhadap dinding-dinding pipa bagian dalam dan jika tekanan tersebut melebihi tekanan yang diijinkan akan mengakibatkan pipa tersebut bocor ataupun rusak. Hal ini dapat dilihat dalam persamaan di bawah ini (Alkazraji, 2008):

$$\sigma_h = \frac{P \cdot D}{2t} \quad (2)$$

Keterangan :

- $\sigma_h$  : *hoop stress* (bar)
- $P$  : tekanan internal (bar)
- $D$  : *outside* diameter pipa (mm)
- $t$  : ketebalan nominal dinding pipa (mm)

Berdasarkan kode standar pipa yang digunakan, maka besar tegangan tangensial (*hoop stress*) tidak diizinkan melebihi besaran tertentu dari *Specific Minimum Yield Stress* (SMYS) (Nugraha, 2017).

$$\sigma_h \leq \eta \cdot SMYS \cdot K_t \quad (3)$$

Keterangan :

- $\eta$  : faktor desain yang nilainya tergantung pada jenis kelas keamanan (*safety factor*)
- $K_t$  : *temperature derating factor material*

## 2.7 Tekanan Internal Pada Pipa PVC

Untuk mengetahui besarnya nilai *maximum internal pressure pipe design* yang mampu diterima oleh pipa PVC ketika terjadi fluktuasi tekanan. Maka perlu mencocokkan jenis pipa yang terpasang di lapangan dengan *standart ASTM (American Standard Testing and Material)* (ASTM International, 2010).

## 2.8 Head Loss Pump

Perhitungan *head pump* dilakukan dengan tujuan untuk memperhitungkan *head* minimum yang dianjurkan dalam instalasi untuk parameter pemilihan *pump* (Akbar, 2009). Perhitungan *head pump* secara rinci adalah sebagai berikut (Wicaksono, 2015):

1. Menghitung *Head Statis*  
*Head Statis* adalah *head* yang terjadi karena perbedaan ketinggian atau *elevasi* antara *suction* dan *discharge pump*.
2. Menghitung *Head Pressure*  
*Head Pressure* adalah *head* yang terjadi karena perbedaan tekanan antara *suction* dan *discharge pump*.
3. Menghitung *Head Velocity*
4. Menghitung *Head Losses*

- *Head Losses Major (hf)*

$$hf = \frac{\lambda \times L \times v^2}{(D \times 2g)} \quad (4)$$

Keterangan :

$$\lambda : \frac{0.02+0.0005}{D}$$

$L$  : panjang pipa (m)

$v$  : *flow velocity* (m/s)

$D$  : *inside diameter* pipa (m)

$g$  : percepatan gravitasi = 9.8 m/s<sup>2</sup>

- *Head Losses Minor (hm)*

$$hm = \frac{\sum nk \times v^2}{2g} \quad (5)$$

Keterangan :

$\sum nk$  : total *minor losses accesories*

$v$  : *flow velocity* (m/s)

$g$  : percepatan gravitasi = 9.8 m/s<sup>2</sup>

## 5. Menghitung *Head Total*

*Head Total* adalah total penjumlahan *head* yang terdiri dari *head statis*, *head pressure*, *head velocity*, *head losses major* dan *head losses minor*.

## 2.9 Analisa Ekonomi

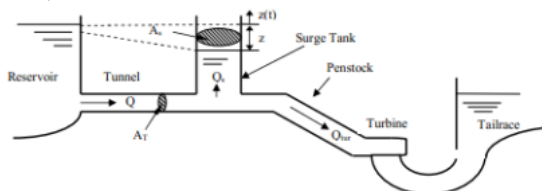
Analisa ekonomi yang digunakan adalah analisa berupa perbandingan nilai ekonomis dari desain. Perbandingan nilai ekonomis ini akan berupa daftar harga setiap komponen/*equipment* yang digunakan pada setiap desain sistem yang telah dirancang. Sehingga akan diketahui berapa *cost* yang diperlukan untuk membuat sebuah desain, mulai dari biaya komponen, biaya pemasangan, biaya operasional dan biaya *maintenance* (Indriawan, 2018).

## 2.10 Kajian Terdahulu

### 2.10.1 Ramadan dan Mustafa (2013)

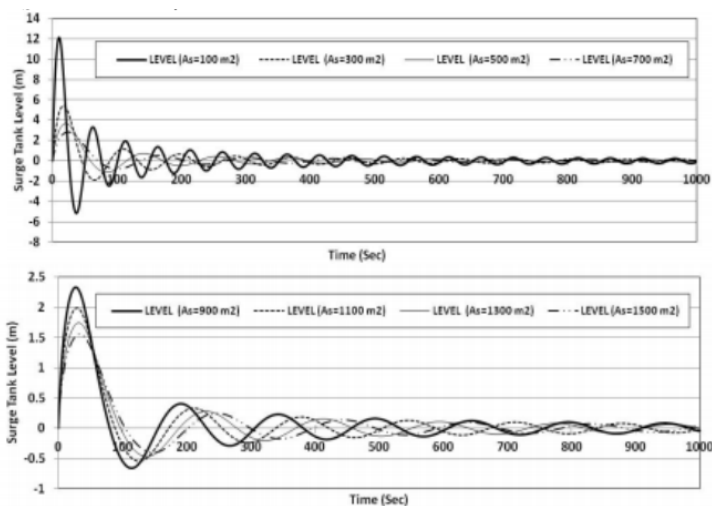
Ramadan dan Mustafa melakukan penelitian dengan judul “*Surge tank Design Considerations for Controlling Water hammer Effects at Hydro-electric Power Plants*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi *cross-sectional surge tank* sehingga ketinggian permukaan air berubah dan kapasitas pada total *discharge*.

FORTRAN 77 adalah program yang digunakan dalam penelitian ini dan didapatkan *output* yang cepat dengan variasi pemodelan yang sederhana. Kemudian akan di analisa menggunakan excel untuk mengetahui grafik dari *output*. Berikut skema pada penelitian ini:



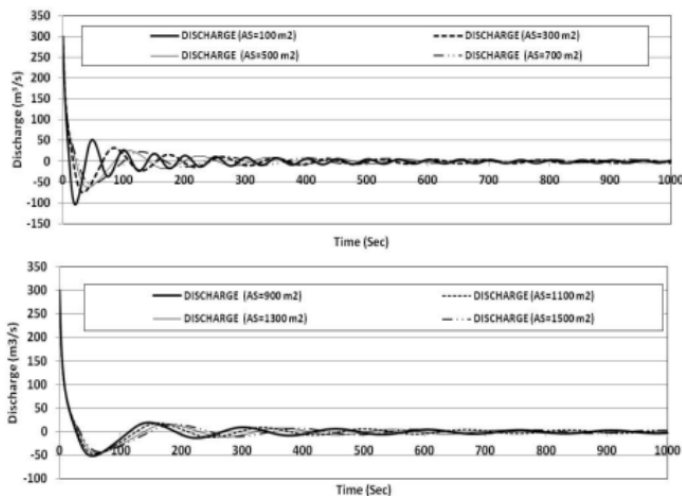
Gambar 2. 7 Skema Dari Hydro-Electric Pembangkit dengan Surge Tank

Pada Gambar 2.6 data yang digunakan dalam desain penelitian ini, yaitu  $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $L = 500 \text{ m}$ ,  $\Delta t = 0.5 \text{ s}$ . Dilakukan variasi *cross-sectional* area dari surge tank dengan volume air yang sama. Di dapatkan hasil untuk desain ini, *first upsurge* berkurang dari 12 meter pada  $A_S = 100 \text{ m}^2$  ke 1.5 meter pada  $A_S = 1500 \text{ m}^2$ , berikut hasil simulasi:



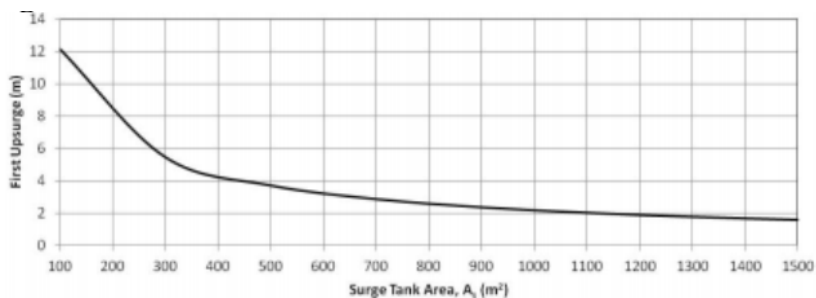
Gambar 2. 8 Variasi Surge tank Level ( $A_S=100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1300$  dan  $1500 \text{ m}^2$ ) yang berpengaruh terhadap *first upsurge*

Pada gambar 2.7, data yang digunakan dalam desain penelitian ini, yaitu  $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $L = 500 \text{ m}$ ,  $\Delta t = 0.5 \text{ s}$ . Dilakukan variasi *cross-sectional* area dari *surge tank* sehingga didapatkan hasil berupa berkurangnya osilasi *discharge rate* (efek transient). Terjadi fluktuasi antara  $-100 \text{ m}^3/\text{s}$  dan fluktuasi antara  $+50 \text{ m}^3/\text{s}$  pada *cross-sectional* area dari *surge tank* area  $100 \text{ m}^2$  dan fluktuasi antara  $-50 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai  $+10 \text{ m}^3/\text{s}$  pada *cross-sectional* area *surge tank* area  $1500 \text{ m}^2$ . Meningkatkan *cross-sectional* area *surge tank* berbanding lurus dengan menurunnya tingginya *discharge rate* dengan turunnya kecepatan pada kondisi *transient*.



Gambar 2. 9 Variasi Surge tank Level ( $A_s=100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1300$  dan  $1500 \text{ m}^2$ ) yang berpengaruh terhadap *discharge rate* ( $Q$ )

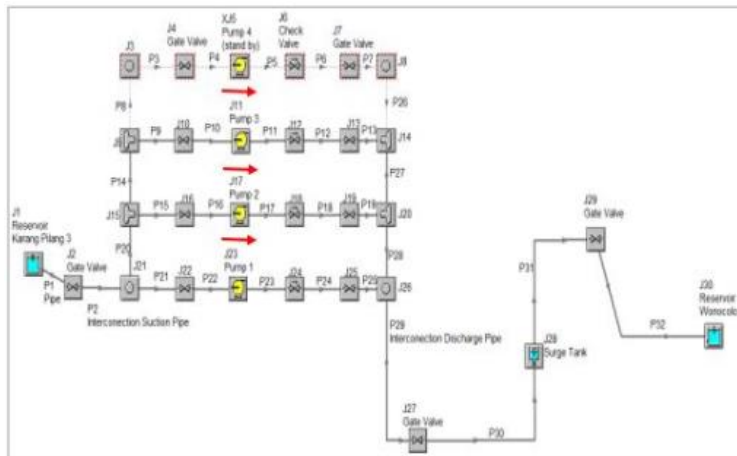
Pada gambar 2.8, *first upsurge* merupakan hal yang penting dalam hal ini. Meningkatkan *cross-sectional* area dari *surge tank* maka akan semakin kecil terjadi lonjakan gelombang (*upsurge*) pada *surge tank*. Untuk  $A_s = 500 \text{ m}^2$  terlihat *first upsurge* yang kecil dan sebagai batas dari besarnya *cross-sectional* area dari *surge tank*. Berikut grafik antara *surge tank* area dan *first upsurge*:



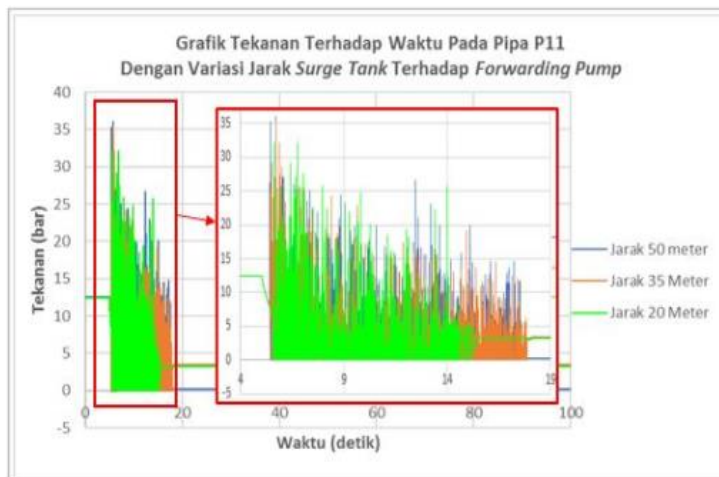
Gambar 2. 13 Variasi dari *First Upsurge* dengan *Cross-sectional* Area dari *Surge tank*

### 2.10.2 Nugraha (2017)

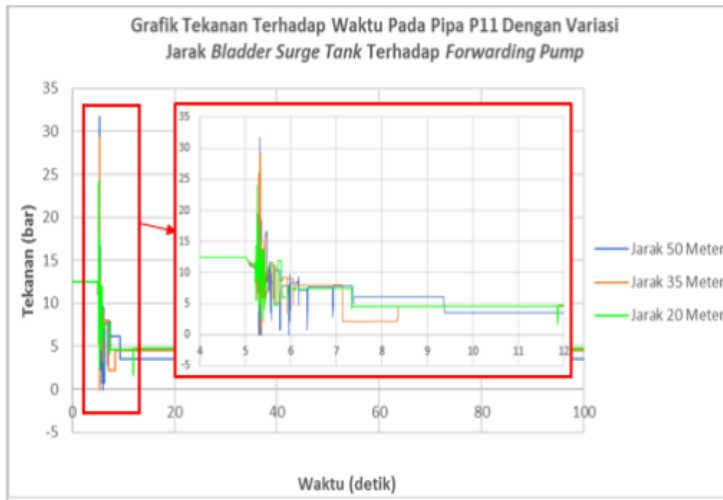
Nugraha melakukan penelitian terkait fenomena *water hammer* yang terjadi di suatu rumah pompa unit instalasi pengolahan air minum. Dalam melakukan penelitian pemodelan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak. Sistem perpipaan yang disimulasikan adalah sistem perpipaan dengan alat proteksi berupa *surge tank* dan *bladder surge tank*. Analisa dilakukan pada saat sistem di kondisi *transient* yaitu ketika tiga pompa operasi mengalami kegagalan beroperasi. Selain dilakukan analisa terhadap efisiensi alat proteksi, juga dilakukan analisa variasi jarak alat proteksi terhadap *forwarding pump* yaitu 50 meter, 35 meter dan 20 meter.



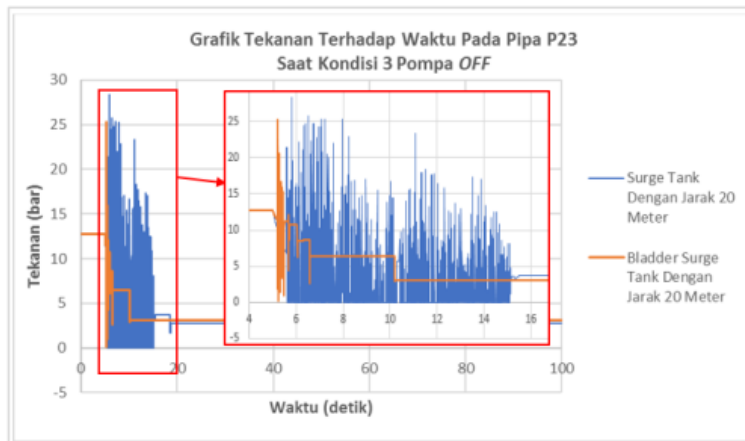
Gambar 2. 10 Pemodelan sistem perpipaan pada *software*



Gambar 2. 11 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Pada Pipa P11 Inlet (*Discharge* Pompa 3) Dengan Variasi Jarak *surge tank* terhadap *Forwarding Pump* pada skenario 3 pompa OFF.



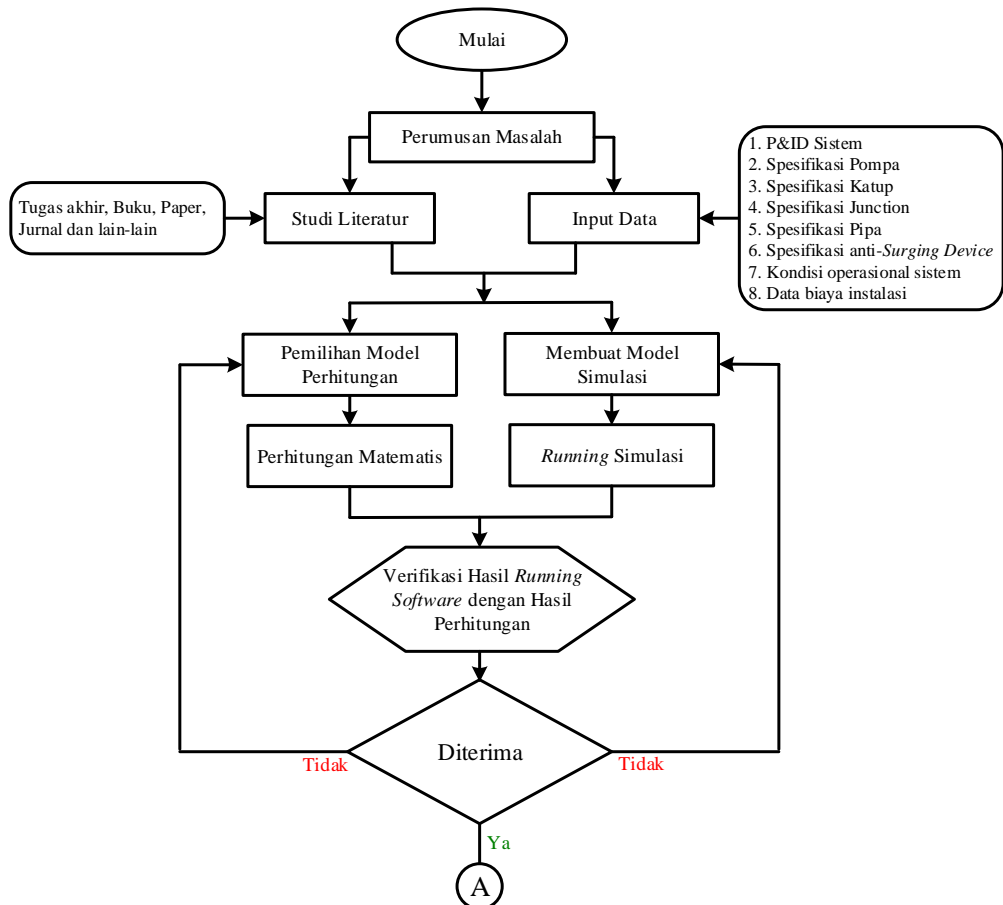
Gambar 2. 12 Grafik Tekanan Terhadap Waktu Pada Pipa P11 Inlet (*Discharge* Pompa 3) Dengan Variasi Jarak *Bladder Surge Tank* terhadap *Forwarding Pump* pada skenario 3 pompa OFF.

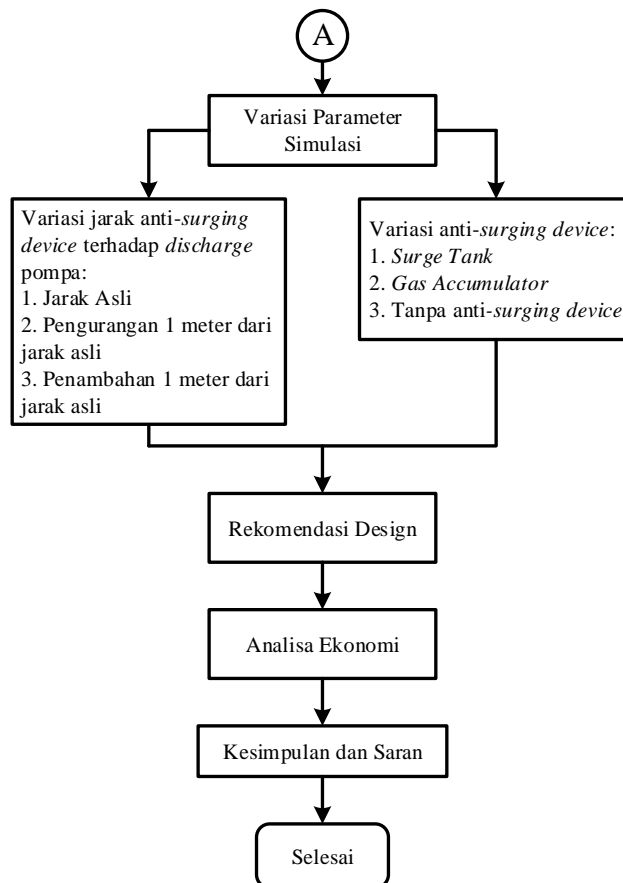


Gambar 2. 13 Grafik Perbandingan Tekanan Terhadap Waktu Pada Pipa 23 Inlet dengan Variasi Jarak *Surge Tank* 20 meter vs Pipa 23 Inlet Dengan Variasi Jarak *Bladder Surge Tank* 20 meter Pada Skenario 3 Pompa OFF.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian terhadap fenomena *water hammer* ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik yaitu dengan menggunakan sebuah *software* untuk melakukan sebuah simulasi terhadap model sesuai dengan P&ID (*Process & Instrument Diagram*) dari sistem perpipaan yang dianalisa. Pemilihan metode berbasis *software* ini dikarenakan beberapa keuntungan dibanding metode eksperimen yaitu dengan keunggulan: lebih praktis, proses lebih cepat dan dapat memuat lebih banyak data. Untuk melakukan koreksi hasil dari *running software*, akan dilakukan koreksi dengan menggunakan perhitungan matematis. Setelah itu akan dilakukan variasi parameter dengan jenis *anti-surging device* dan jarak *anti-surging device* dari *discharge pump* untuk dilakukan simulasi. Sehingga nantinya akan didapat hasil analisa untuk menentukan *anti-surging device* beserta jaraknya terhadap *discharge pump* yang tepat untuk sistem perpipaan transmisi air yang menjadi studi kasus dengan mempertimbangkan faktor ekonomi yang ada. Untuk lebih jelasnya mengenai alur penelitian digambarkan oleh Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Alur penelitian

### 3.1 Perumusan masalah

Tahapan yang pertama adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang akan dijadikan sebagai objek penelitian. Pada tugas akhir ini permasalahan yang akan diangkat adalah mengenai pemilihan anti-*surgin device* (*surge tank*, *gas accumulator* dan tanpa anti-*surgin device*) dan penempatan anti-*surgin device* yang paling optimal untuk meminimalisir dampak fluktuasi tekanan akibat *water hammer* pada suatu sistem perpipaan transmisi air berdasarkan kondisi operasionalnya.

### 3.2 Studi Literatur

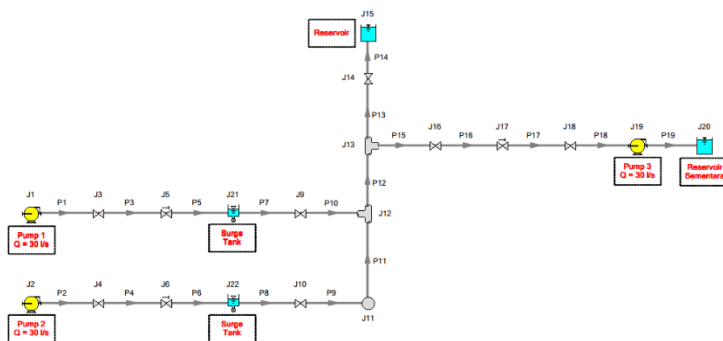
Studi literatur merupakan tahap pembelajaran mengenai teori – teori dasar yang akan dibahas dan menjadi dasar penelitian ini. Studi literatur didapatkan dari pencarian pada sumber referensi yang dapat berupa buku, paper, jurnal dan lain – lain.

### 3.3 Input Data

Tahap ini berjalan paralel dengan studi literatur, karena merupakan proses pengumpulan data dan informasi teknis terkait dengan objek permasalahan yang berfungsi sebagai dasar penelitian. Data yang dikumpulkan difokuskan pada P&ID sistem, spesifikasi pompa, spesifikasi katup, spesifikasi *junction*, spesifikasi pipa, spesifikasi anti-*surgings device*, kondisi operasional sistem dan data biaya instalasi.

### 3.4 Pembuatan Model Simulasi

Tahap berikutnya setelah data – data teknis diperoleh maka dapat dilakukan pembuatan model simulasi dengan menggunakan *software*. Pada *software* ini akan dibuat P&ID sistem yang menjadi objek penelitian.



Gambar 3. 2 Pembuatan model simulasi dengan *software*

#### 1. Fluida dalam pipa:

Fluida : Air pada tekanan 1 Atm  
Suhu : 23°C

#### Karakteristik Untuk Fluida Air Pada Suhu 23°C:

Densitas : 997.66 kg/m<sup>3</sup>  
Viskositas Dinamik : 9.3096 x 10<sup>-4</sup> kg/sec-m  
Bulk Modulus : 2.0612 x 10<sup>-4</sup> bar

#### 2. Spesifikasi pipa:

Spesifikasi pipa yang digunakan pada pemodelan sistem perpipaan rumah pompa Unit Suruhwadang ini terlampir secara detail pada lampiran 2.

#### 3. Spesifikasi *Reservoir & Junction*:

Data *junction* dan *reservoir* serta elevasinya pada pemodelan sistem perpipaan rumah pompa Unit Suruhwadang ini terlampir pada lampiran 3.

#### 4. Spesifikasi Pompa:

Pompa yang digunakan merupakan 2 buah pompa sentrifugal (*submersible*) dimana posisi pompa berada di dalam sumur sumber air dan 1 buah pompa jenis sentrifugal yang berfungsi untuk mengalirkan air dari *reservoir* ke *reservoir* sementara. Berikut detailnya:

- Pompa 1: memasok permintaan *flow rate* sebesar 30 liter/detik
- Pompa 2: memasok permintaan *flow rate* sebesar 30 liter/detik
- Pompa 3: memasok permintaan *flow rate* sebesar 30 liter/detik

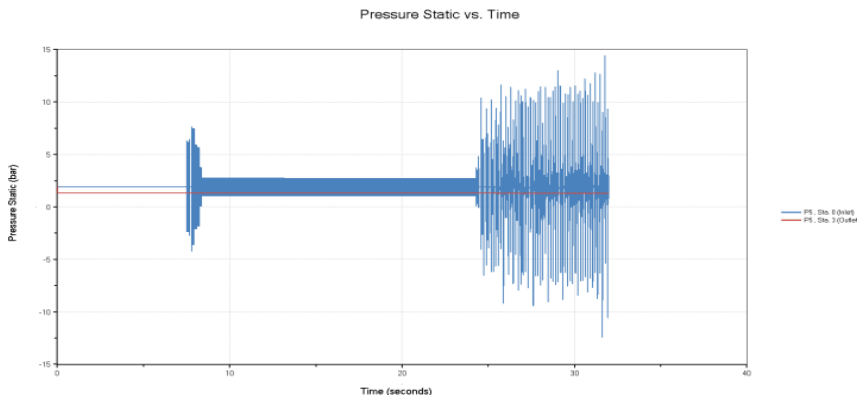
### 5. Spesifikasi Alat Proteksi *Water Hammer*

Pada rumah pompa Unit Suruhwadang menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *surge tank* yang diletakkan sejauh 86.5 meter dari *discharge pump 1* dan sejauh 85.1 meter dari *discharge pump 2*. Spesifikasi dari *surge tank* yang digunakan rumah pompa Unit Suruhwadang ditunjukkan di bawah ini:

- *Tank Height* 6.7 meter
- *Elevation* 0 meter
- *Diameter Tank* 7.06
- *Maximum Operating pressure* 12 bar
- *Volume* 4000 liter

### 3.6 Proses Simulasi

Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* untuk menganalisa kinerja dari masing–masing anti-*surging device* dalam meminimalisir efek *water hammer* apabila terjadi pada sistem pipa tersebut. Grafik hasil analisa pada *software* ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 3 Hasil simulasi *software*

### 3.7 Perhitungan Matematis

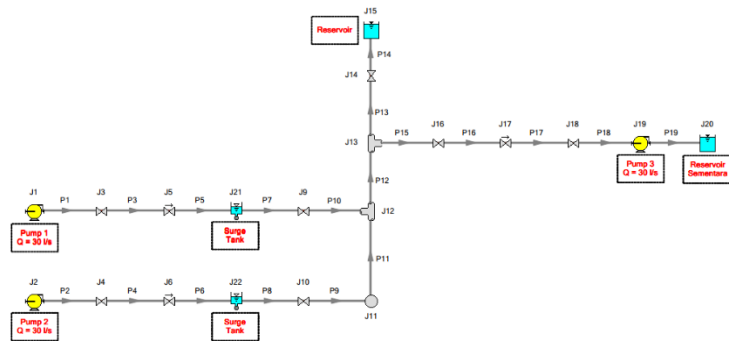
Untuk melakukan koreksi berdasarkan hasil analisa *software*. Maka akan dilakukan perhitungan matematis, sehingga bisa dibandingkan hasil analisa *software* dan perhitungan matematis.

### 3.8 Verifikasi Hasil

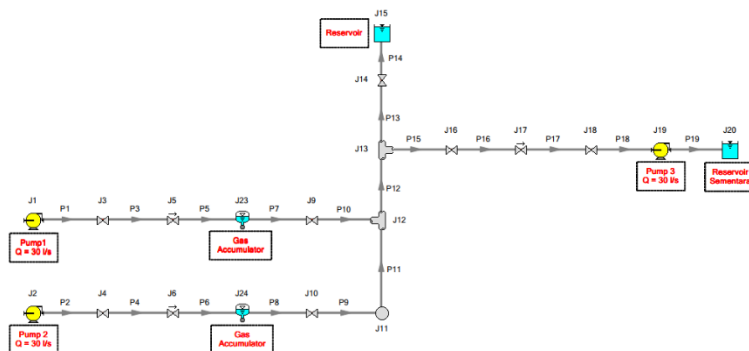
Setelah metode simulasi dengan menggunakan *software* dan perhitungan matematis selesai dilakukan. Maka tahap selanjutnya adalah membandingkan hasil simulasi menggunakan *software* dengan perhitungan matematis, agar didapat sebuah nilai yang benar-benar akurat. Dikarenakan tidak ditemukan referensi sebagai acuan, maka nilai 6% digunakan sebagai batasan terbesar nilai error.

### 3.9 Variasi Parameter Simulasi

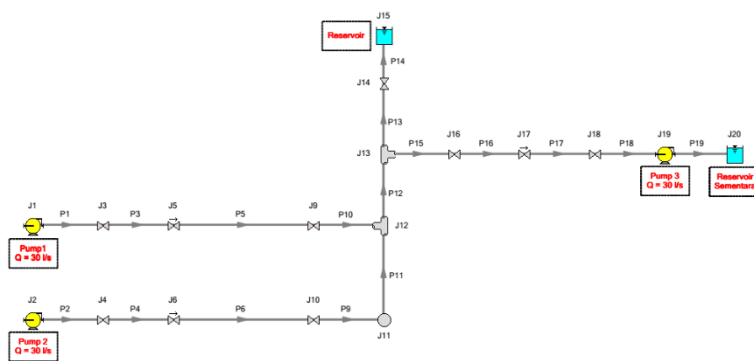
Setelah selesai tahap verifikasi, maka akan dilakukan variasi parameter simulasi yang berupa variasi peralatan anti-*surging* (*Surge Tank*, *Gas Accumulator* dan tanpa anti-*surging device*) dan variasi jarak anti-*surging device*. Sehingga nantinya akan didapat anti-*surging device* dan jarak anti-*surging device* yang paling tepat untuk sistem perpipaan yang dijadikan studi kasus.



Gambar 3. 4 Pembuatan model simulasi di *software* dengan variasi anti-*surging device* (*surge tank*)



Gambar 3. 5 Pembuatan model simulasi di *software* dengan variasi anti-*surging device* (*gas accumulator*)



Gambar 3. 6 Pembuatan model simulasi di software tanpa menggunakan *anti-surgin device*

### 3.10 Rekomendasi *Design*

Setelah selesai melakukan analisa, akan dibuat desain baru yang lebih baik untuk menahan fluktuasi tekanan dari *water hammer*, desain yang dibuat berupa P&ID sesuai kondisi *existing* tetapi dengan menambahkan peralatan *anti-surgin* yang dapat menahan fluktuasi tekanan akibat *water hammer* di instalasi perpipaan yang menjadi studi kasus sesuai dengan hasil analisa. Pada titik yang dilakukan perubahan desain khususnya titik yang ditambah dengan peralatan *anti-surgin* akan dibuatkan gambar isometrik.

### 3.11 Analisa Ekonomi

Pada tahap ini akan dilakukan analisa ekonomi berupa perbandingan nilai ekonomis dari desain yang dibuat. Perbandingan nilai ekonomis ini akan berupa sebuah daftar harga yang berisi biaya komponen dan biaya pemasangan.

### 3.12 Kesimpulan dan Saran

Langkah selanjutnya adalah membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Selanjutnya setelah memberikan kesimpulan adalah memberikan saran berdasarkan hasil analisa untuk dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada tugas akhir ini ataupun pada data–data dan metodologi yang nantinya dijadikan bahan referensi.

### 3.13 Jadwal Pelaksanaan

Jadwal kegiatan penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Jarak dan Pemilihan *Anti-Surgin Device* pada Sistem Perpipaan Transmisi Air (Studi Kasus di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar)” ditampilkan pada Tabel 3.1. Penelitian diestimasikan berdurasi 4 bulan dari diterimanya proposal usulan penelitian. Proses penelitian akan melalui beberapa tahap diantaranya studi literatur, input data, pembuatan model simulasi, proses simulasi, perhitungan matematis, verifikasi hasil, variasi parameter simulasi, rekomendasi *design*, analisa ekonomi, kesimpulan dan saran.

Tabel 3. 1 Tabel Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan ke -															
		1				2				3				4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi literatur	■	■	■	■	■	■										
2.	Input data					■	■	■	■								
3.	Pembuatan model simulasi					■	■	■	■	■	■	■	■				
4.	Proses simulasi									■	■	■	■				
5.	Perhitungan Matematis									■	■	■	■	■			
6.	Verifikasi Hasil													■	■		
7.	Variasi Parameter Simulasi													■	■	■	
8.	Rekomendasi <i>Design</i>													■	■	■	■
9.	Analisa Ekonomi													■	■	■	■
10.	Kesimpulan dan Saran														■	■	■

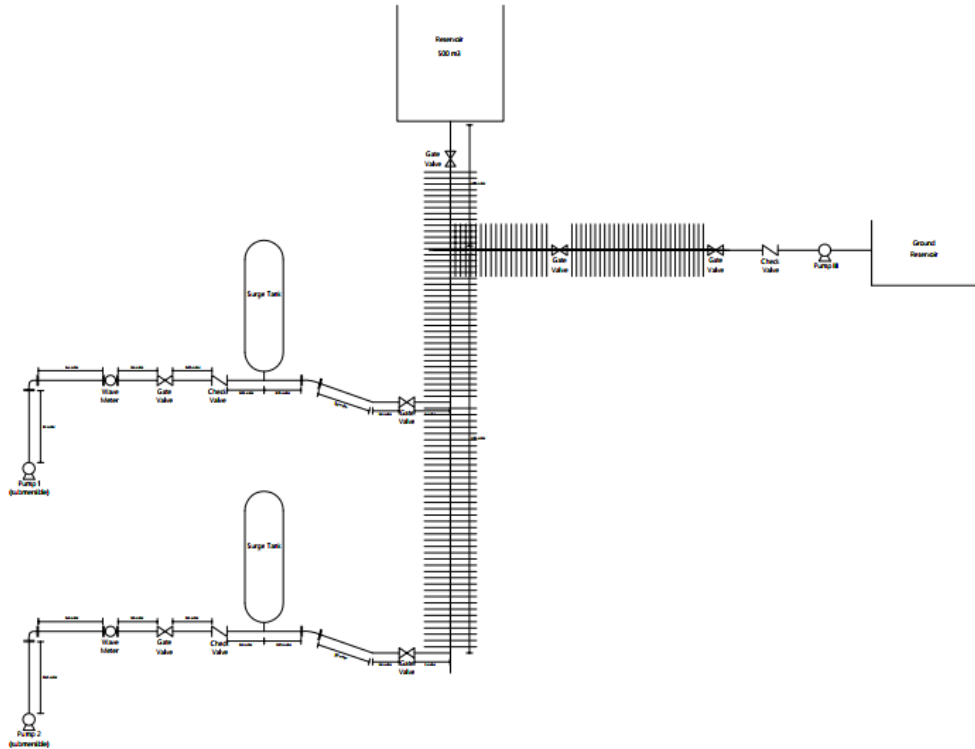
Sumber: Penulis, 2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

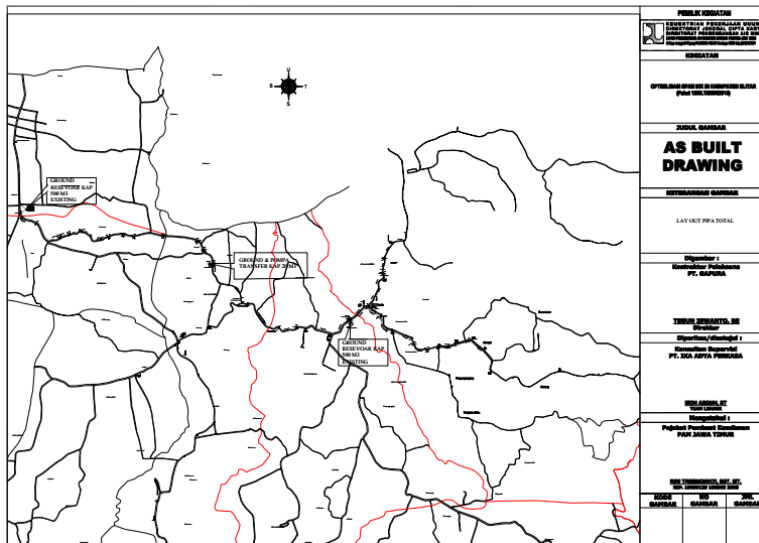
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembuatan Model Simulasi

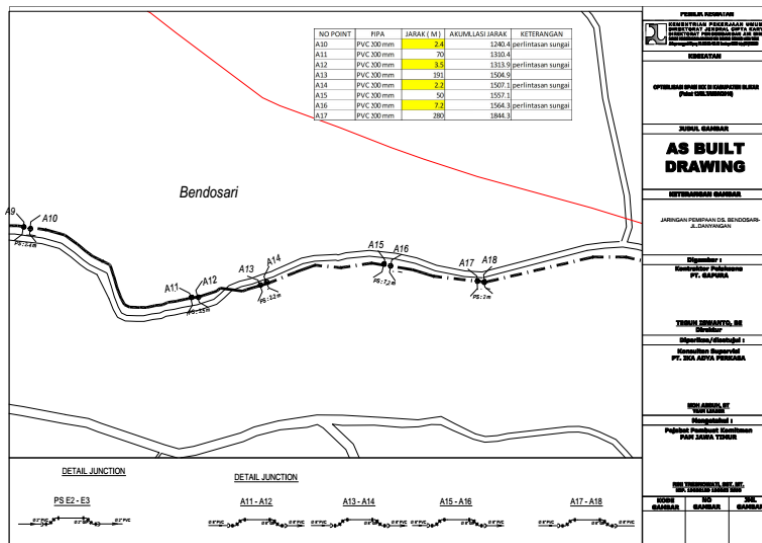
Data instalasi jaringan pipa berdasarkan *layout* yang didapatkan dari PT. PDAM Tirta Penataran Kabupaten Blitar, data tersebut meliputi gambaran umum (*Proses Instrument & Diagram*) dan juga spesifikasi dari sistem yang akan dijadikan objek penelitian.



Gambar 4. 1 Skema instalasi sistem perpipaan rumah pompa unit Suruhwadang  
Sumber: PT. PDAM Tirta Penataran, 2019

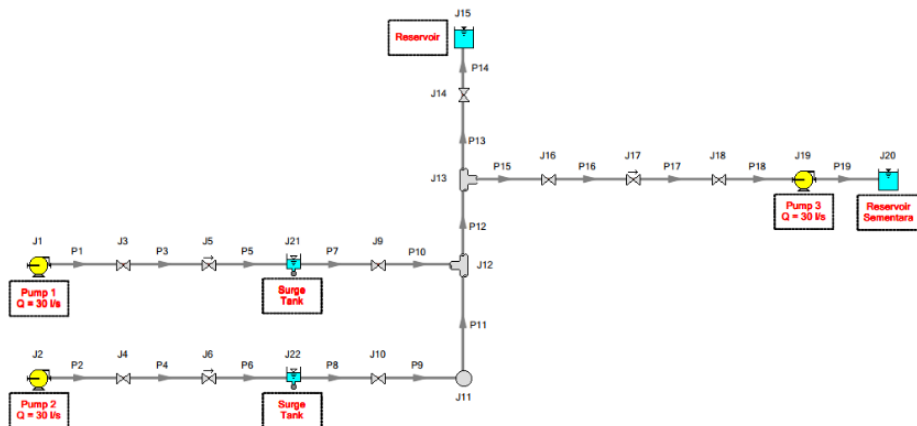


Gambar 4. 2 Skema saluran pipa air unit Suruhwadang  
 Sumber: PT. PDAM Tirta Penataran, 2019



Gambar 4. 3 Skema saluran pipa air unit Suruhwadang  
 Sumber: PT. PDAM Tirta Penataran, 2019

Data yang diperoleh disesuaikan dengan database yang ada pada *software*. Dengan bantuan *software* akan disusun instalasi berdasarkan Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3. Setelah dilakukan pemodelan dengan *software*, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.4



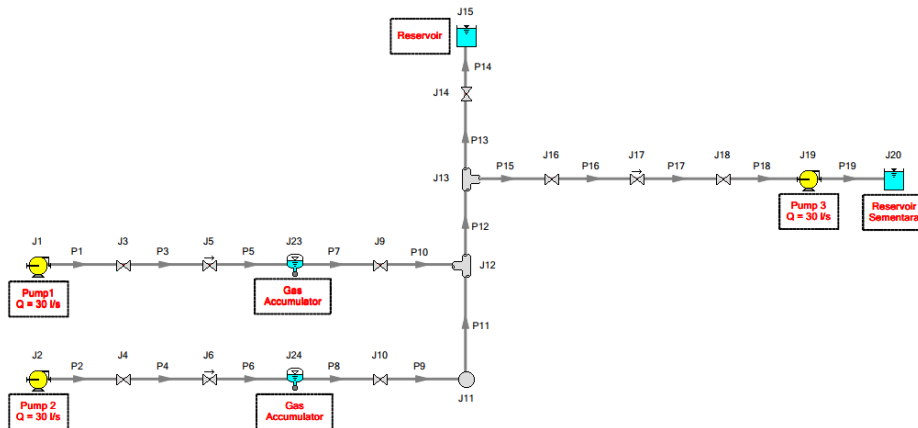
Gambar 4. 4 Pemodelan instalasi sistem perpipaan unit Suruhwadang di *software* dengan menggunakan anti-*surging device surge tank*

Pada Gambar 4.4, pemodelan instalasi sistem perpipaan dilakukan dengan mengacu pada kondisi asli di lapangan yang dilengkapi dengan peralatan anti-*surging device* berupa *surge tank*.

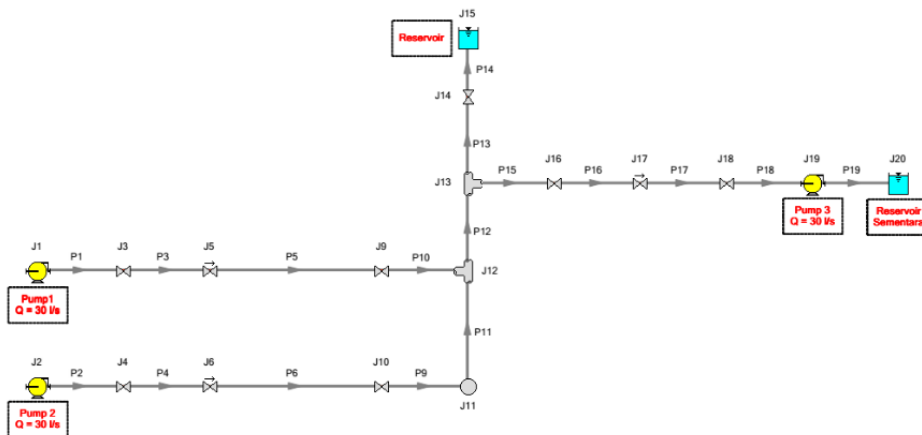
Dalam simulasi ini menggunakan variasi pada anti-*surging device* yaitu berupa *surge tank* dan *gas accumulator*. Hal ini bertujuan untuk membandingkan anti-*surging device* mana yang memiliki kemampuan meminimalisir lonjakan tekanan (*water hammer*) yang lebih baik. Selain itu juga akan disimulasikan juga model instalasi sistem perpipaan tanpa menggunakan anti-*surging device*.

**Tabel 4. 1** Spesifikasi umum anti-*surging device* yang digunakan

<b>Anti-Surging Device</b>	Surge Tank	Gas Accumulator
<b>Tekanan Kerja</b>	12 Bar	206.8 Bar
<b>Volume</b>	4000 Liter	114 Liter



Gambar 4. 5 Pemodelan instalasi sistem perpipaan unit Suruhwadang di *software* dengan menggunakan *anti-surgings device gas accumulator*



Gambar 4. 6 Pemodelan instalasi sistem perpipaan unit Suruhwadang di *software* tanpa menggunakan *anti-surgings device*

#### 4.2 Validasi Model Simulasi

Validasi model simulasi merupakan salah satu cara yang bertujuan untuk mengetahui bahwa *software* yang digunakan sesuai dengan tujuan dan mengetahui kekurangan dari *software* yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencocokan hasil dari analisa *software* dan perhitungan matematis (*head loss pump*). Pada studi kasus ini titik yang akan divalidasi ada 2 yaitu titik di dekat *pump 1* yaitu inlet pipa P1 dan dititik di dekat *pump 2* yaitu *inlet* pipa P2.

##### Validasi Hasil Simulasi *Software* (Pump 1)

###### 1. Kapasitas Pompa (Q)

Sesuai dengan spesifikasi pompa 0.03 m<sup>3</sup>/s

2. Spesifikasi Pipa

ANSI-SCH 10

Diameter = 0.16 m

Jari-jari = 0.08 m

3. Head statis (HS)

HS = 86 m

4. Head Pressure (HP)

HP = 0 m

5. Head Velocity (HV)

HV = 0 m

6. Head (Discharge)

- Viskositas ( $\nu$ ) = 0.93 cst 23°C  
=  $n/10^6$   
= 0.00000093 m<sup>2</sup>/s
- $V_s$  = flow velocity (m/s)  
= 1.5 m/s
- $D$  = inside diameter  
= 162 mm
- $R_n$  =  $(V_s \times d)/\nu$   
= 260484 (turbulen)
- $\lambda$  =  $0.02 + 0.0005/D$   
= 0.0200031
- Major losses ( $h_f$ )  
 $h_f = \lambda \times L \times v^2 / (D \times 2g)$   
L = Panjang pipa discharge = 86 m  
g = Percepatan gravitasi = 9.8 m/s<sup>2</sup>
- So, Major Loses  
 $h_f = 1.234$
- Minor Loses  
 $h_m = \sum nk \times v^2 / 2g$

No	Accessories	n	k	n x k
1.	Reg. 90, flanged (elbow)	1	0.3	0.3
2.	Strainer	1	2.5	2.5
			<b><math>\sum nk</math></b>	<b>2.8</b>

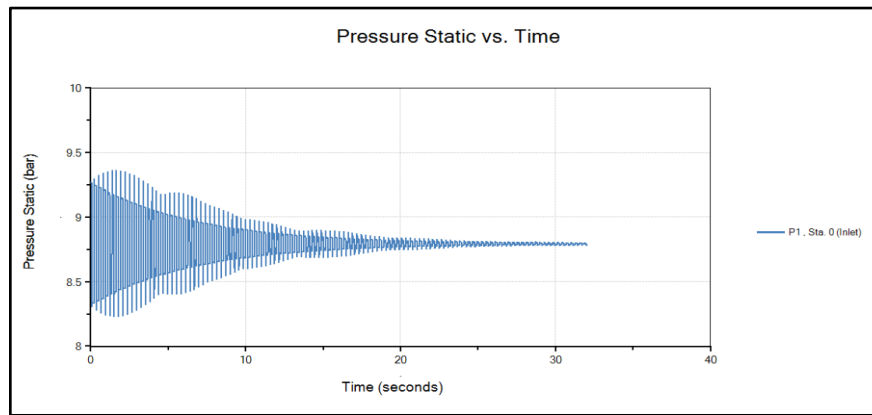
- Minor Loses Total  
 $h_m = \sum nk \times v^2 / 2g$   
=  $(2.8 \times 1.5^2) / (2 \times 9.8)$   
= 0.321
- Total Head  
= 87 meter  
Sehingga dibutuhkan tekanan ± 9 Bar

- Spesifikasi pompa dilampirkan

No.	Lokasi	Head	Kapasitas	Tipe	Merk
1.	Suruhwadang 1	100 m	30 l/s	Submersible	GroundfousSP60-20
2.	Suruhwadang 2	100 m	30 l/s	Submersible	APP

7. Koreksi antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi di *software*

- Hasil *running* di *software* untuk pipa P1 didapatkan tekanan *inlet* sebesar 9.4 bar.



Gambar 4. 7 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P1 *inlet* dan *outlet*

- Hasil perhitungan dengan rumus matematis di dapat tekanan sebesar 9 bar.
- Sehingga, didapatkan nilai error:

$$\frac{9,4-9}{9,4} \times 100\% = 4,3 \%$$

### Validasi Hasil Simulasi *Software* (Pump 2)

1. Kapasitas Pompa (Q)  
Sesuai dengan spesifikasi pompa 0.03 m<sup>3</sup>/s
2. Spesifikasi Pipa  
ANSI-SCH 10  
Diameter = 0.16 m  
Jari-jari = 0.08 m
3. Head statis (HS)  
HS = 84 m
4. Head Pressure (HP)  
HP = 0 m
5. Head Velocity (HV)  
HV = 0 m

## 6. Head (Discharge)

- Viskositas ( $\nu$ ) = 0.93 cst 23°C  
=  $n/10^6$   
= 0.00000093 m<sup>2</sup>/s
- $V_s$  = flow velocity (m/s)  
= 1.5 m/s
- $D$  = inside diameter  
= 162 mm
- $R_n$  =  $(V_s \times d)/\nu$   
= 260484 (turbulen)
- $\lambda$  =  $0.02 + 0.0005/D$   
= 0.0200031
- Major losses ( $h_f$ )  
 $h_f = \lambda \times L \times v^2 / (D \times 2g)$   
 $L$  = Panjang pipa discharge = 84 m  
 $g$  = Percepatan gravitasi = 9.8 m/s<sup>2</sup>
- $S_o$ , Major Loses  
 $h_f = 1.206$
- Minor Loses  
 $h_m = \sum nk \times v^2 / 2g$

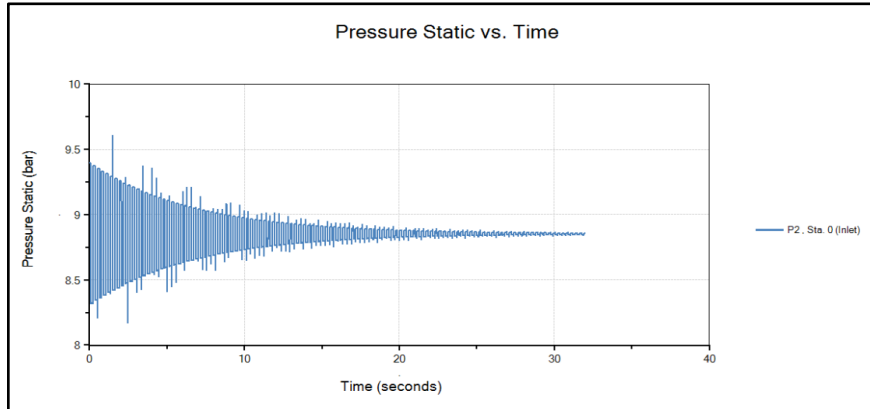
No	Accessories	n	k	n x k
1.	Reg. 90, flanged (elbow)	1	0.3	0.3
2.	Strainer	1	2.5	2.5
			$\sum nk$	2.8

- Minor Loses Total  
 $h_m = \sum nk \times v^2 / 2g$   
=  $(2.8 \times 1.5^2) / (2 \times 9.8)$   
= 0.321
- Total Head  
= 87 meter  
Sehingga dibutuhkan tekanan  $\pm 9$  Bar
- Spesifikasi pompa dilapangan

No.	Lokasi	Head	Kapasitas	Tipe	Merk
1.	Suruhwadang 1	100 m	30 l/s	Submersible	GroundfousSP60-20
2.	Suruhwadang 2	100 m	30 l/s	Submersible	APP

## 7. Koreksi antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi di software

- Hasil *running* di *software* untuk pipa P2 didapatkan tekanan *inlet* sebesar 9.55 bar.



Gambar 4. 8 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P2 *inlet* dan *outlet*

- Hasil perhitungan dengan rumus matematis di dapat tekanan sebesar 9 bar.
- Sehingga, didapatkan nilai error:  

$$\frac{9.55-9}{9.55} \times 100\% = 5.8 \%$$

#### 4.3 Variasi Parameter Simulasi

Selain mengganti jenis *anti-surging device*, pada simulasi ini juga dilakukan variasi jarak *anti-surging device* terhadap *discharge pump*. Dengan jarak variasi adalah variasi 1 (jarak asli *anti-surging device* dari *discharge pump*), variasi 2 (jarak asli *anti-surging device* dari *discharge pump* dikurangi 1 meter ke belakang) dan variasi 3 (jarak asli *anti-surging device* dari *discharge pump* ditambah 1 meter ke depan). Sehingga didapatkan beberapa model yang nantinya akan di simulasikan di dalam *software* yaitu sebagai berikut:

1. Desain 1, desain dengan jarak *anti-surging device* (*surge tank*) dari *discharge pump*, menggunakan jarak sebenarnya.
2. Desain 2, desain dengan jarak *anti-surging device* (*gas accumulator*) dari *discharge pump*, menggunakan jarak sebenarnya.
3. Desain 3, desain dengan jarak *anti-surging device* (*surge tank*) dari *discharge pump*, menggunakan jarak sebenarnya dikurangi 1 meter ke belakang.
4. Desain 4, desain dengan jarak *anti-surging device* (*gas accumulator*) dari *discharge pump*, menggunakan jarak sebenarnya dikurangi 1 meter ke belakang.
5. Desain 5, desain dengan jarak *anti-surging device* (*surge tank*) dari *discharge pump*, menggunakan jarak sebenarnya ditambah 1 meter ke depan.
6. Desain 6, desain dengan jarak *anti-surging device* (*gas accumulator*) dari *discharge pump*, menggunakan jarak sebenarnya ditambah 1 meter ke depan.
7. Desain 7, desain tanpa menggunakan peralatan *anti-surging device*.

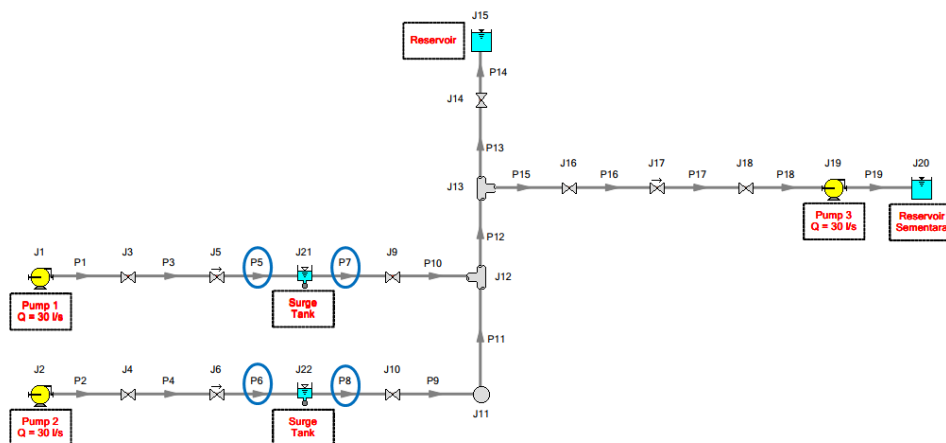
#### 4.4 Skenario Simulasi

Untuk skema simulasi pengoperasian sistem instalasi perpipaan adalah dengan metode ON-OFF (Anwar, 2012). Dimana sistem akan beroperasi selama 32 detik dan nantinya salah satu dari *pump* yang beroperasi akan mengalami *trip* selama beberapa waktu tertentu. Skenario simulasi yang digunakan:

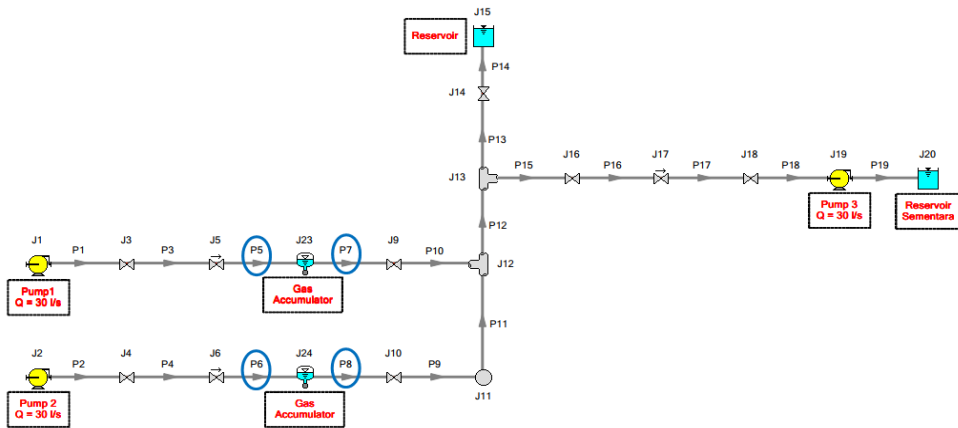
1. Skenario 1, sistem akan beroperasi selama 32 detik, ketika beberapa detik beroperasi *pump* 1 akan mengalami *trip*. Setelah beberapa detik mengalami *trip*, *pump* 1 akan ON kembali. Dimana *pump* 2 ON secara normal, tetapi *pump* 3 OFF.
2. Skenario 2, sistem akan beroperasi selama 32 detik, ketika beberapa detik beroperasi *pump* 2 akan mengalami *trip*. Setelah beberapa detik mengalami *trip*, *pump* 2 akan ON kembali. Dimana *pump* 1 ON secara normal, tetapi *pump* 3 OFF.
3. Skenario 3, sistem akan beroperasi selama 32 detik, ketika beberapa detik beroperasi *pump* 1 akan mengalami *trip*. Setelah beberapa detik mengalami *trip*, *pump* 1 akan ON kembali. Dimana *pump* 2 ON secara normal, dan *pump* 3 ON.
4. Skenario 4, sistem akan beroperasi selama 32 detik, ketika beberapa detik beroperasi *pump* 2 akan mengalami *trip*. Setelah beberapa detik mengalami *trip*, *pump* 2 akan ON kembali. Dimana *pump* 1 ON secara normal, dan *pump* 3 ON.

#### 4.5 Data Hasil Simulasi

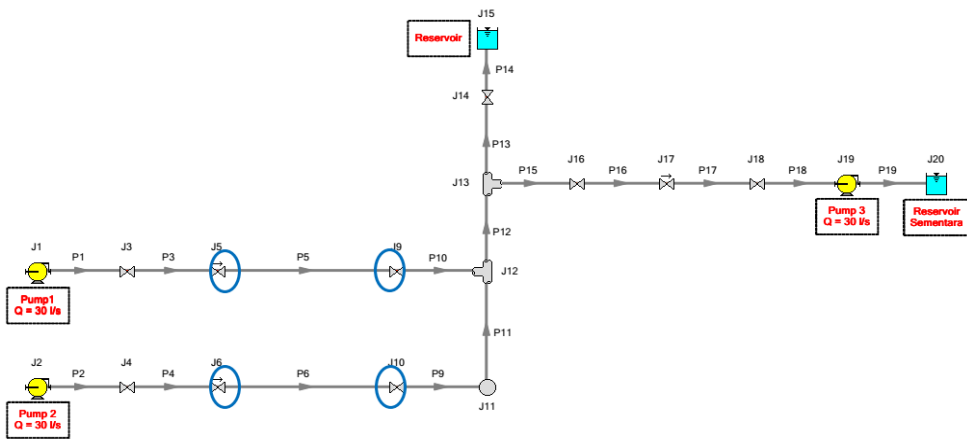
Data hasil simulasi di dapat dari *running process* yang dilakukan dengan bantuan *software*. Data yang digunakan dari hasil simulasi meliputi data perbandingan antara tekanan terhadap waktu. Titik-titik yang dianalisa terlihat pada Gambar 4.8 yang diberi tanda lingkaran (Ferdiansyah, 2017). Titik tersebut adalah pipa P5 (*inlet* dan *outlet*), P6 (*inlet* dan *outlet*), P7 (*inlet* dan *outlet*) dan P8 (*inlet* dan *outlet*).



(a) Surge tank



(b) Gas Accumulator

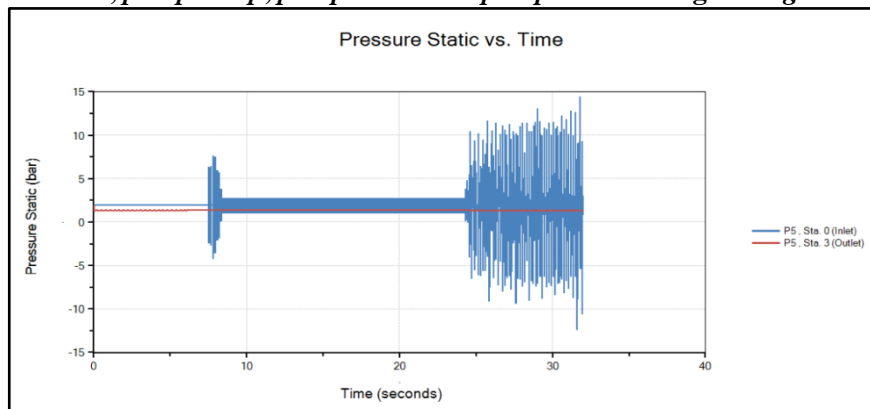


(c) Tanpa Anti-Surging Device

Gambar 4. 9 Titik-titik yang dianalisa pada permodelan sistem perpipaan unit Suruhwadang dengan bantuan *software*

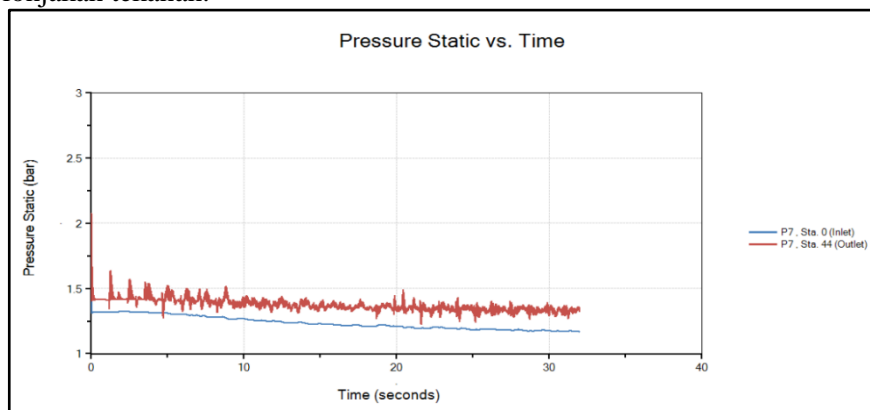
#### 4.5.1 Skenario 1, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 OFF*

- **Desain 1, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 OFF dengan surge tank.***



Gambar 4. 10 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.10 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 1* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 1.25 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 1* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah maksimal 7.5 bar pada detik ke 7 sampai 9 dan 2.6 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 1.25 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 1* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 14 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.

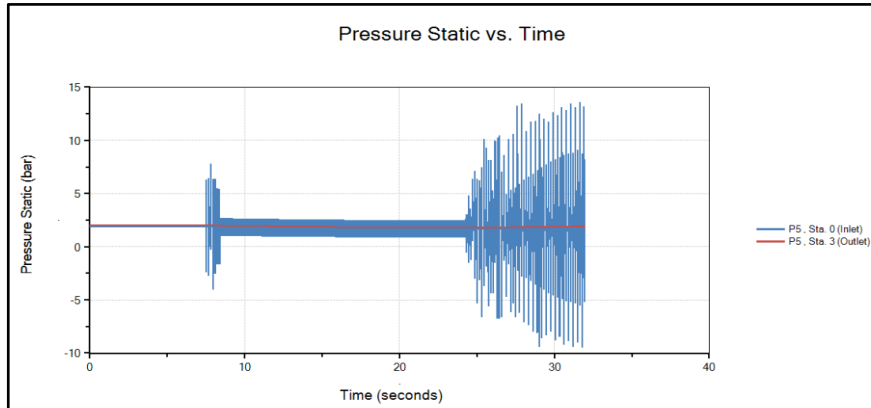


Gambar 4. 11 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada gambar 4.11 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgings device (*surge*

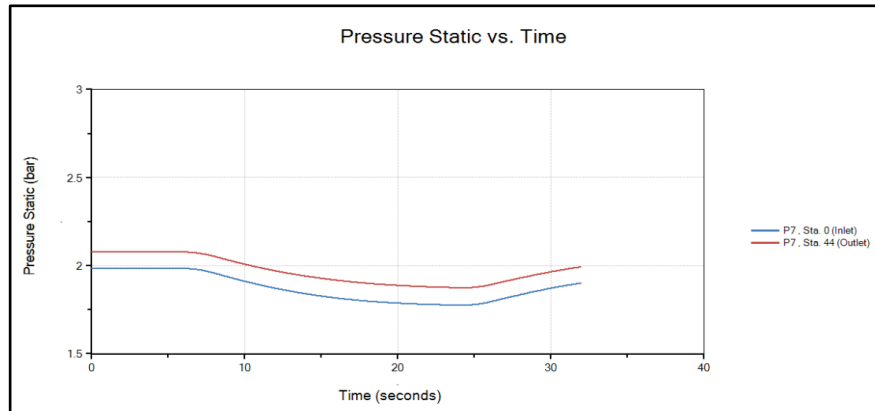
*tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar maksimal 14 bar pada detik 24 sampai 32 dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan maksimal 1.3 bar.

- **Desain 2, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 OFF dengan gas accumulator***



Gambar 4. 12 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

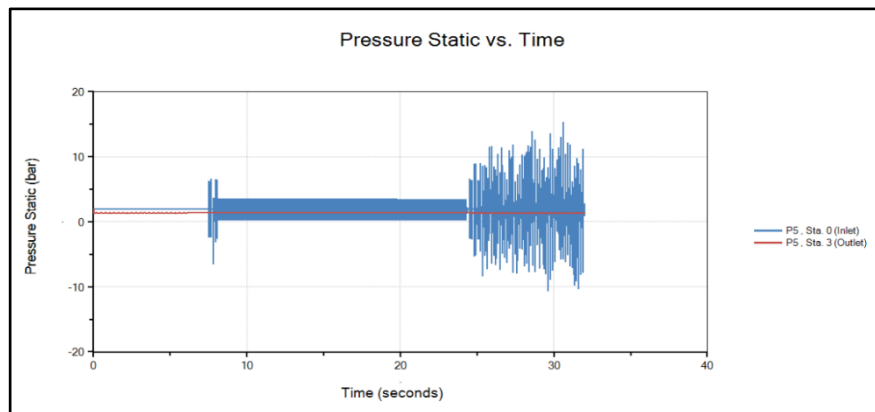
Pada Gambar 4.12 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 1* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.2 bar pada *inlet* pipa dan 2.3 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 1* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah maksimal 7.6 bar di detik ke 7 sampai 9 dan 2.6 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2.2 bar pada detik 7 sampai detik 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 1* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 13.5 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 13 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 inlet dan outlet

Pada Gambar 4.13 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 13.5 bar pada detik 24 sampai 32 dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan maksimal 1.8 bar.

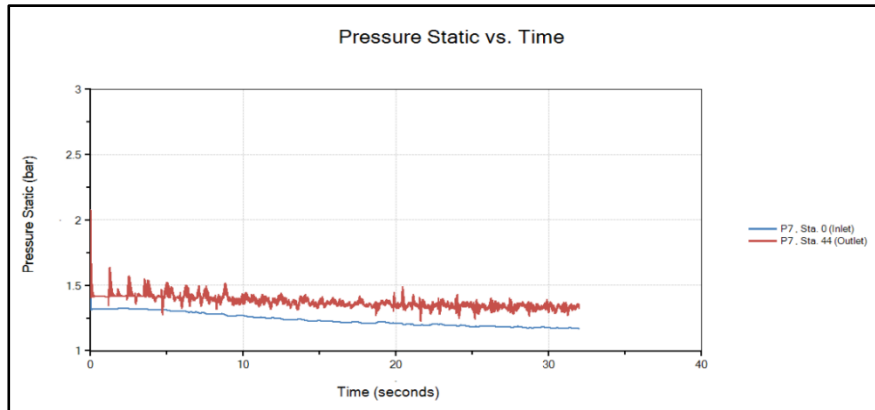
- **Desain 3, pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 OFF dengan surge tank**



Gambar 4. 14 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet

Pada Gambar 4.14 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 1.5 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah maksimal 7.5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan 4 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 1.5 bar pada detik 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan

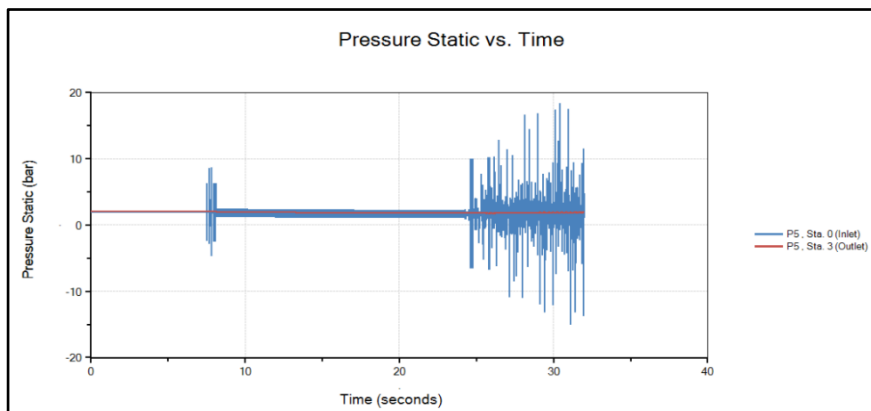
mencapai 15 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 15 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada gambar 4.15 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 15 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.4 bar.

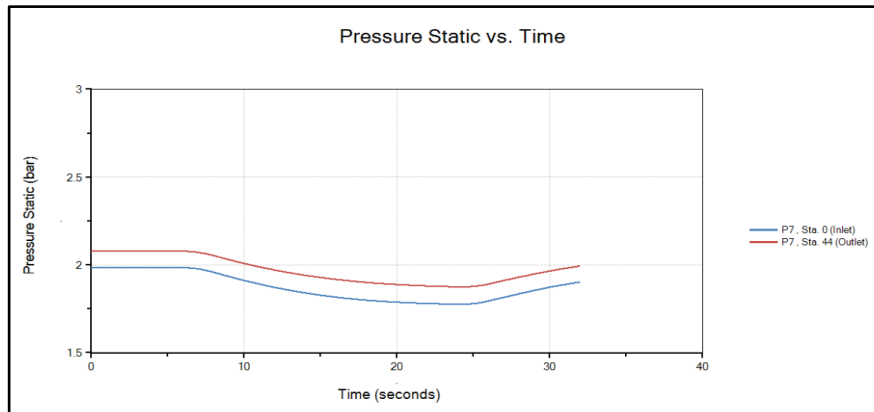
- **Desain 4, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 OFF dengan gas accumulator**



Gambar 4. 16 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

Pada gambar 4.16 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 2.3 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 8 bar di detik ke 7 sampai 9

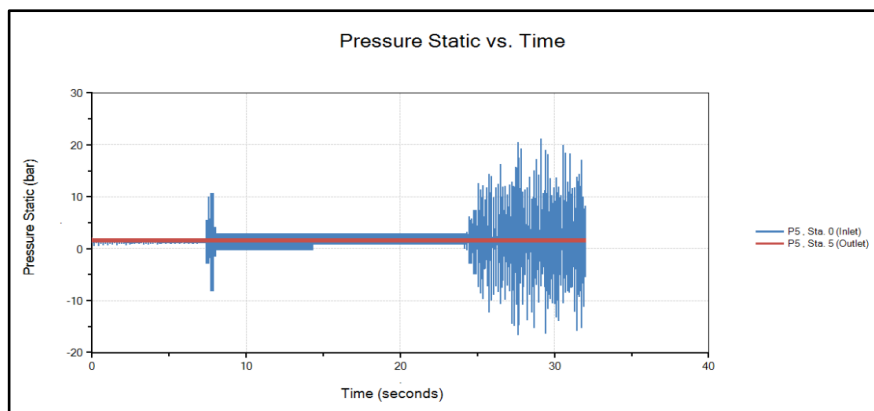
dan maksimal 2.5 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 9 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 18 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 17 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.17 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 18 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.8 bar.

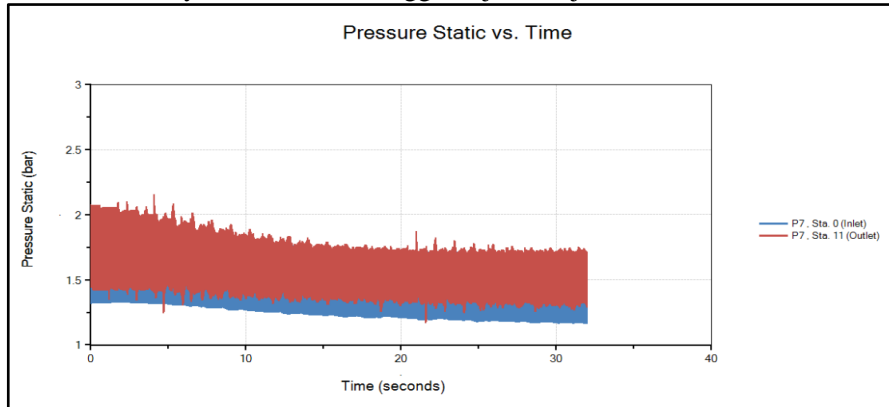
- **Desain 5, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 OFF dengan *surge tank***



Gambar 4. 18 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.18 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang

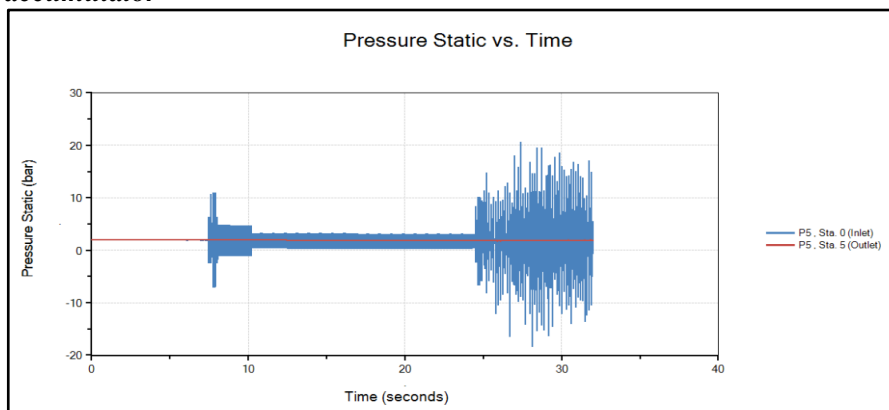
pipa P5 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 11 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 3 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 9 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 21 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 19 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

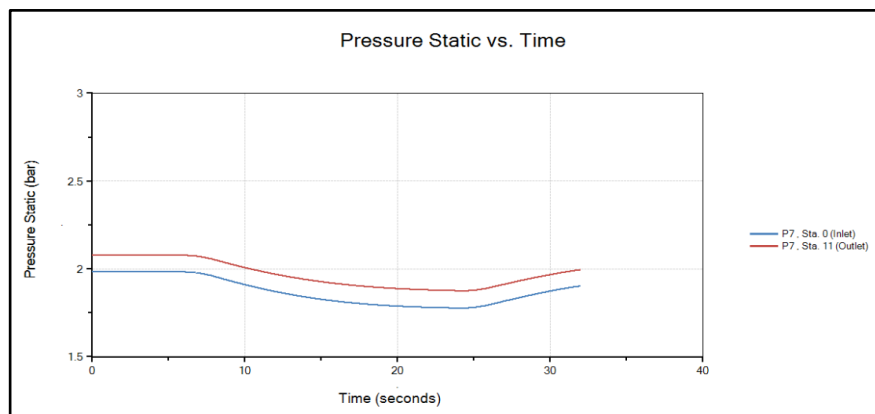
Pada Gambar 4.19 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surging device (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 21 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.7 bar.

- **Desain 6, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 OFF dengan gas accumulator**



Gambar 4. 20 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

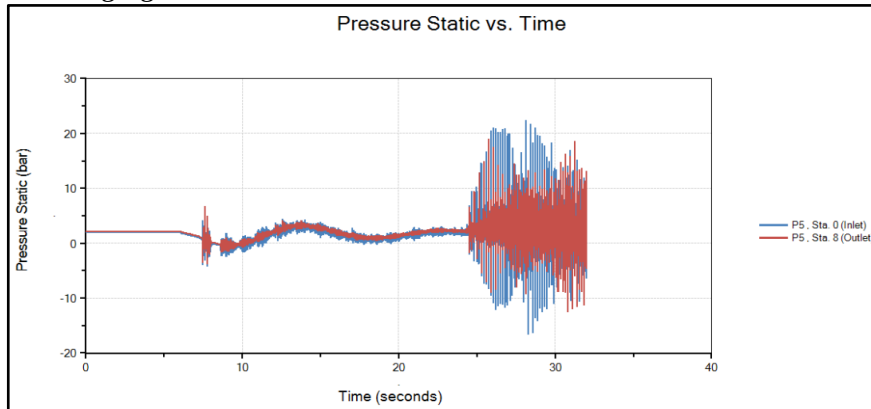
Pada Gambar 4.20 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 2.3 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 11 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 4 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 9 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 21 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 21 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.21 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surgin* *device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 21 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.75 bar.

- **Desain 7, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 OFF tanpa menggunakan anti-surgin device***

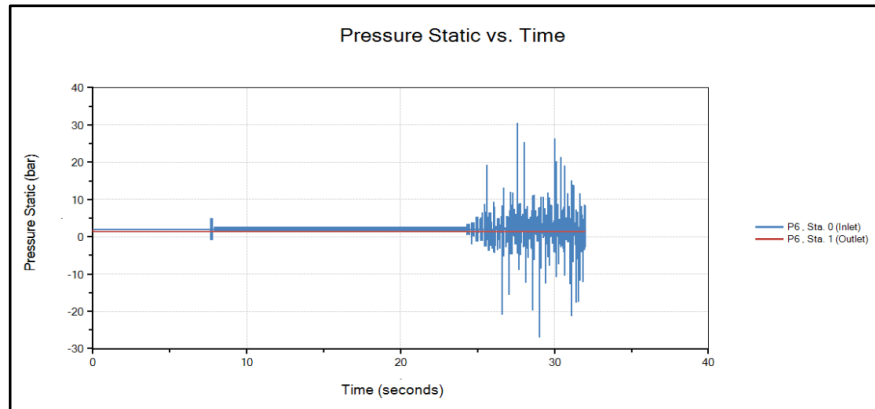


Gambar 4. 22 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet

Pada Gambar 4.22 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 1* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 2.3 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 1* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 7.5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 4 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan maksimal 4 bar pada detik 9 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 1* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 22.5 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan. Sehingga dari hal ini dapat disimpulkan, bahwa sistem yang tidak menggunakan anti-surgin device akan menerima fluktuasi tekanan yang besar ketika *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak menyala kembali, dari pada sistem yang menggunakan anti-surgin device.

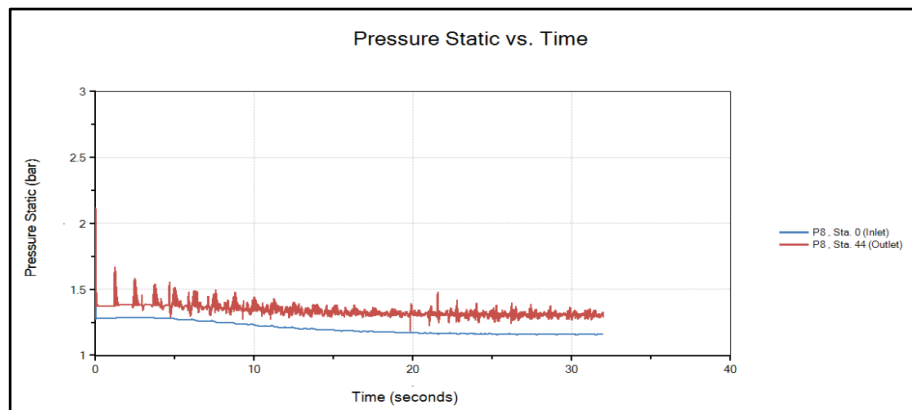
#### 4.5.2 Skenario 2, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 OFF*

- **Desain 1, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 OFF* dengan *surge tank***



Gambar 4. 23 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.23 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2.2 bar pada *inlet* pipa dan 1.5 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan 2.5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 1.5 bar pada detik 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 30 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.

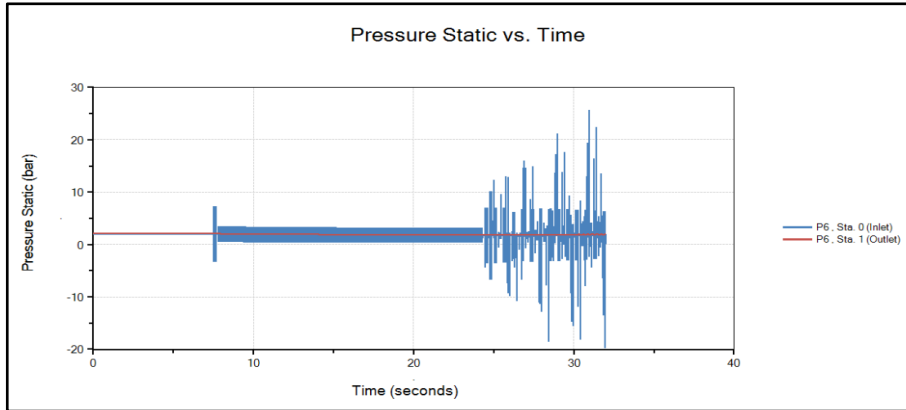


Gambar 4. 24 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.24 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgings device (*surge*

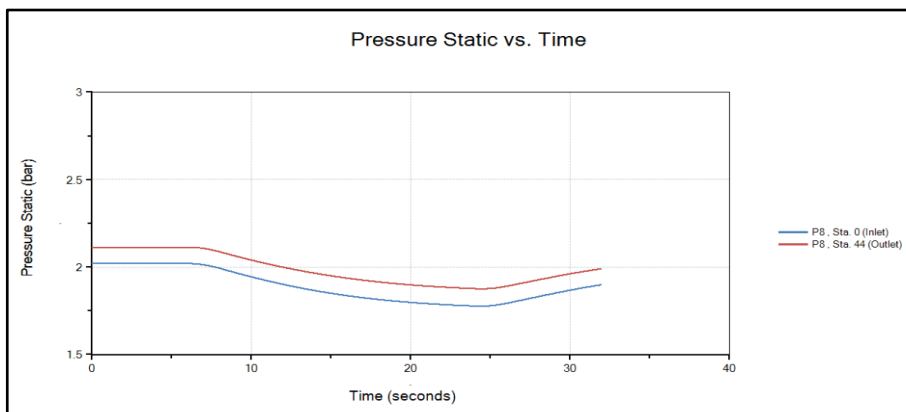
*tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 30 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.2 bar.

- **Desain 2, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 OFF* dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 25 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

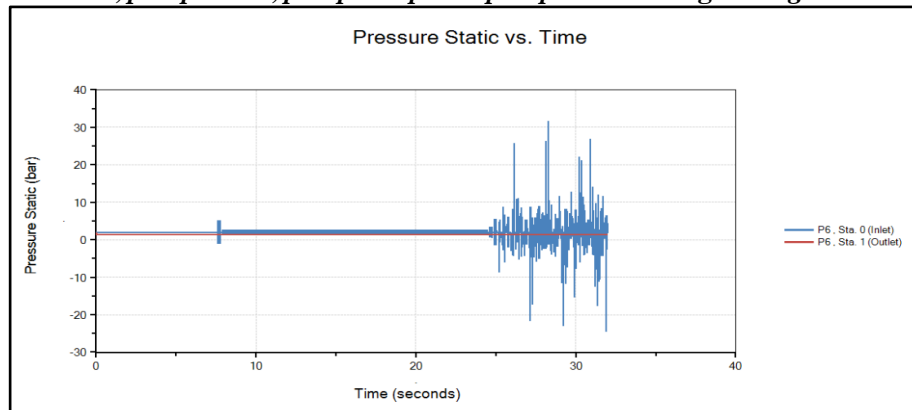
Pada Gambar 4.25 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 2.4 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 7.5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan 4 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 26 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* tiba-tiba menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 26 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

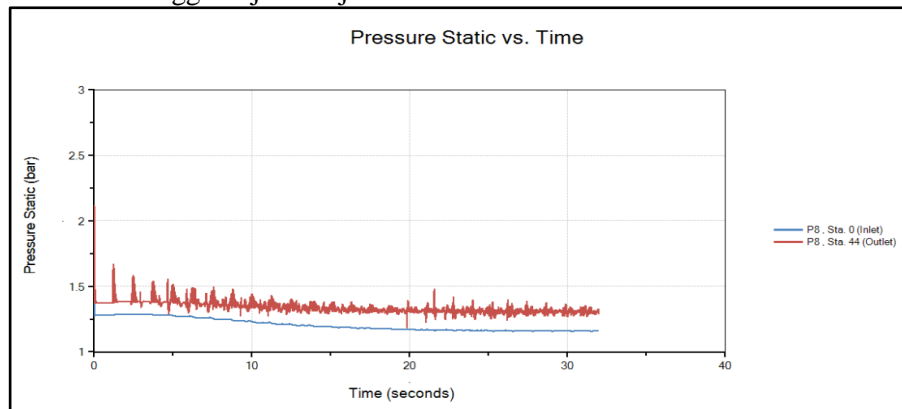
Pada Gambar 4.26 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 26 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.8 bar.

- **Desain 3, *pump 1* ON, *pump 2* trip dan *pump 3* OFF dengan *surge tank***



Gambar 4. 27 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

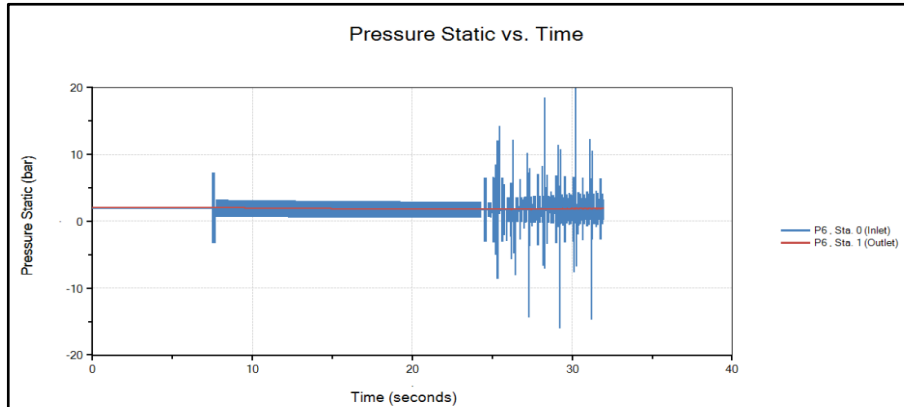
Pada Gambar 4.27 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 1.5 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan 3 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 1.5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 32 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* tiba-tiba menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 28 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

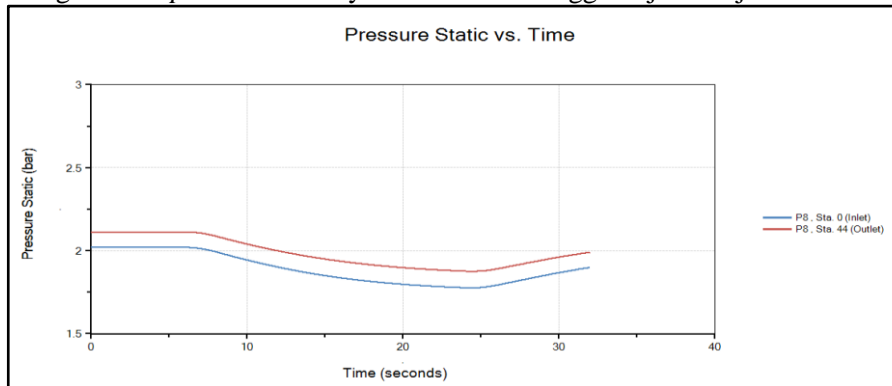
Pada Gambar 4.28 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 32 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.2 bar.

- **Desain 4, *pump* 1 ON, *pump* 2 *trip* dan *pump* 3 OFF dengan gas accumulator**



Gambar 4. 29 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

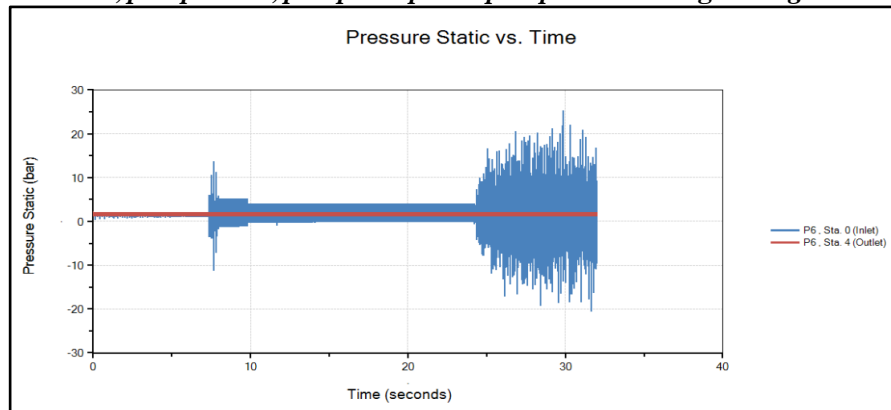
Pada Gambar 4.29 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 2 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2.1 bar pada *inlet* pipa dan 2.2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 2 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 7.5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 3 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan maksimal 2 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 2 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 20 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* tiba-tiba menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 30 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

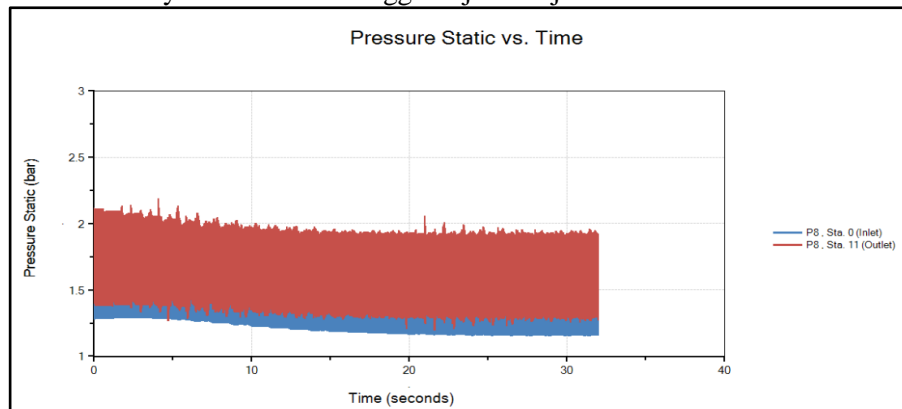
Pada Gambar 4.30 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 20 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.8 bar.

- **Desain 5, *pump 1* ON, *pump 2* trip dan *pump 3* OFF dengan *surge tank***



Gambar 4. 31 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

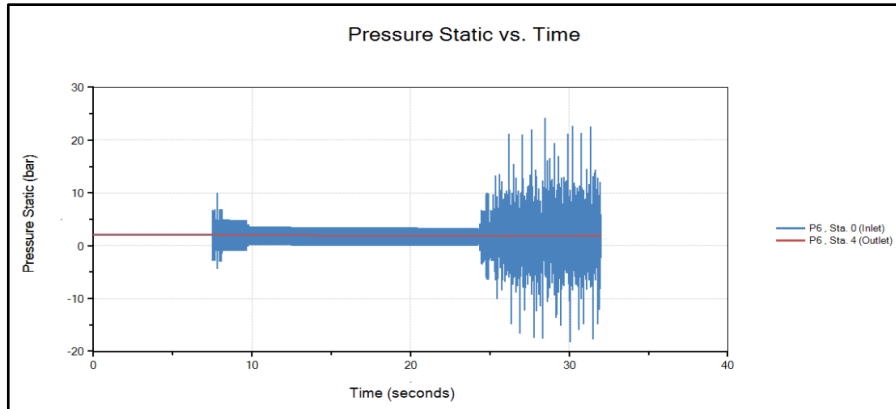
Pada Gambar 4.31 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 14 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 25 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* tiba-tiba menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 32 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

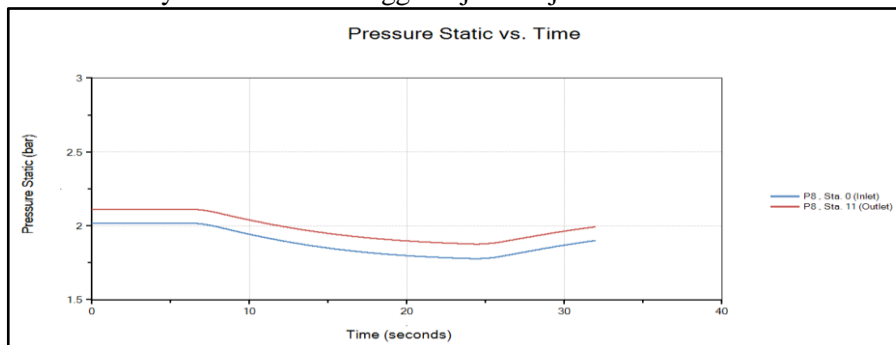
Pada Gambar 4.32 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgings device (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 25 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.9 bar.

- **Desain 6, *pump* 1 ON, *pump* 2 *trip* dan *pump* 3 OFF dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 33 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

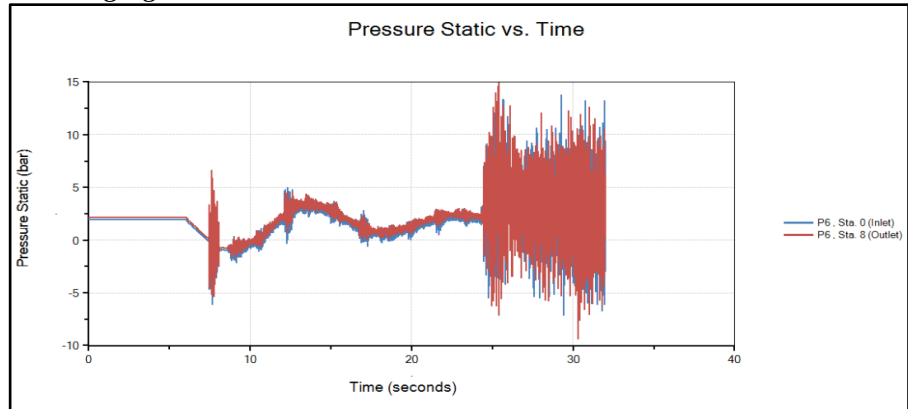
Pada Gambar 4.33 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 2 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2.1 bar pada *inlet* pipa dan 2.1 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 2 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 10 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 2 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 24 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* tiba-tiba menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 34 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.34 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surg*ing device (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 24 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.7 bar.

- **Desain 7, pump 1 ON, pump 2 trip dan pump 3 OFF tanpa menggunakan anti-*surg*ing device**

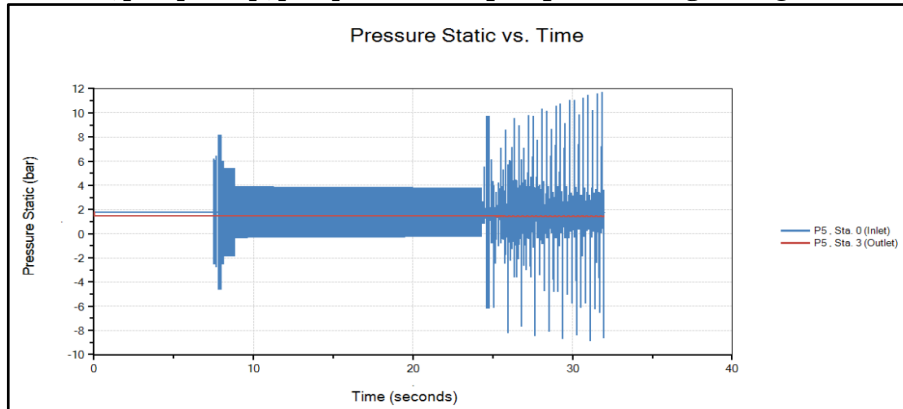


Gambar 4. 35 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet

Pada Gambar 4.35 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 2 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 4 bar pada *inlet* pipa dan 4.5 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 2 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 7.5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan maksimal 5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan maksimal 5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 2 secara mendadak kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 15 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* tiba-tiba menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan. Sehingga dari hal ini dapat disimpulkan, bahwa sistem yang tidak menggunakan anti-*surg*ing device akan menerima fluktuasi tekanan yang besar ketika *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak menyala kembali, dari pada sistem yang menggunakan anti-*surg*ing device.

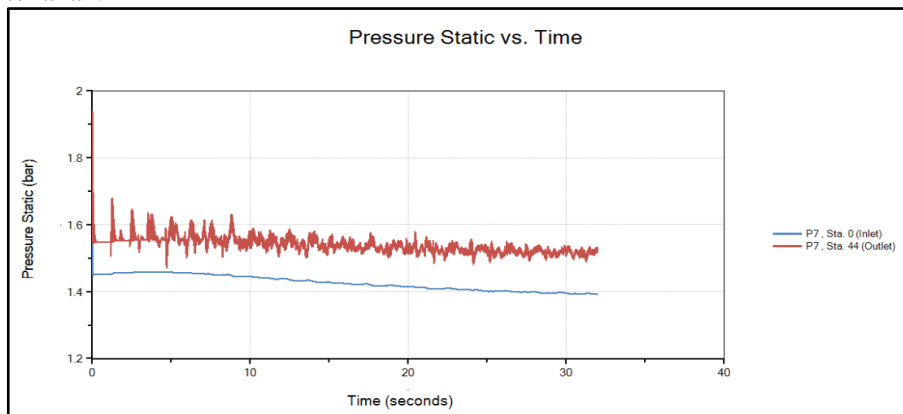
#### 4.5.3 Skenario 3, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 ON*

- **Desain 1, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 ON dengan surge tank***



Gambar 4. 36 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

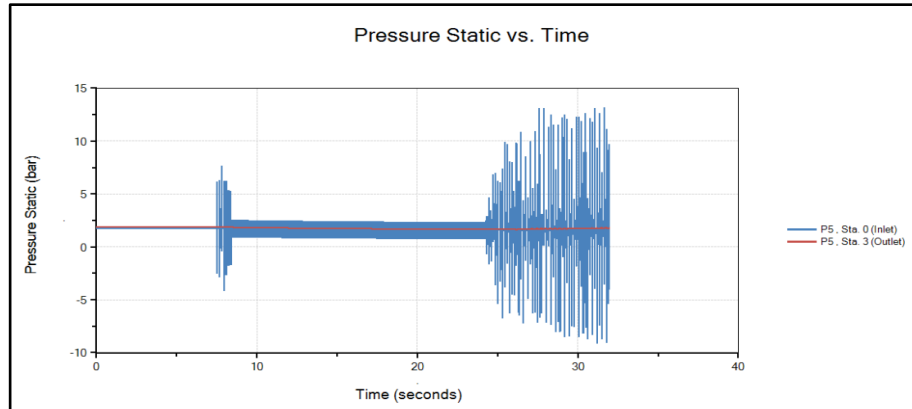
Pada Gambar 4.36 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 1* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 1.9 bar pada *inlet* pipa dan 1.7 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 1* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 8.1 bar pada detik ke 7 sampai 9 dan 3.9 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 1.7 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 1* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 11.9 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 37 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

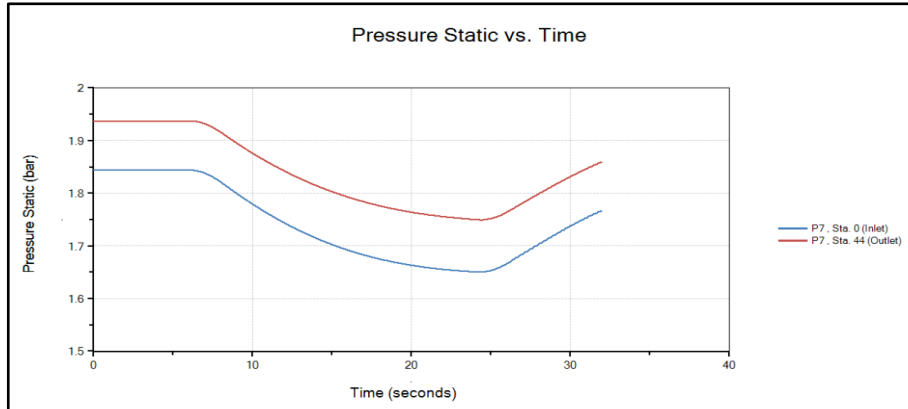
Pada Gambar 4.37 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surgin* *device* (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 11.9 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.4 bar.

- **Desain 2, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 ON dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 38 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

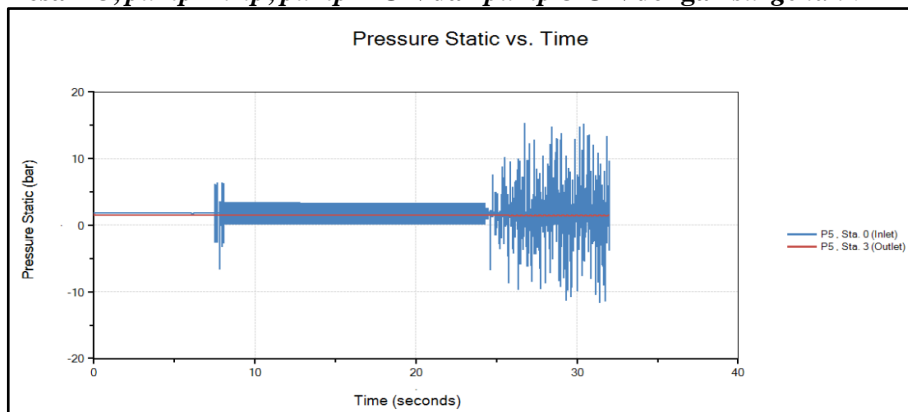
Pada Gambar 4.38 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 2.4 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 7.5 bar pada detik ke 7 sampai 8 dan 5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 13 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 39 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.39 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 13 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.76 bar.

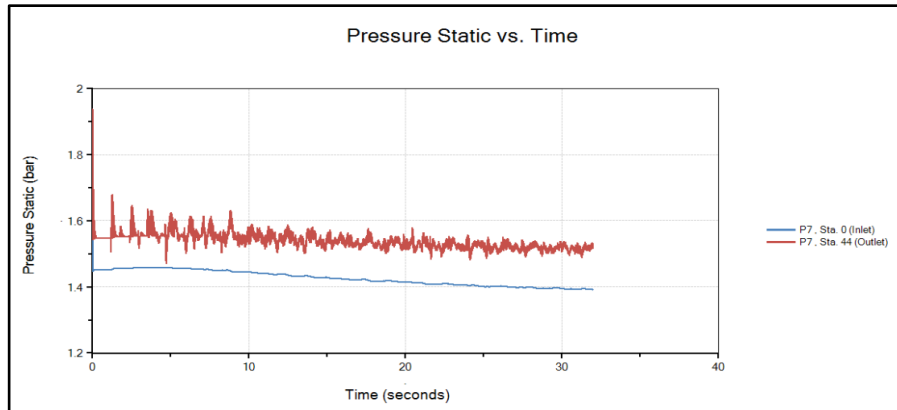
- **Desain 3, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 ON dengan *surge tank***



Gambar 4. 40 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.40 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2.1 bar pada *inlet* pipa dan 1.5 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 7 bar pada detik ke 7 sampai 8 dan 3.5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 1.5 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 15 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya

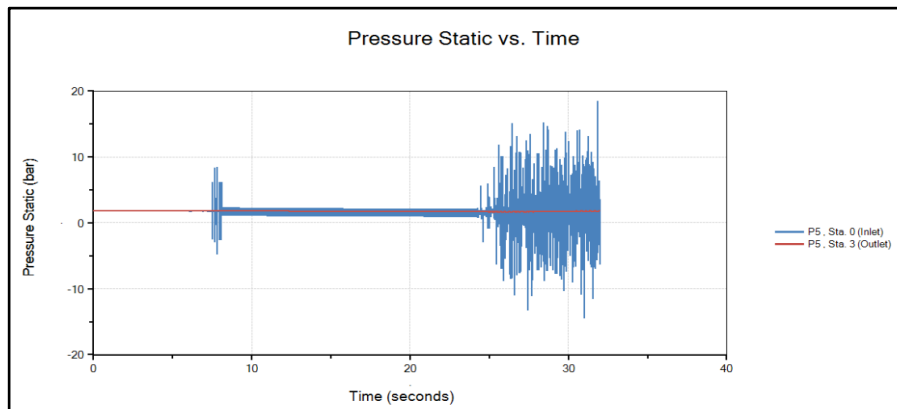
mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 41 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.41 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 15 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.4 bar.

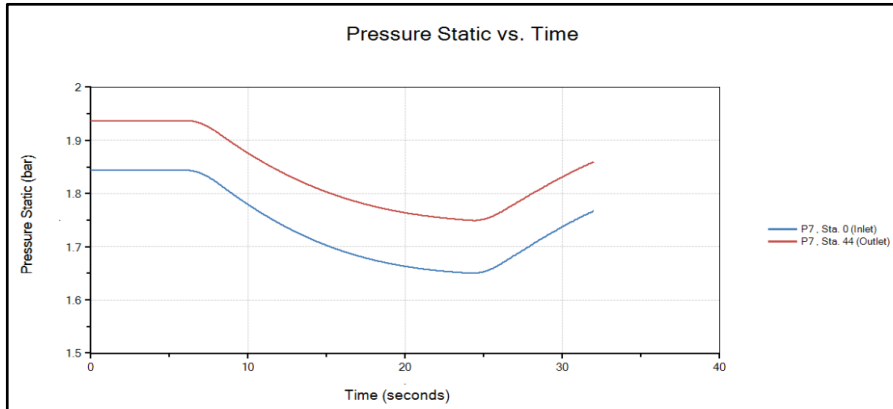
- **Desain 4, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 ON dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 42 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.42 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 8 bar pada detik ke 7 sampai 8 dan tekanan maksimum 2.5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet*

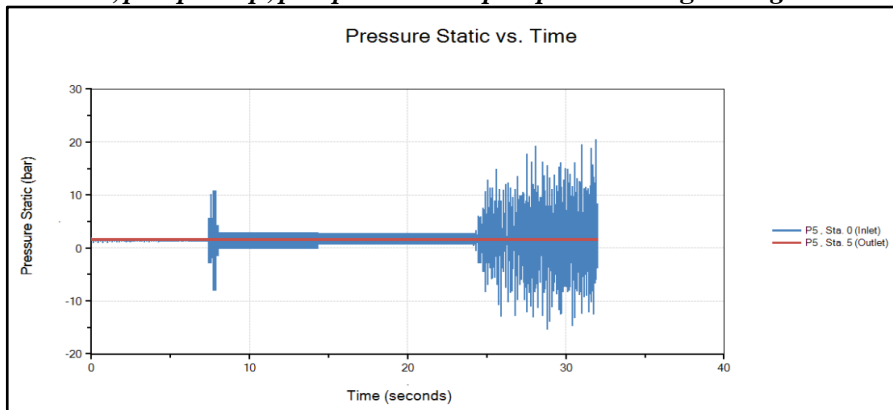
pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 18 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 43 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.43 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgings device (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 18 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.73 bar.

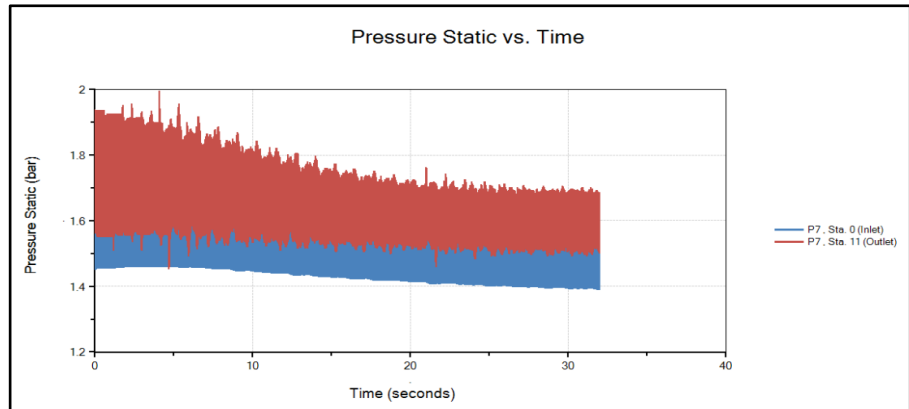
- **Desain 5, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 ON dengan surge tank**



Gambar 4. 44 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.44 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik

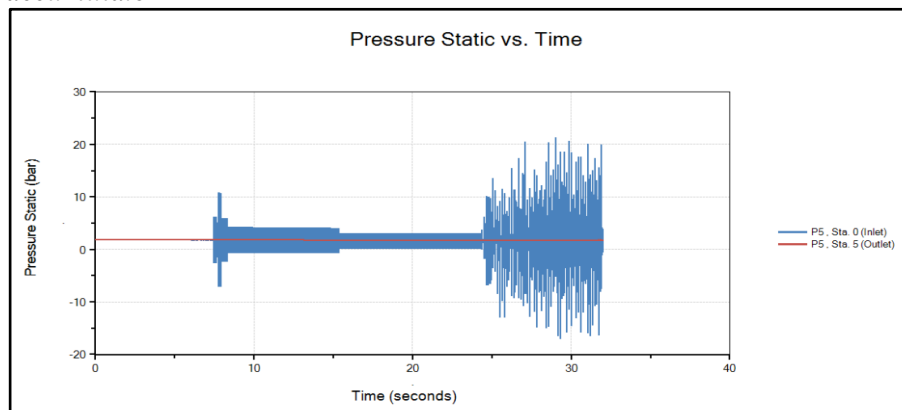
ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 11 bar pada detik ke 7 sampai 8 dan tekanan maksimum 3 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 21 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 45 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

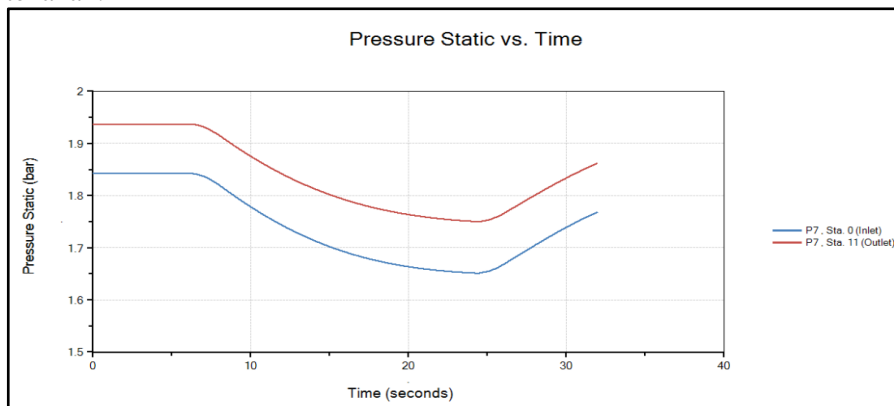
Pada Gambar 4.45 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgin device (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 21 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.68 bar.

- **Desain 6, *pump* 1 *trip*, *pump* 2 ON dan *pump* 3 ON dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 46 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 *inlet* dan *outlet*

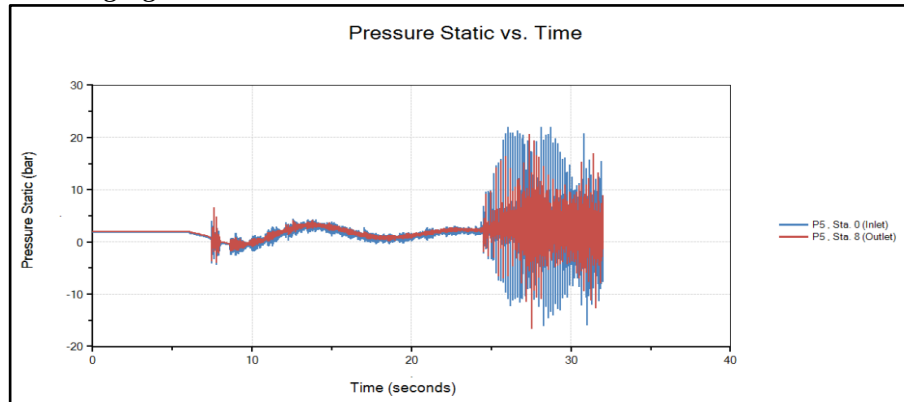
Pada Gambar 4.46 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 1 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 1 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 11 bar pada detik ke 7 sampai 8 dan tekanan maksimal 4 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan konstan 2 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 1 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 22 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 47 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P7 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.47 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgin device (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 22 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.73 bar.

- **Desain 7, *pump 1 trip, pump 2 ON dan pump 3 ON tanpa menggunakan anti-surgin device***

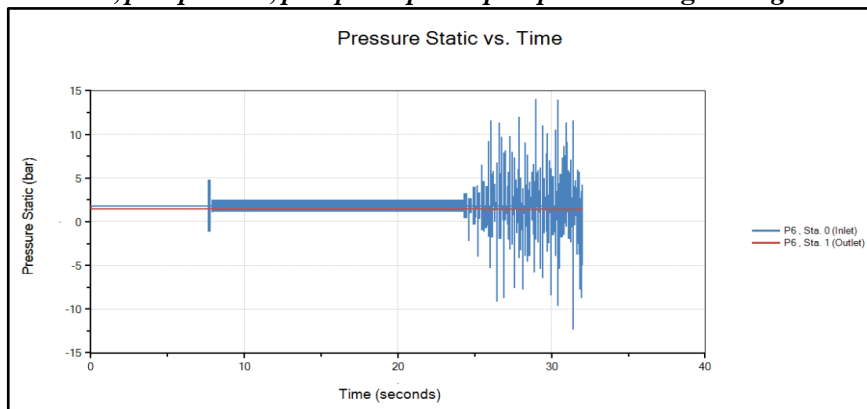


Gambar 4. 48 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P5 inlet dan outlet

Pada Gambar 4.48 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 1* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7, tekanan di sepanjang pipa P5 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 1* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P5 adalah 7 bar pada detik ke 7 sampai 8 dan tekanan maksimal 4 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu memiliki tekanan maksimal 4 bar pada detik 7 sampai detik ke 24 di *outlet* pipa. Namun ketika *pump 1* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P5 *inlet* pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 22 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip*, mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan. Sehingga dari hal ini dapat disimpulkan, bahwa sistem yang tidak menggunakan *anti-surgin device* akan menerima fluktuasi tekanan yang besar ketika *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak menyala kembali, dari pada sistem yang menggunakan *anti-surgin device*.

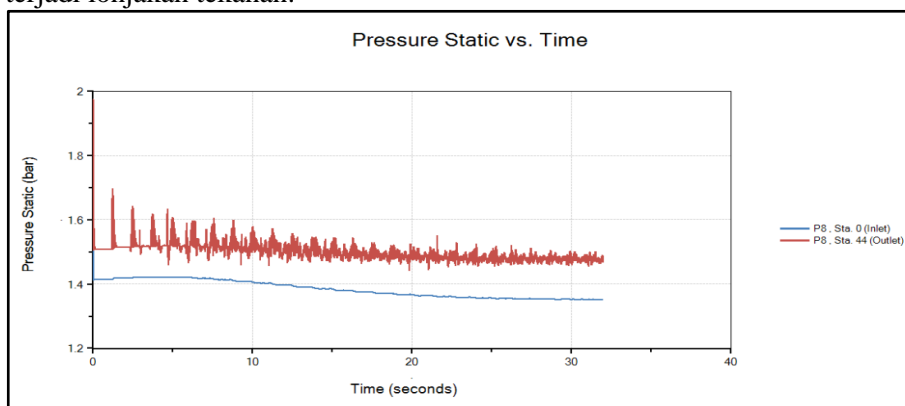
#### 4.5.4 Skenario 4, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 ON*

- **Desain 1, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 ON* dengan *surge tank***



Gambar 4. 49 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.49 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2.3 bar pada *inlet* pipa dan 2.1 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan tekanan maksimal 2.5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan konstan 2.1 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 14 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.

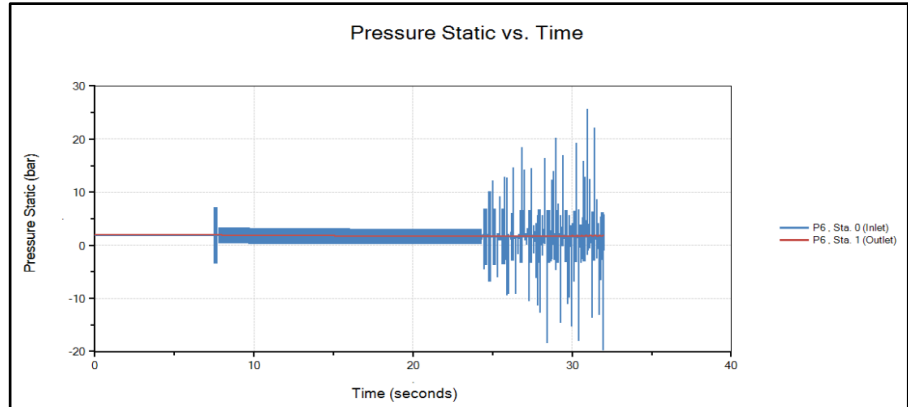


Gambar 4. 50 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.50 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki

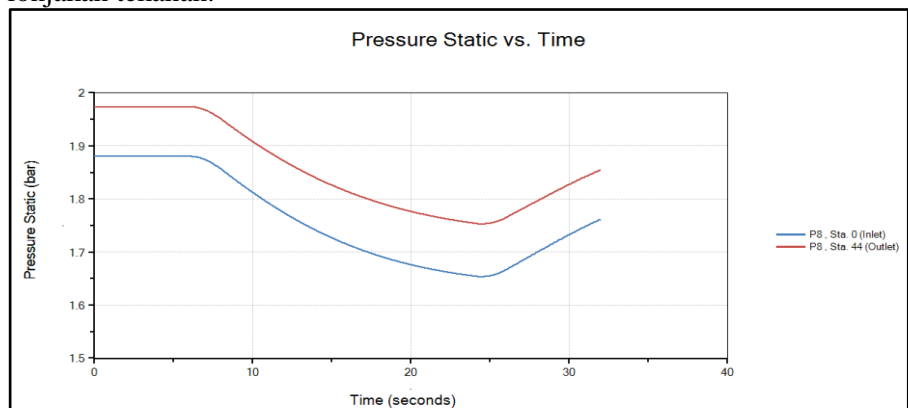
tekanan sebesar 14 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.35 bar.

- **Desain 2, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 ON* dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 51 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.51 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 7.5 bar di detik ke 7 sampai 8 dan tekanan maksimal 3 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan maksimum 3 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 26 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.

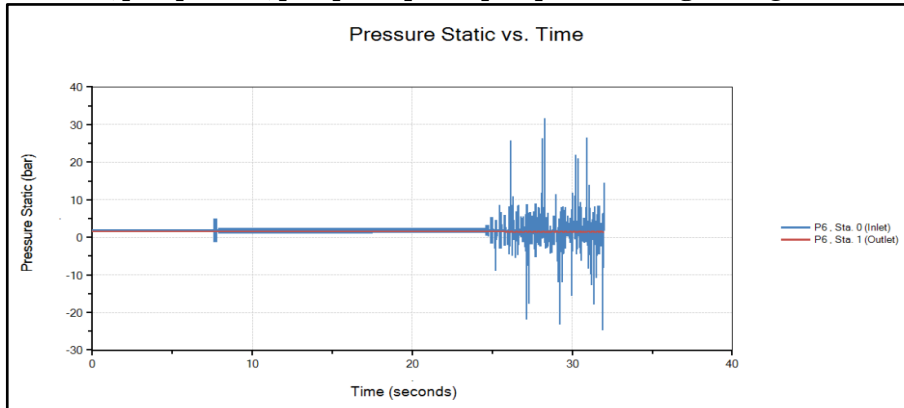


Gambar 4. 52 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.51 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara

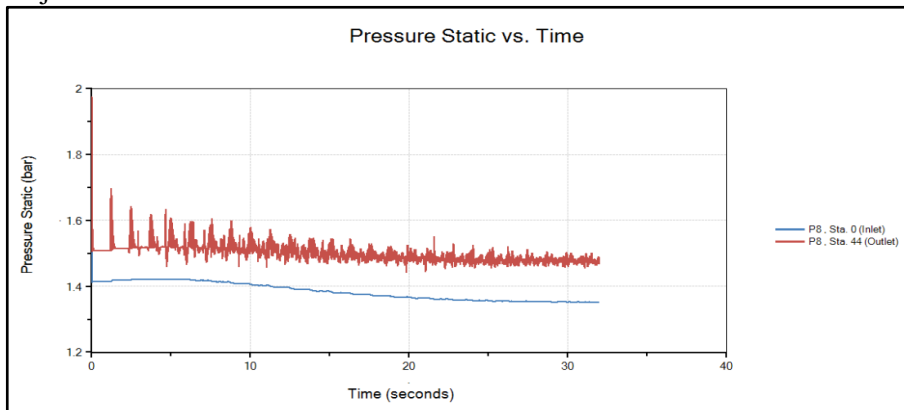
mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 26 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.75 bar.

- **Desain 3, *pump 1 ON, pump 2 trip* dan *pump 3 ON* dengan *surge tank***



Gambar 4. 53 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet

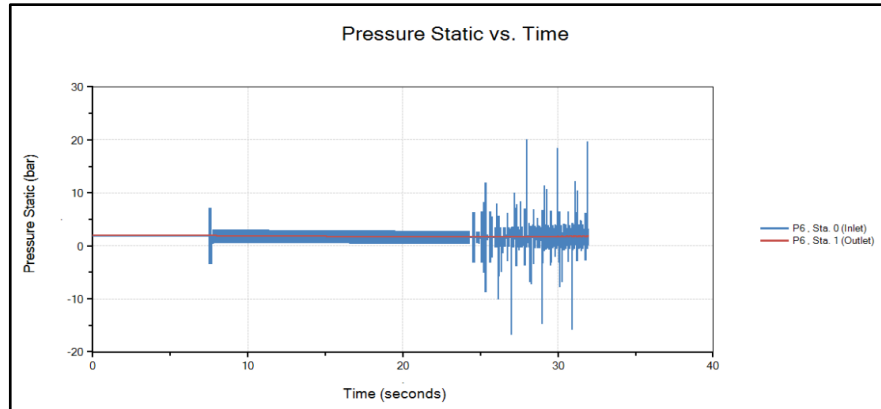
Pada Gambar 4.52 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 1.8 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 5 bar di detik ke 7 sampai 7.5 dan 3 bar pada detik ke 7.5 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan maksimum 2 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 32 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 54 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 inlet dan outlet

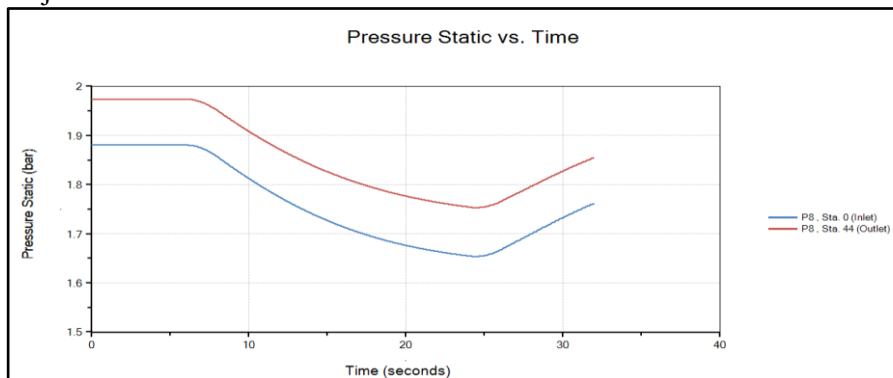
Pada Gambar 4.54 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgings device (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 32 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.38 bar.

- **Desain 4, *pump 1* ON, *pump 2* *trip* dan *pump 3* ON dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 55 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

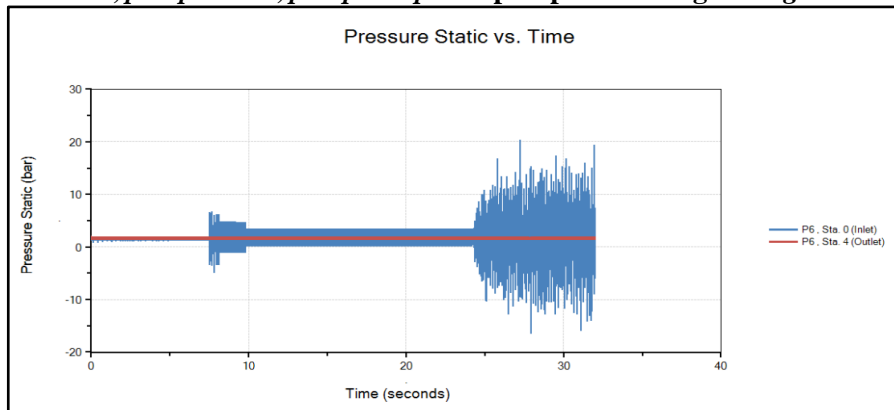
Pada Gambar 4.55 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P6 adalah 7.5 bar di detik ke 7 sampai 7.5 dan 3 bar pada detik ke 7.5 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan maksimum 2 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 20 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 56 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

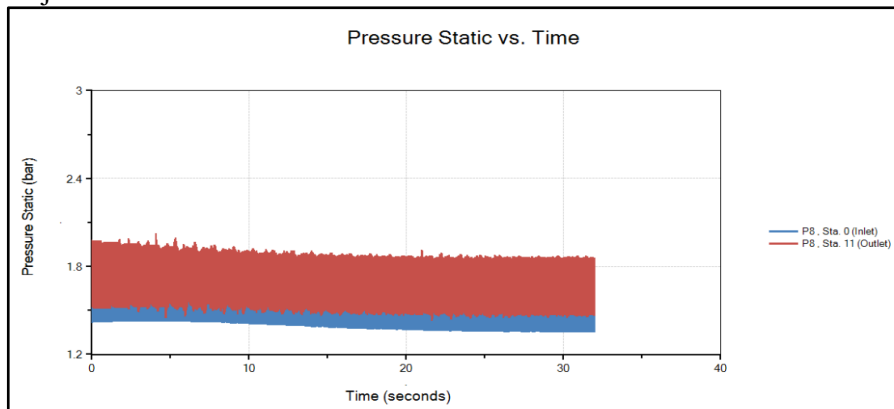
Pada Gambar 4.56 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 20 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.69 bar.

- **Desain 5, *pump* 1 ON , *pump* 2 *trip* dan *pump* 3 ON dengan *surge tank***



Gambar 4. 57 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

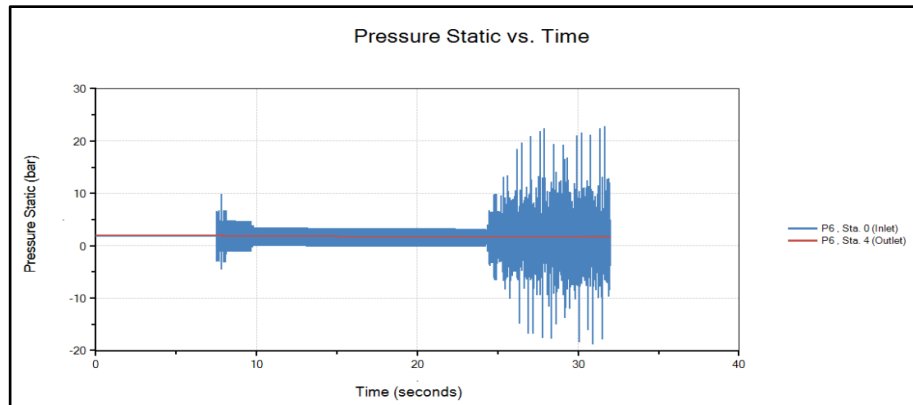
Pada Gambar 4.57 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 2 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 2 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P6 adalah 7 bar di detik ke 7 sampai 9 dan 4 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan maksimum 2 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 2 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 21 bar. Hal ini karena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 58 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P8 *inlet* dan *outlet*

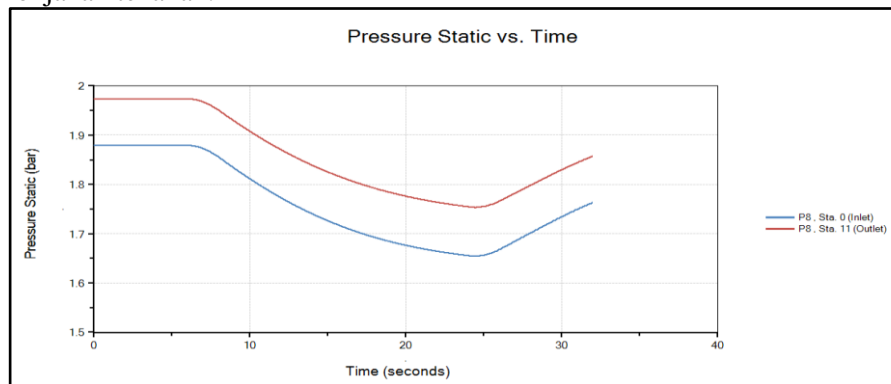
Pada Gambar 4.58 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-*surging device* (*surge tank*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *surge tank*, memiliki tekanan sebesar 21 bar dan ketika sudah keluar dari *surge tank* memiliki tekanan 1.9 bar.

- **Desain 6, *pump* 1 ON , *pump* 2 *trip* dan *pump* 3 ON dengan *gas accumulator***



Gambar 4. 59 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

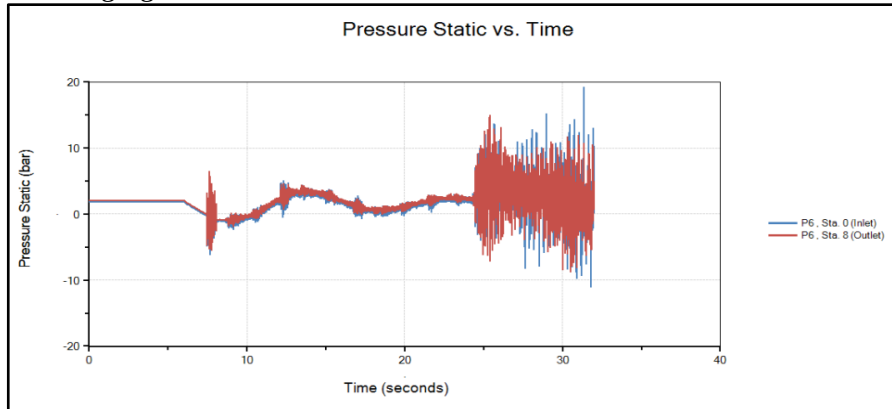
Pada Gambar 4.59 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump* 2 dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump* 2 secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P6 adalah 10 bar di detik ke 7 sampai 9 dan 4 bar pada detik ke 9 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan maksimum 2 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump* 2 kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 23 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan.



Gambar 4. 60 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 *inlet* dan *outlet*

Pada Gambar 4.60 di atas dapat dianalisa bahwa ketika fluida yang mengalami lonjakan tekanan akibat *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak kembali ON, akan dapat direduksi oleh anti-surgings device (*gas accumulator*). Dimana ketika fluida belum masuk ke dalam *gas accumulator*, memiliki tekanan sebesar 23 bar dan ketika sudah keluar dari *gas accumulator* memiliki tekanan 1.75 bar.

- **Desain 7, *pump 1 ON*, *pump 2 trip* dan *pump 3 ON* tanpa menggunakan anti-surgings device**



Gambar 4. 61 Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa P6 inlet dan outlet

Pada Gambar 4.61 di atas dapat dianalisa bahwa ketika *pump 2* dalam keadaan stabil, yaitu pada detik ke 0 sampai detik ke 7. Tekanan di sepanjang pipa P6 adalah 2 bar pada *inlet* pipa dan 2 bar pada *outlet* pipa. Dan pada saat *pump 2* secara mendadak mengalami *trip*, yaitu pada detik ke 7 sampai detik ke 24. Tekanan maksimal di sepanjang pipa P6 adalah 7 bar di detik ke 7 sampai 8 dan 5 bar pada detik ke 8 sampai 24 di *inlet* pipa. Lalu tekanan maksimum 5 bar pada *outlet* pipa. Namun ketika *pump 2* kembali ON untuk menjalankan fungsinya, tekanan di sepanjang pipa P6 pada detik 24 sampai detik 32 mengalami lonjakan mencapai 19 bar. Hal ini dikarena *pump* yang sebelumnya mengalami *trip* mendadak menyala kembali sehingga terjadi lonjakan tekanan. Sehingga dari hal ini dapat disimpulkan, bahwa sistem yang tidak menggunakan anti-surgings device akan menerima fluktuasi tekanan yang besar ketika *pump* mengalami *trip* dan secara mendadak menyala kembali, dari pada sistem yang menggunakan anti-surgings device.

#### **4.6 Perbandingan Efektivitas Anti-Surging Device (*Surge Tank dan Gas Accumulator*)**

Setiap *anti-surging device* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam mengurangi fluktuasi tekanan. Oleh sebab itu, diperlukan dilakukan perbandingan agar dapat mengetahui efektivitas dari *anti-surging device* yang menjadi objek penelitian khususnya *surge tank* dan *gas accumulator*. Sehingga nantinya akan didapatkan *anti-surging device* yang memiliki efektivitas paling baik dan bisa diterapkan pada desain yang akan direkomendasikan. Pada Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan efektivitas dari *anti-surging device*.

**Tabel 4. 2** Perbandingan Efektivitas Anti-Surging Device (*Surge Tank, Gas Accumulator dan tanpa Anti-Surging Device*)

NO.	SKENARIO	NAMA PIPA	JENIS ANTI-SURGING DEVICE	TEKANAN OUTLET ANTI-SURGING (saat terjadi fluktuasi tekanan)	PERBANDINGAN EFEKTIVITAS
1	1A	P7	Surge Tank	1.3 Bar	Surge Tank
2	1B	P7	Gas Accumulator	1.8 Bar	
3	1C	P7	Surge Tank	1.4 Bar	Surge Tank
4	1D	P7	Gas Accumulator	1.8 Bar	
5	1E	P7	Surge Tank	1.7 Bar	Surge Tank
6	1F	P7	Gas Accumulator	1.75 Bar	
7	1G	P5	Tanpa Anti-Surging Device	22.5 Bar	Tanpa Anti-Surging Device
8	2A	P8	Surge Tank	1.2 Bar	Surge Tank
9	2B	P8	Gas Accumulator	1.8 Bar	
10	2C	P8	Surge Tank	1.2 Bar	Surge Tank
11	2D	P8	Gas Accumulator	1.8 Bar	
12	2E	P8	Surge Tank	1.9 Bar	Gas Accumulator
13	2F	P8	Gas Accumulator	1.7 Bar	
14	2G	P6	Tanpa Anti-Surging Device	15 Bar	Tanpa Anti-Surging Device
15	3A	P7	Surge Tank	1.4 Bar	Surge Tank
16	3B	P7	Gas Accumulator	1.76 Bar	
17	3C	P7	Surge Tank	1.4 Bar	Surge Tank
18	3D	P7	Gas Accumulator	1.73 Bar	

19	3E	P7	Surge Tank	1.68 Bar	Surge Tank
20	3F	P7	Gas Accumulator	1.73 Bar	
21	3G	P5	Tanpa Anti-Surging Device	22 Bar	Tanpa Anti-Surging Device
22	4A	P8	Surge Tank	1.35 Bar	Surge Tank
23	4B	P8	Gas Accumulator	1.75 Bar	
24	4C	P8	Surge Tank	1.38 Bar	Surge Tank
25	4D	P8	Gas Accumulator	1.69 Bar	
26	4E	P8	Surge Tank	1.9 Bar	Gas Accumulator
27	4F	P8	Gas Accumulator	1.75 Bar	
28	4G	P6	Tanpa Anti-Surging Device	19 Bar	Tanpa Anti-Surging Device

Sumber: Hasil Analisa, 2019

**Keterangan:**

- (1A) Desain 1 dan Skenario 1
- (1B) Desain 2 dan Skenario 1
- (1C) Desain 3 dan Skenario 1
- (1D) Desain 4 dan Skenario 1
- (1E) Desain 5 dan Skenario 1
- (1F) Desain 6 dan Skenario 1
- (1G) Desain 7 dan Skenario 1
- (2A) Desain 1 dan Skenario 2
- (2B) Desain 2 dan Skenario 2
- (2C) Desain 3 dan Skenario 2
- (2D) Desain 4 dan Skenario 2
- (2E) Desain 5 dan Skenario 2

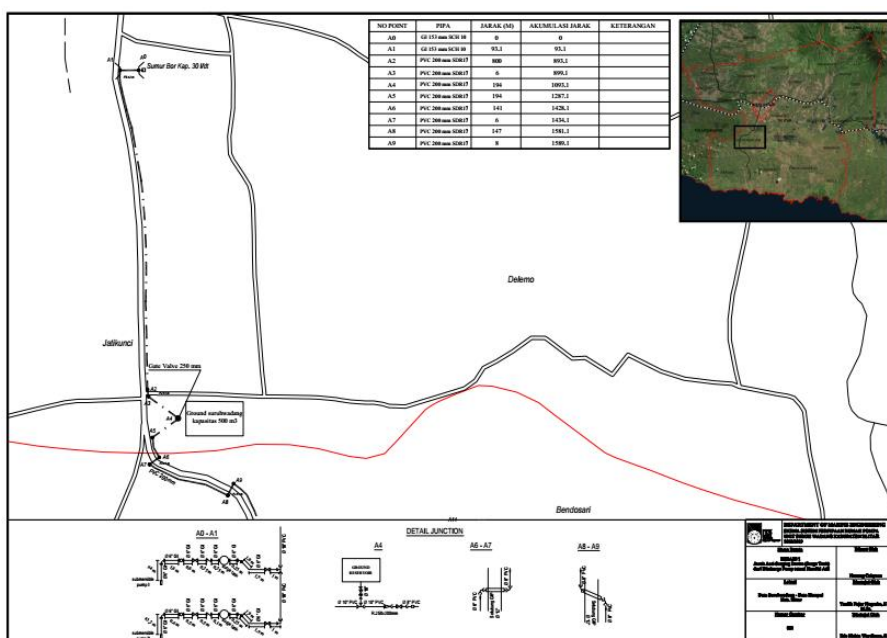
- (2F) Desain 6 dan Skenario 2
- (2G) Desain 7 dan Skenario 2
- (3A) Desain 1 dan Skenario 3
- (3B) Desain 2 dan Skenario 3
- (3C) Desain 3 dan Skenario 3
- (3D) Desain 4 dan Skenario 3
- (3E) Desain 5 dan Skenario 3
- (3F) Desain 6 dan Skenario 3
- (3G) Desain 7 dan Skenario 3
- (4A) Desain 1 dan Skenario 4
- (4B) Desain 2 dan Skenario 4
- (4C) Desain 3 dan Skenario 4
- (4D) Desain 4 dan Skenario 4
- (4E) Desain 5 dan Skenario 4
- (4F) Desain 6 dan Skenario 4
- (4G) Desain 7 dan Skenario 4

Berdasarkan hasil analisa grafik yang telah disimpulkan ke dalam Tabel 4.2, menunjukkan bahwa pada skenario percobaan pertama, desain 1 memiliki efektivitas yang lebih baik dari pada desain yang lain. Pada skenario percobaan kedua, desain 1 dan desain 3 memiliki efektivitas yang lebih baik dari pada desain yang lain. Pada skenario percobaan ketiga, desain 1 dan desain 3 memiliki efektivitas yang lebih baik dari pada desain yang lain. Dan pada skenario percobaan keempat, desain 1 dan desain 3 memiliki efektivitas yang lebih baik dari pada desain yang lain. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari segi *technical* desain 1 dan desain 3 yang paling efektif untuk menurunkan fluktuasi tekanan akibat *water hammer*.

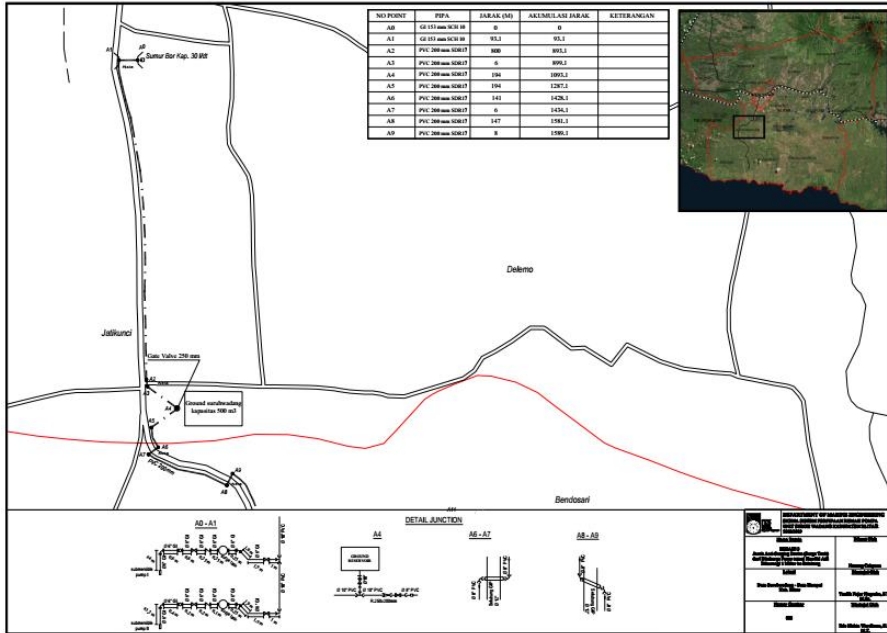
#### 4.7 Rekomendasi Desain

Berdasarkan hasil analisa *software* maka akan didapatkan berbagai macam grafik yang menunjukkan berbagai tekanan yang terjadi di titik pipa yang dianalisa. Dari berbagai hasil analisa yang ada, maka akan didapatkan desain yang memiliki kemampuan paling baik untuk mengurangi fluktuasi tekanan akibat *water hammer*. Dari berbagai macam model percobaan yang dilakukan dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Anti-*surging device* jenis *surge tank* merupakan anti-*surging device* yang paling efektif untuk mengurangi fluktuasi tekanan akibat *water hammer*. Disamping itu anti-*surging device* jenis *gas accumulator*, masih *reliable* untuk digunakan, karena memiliki perbedaan efektivitas yang sangat kecil dari *surge tank*.

Berikut contoh gambar P&ID (*Process Instrument & Diagram*) dari desain yang dijadikan rekomendasi dan untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6.

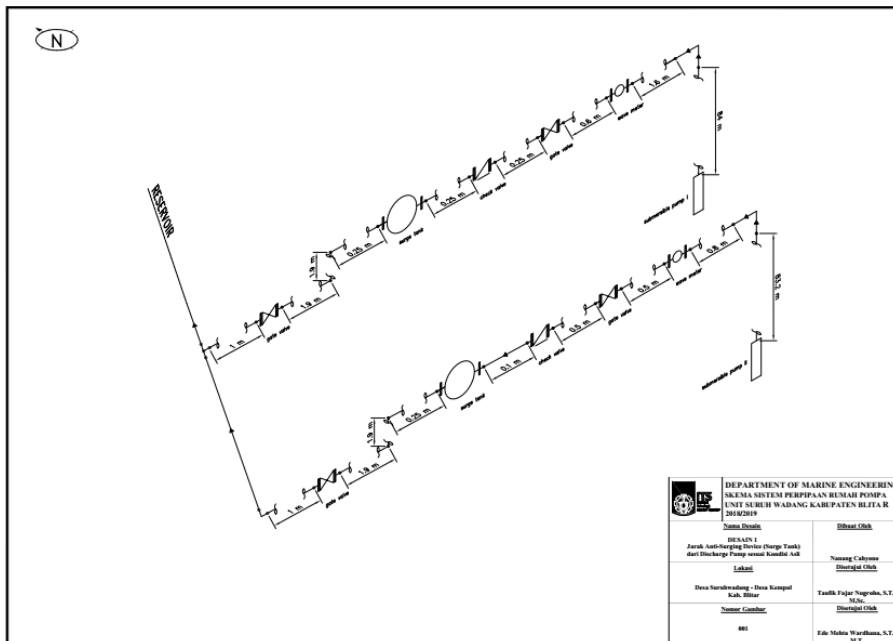


Gambar 4. 62 Desain 1 (Jarak anti-*surging device* (*surge tank*) dari *discharge pump* menggunakan jarak sebenarnya)

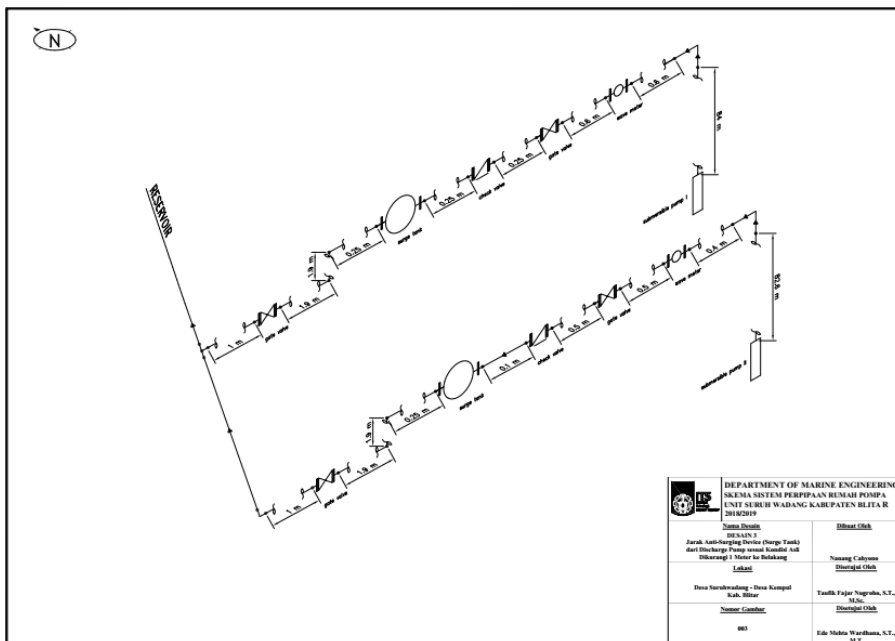


Gambar 4. 63 Desain 3 (Jarak anti-surgung device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya dikurangi 1 meter ke belakang)

Berikut contoh gambar isometric dari desain yang dijadikan rekomendasi dan untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 6.



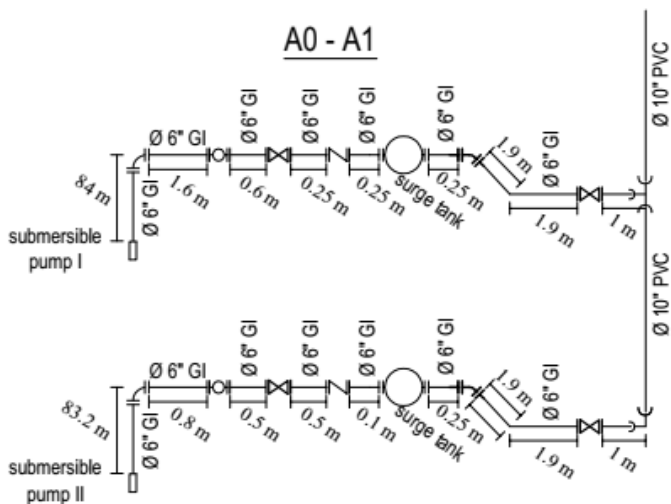
Gambar 4. 64 Desain 1 (Jarak anti-surgung device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya)



Gambar 4. 65 Desain 3 (Jarak anti-surgung device (surge tank) dari discharge pump menggunakan jarak sebenarnya dikurangi 1 meter ke belakang)

**4.8 Analisa Ekonomi**

Analisa ekonomi yang digunakan dalam studi kasus ini merupakan sebuah perbandingan nilai ekonomis dari desain yang dibuat (SATKER Pengembangan Air Minum Dan Sanitasi Provinsi Jawa Timur, 2013). Sehingga akan didapatkan desain yang paling ekonomis dan memiliki efektivitas mengurangi fluktuasi tekanan yang baik. Lalu analisa ekonomi pada studi kasus ini, hanya dilakukan pada titik atau bagian desain yang diubah (titik A0 – A1 pada gambar P&ID sistem).



Gambar 4. 66 Contoh Titik A0-A1 pada P&ID Sistem

Dari 7 desain yang dianalisa pada studi kasus ini, hanya 6 desain yang akan dihitung nilai ekonomisnya. Hal ini dikarenakan pada desain 1 merupakan desain yang dibuat dari kondisi asli saat ini (*existing*), sehingga tidak ada komponen maupun peralatan penunjang sistem yang diganti untuk mengurangi fluktuasi tekanan.

#### 4.8.1 Analisa Ekonomi Desain 1

Seperti yang telah dijelaskan di atas, pada desain 1 tidak dilakukan perhitungan total biaya, dikarenakan kondisi desain sesuai dengan kondisi asli saat ini (*existing*). Sehingga tidak ada komponen maupun peralatan penunjang sistem yang diganti atau diperbarui.

#### 4.8.2 Analisa Ekonomi Desain 2

Pada desain 2 komponen maupun peralatan yang diganti hanya dilakukan pada anti-*surgin device* (dari *surge tank* ke *gas accumulator*). Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan hanya pada biaya pergantian anti-*surgin device*.

**Tabel 4. 3** Analisa Ekonomi Desain 2

No.	Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1.	Gas Accumulator	bh	1	49,000,000	49,000,000
2.	Biaya Pekerja	org/hr	3	150,000	450,000
3.	Biaya Cat Pipa	m <sup>2</sup>	1	26,000	26,000
<b>Total</b>					<b>49,476,000</b>

#### 4.8.3 Analisa Ekonomi Desain 3

Pada desain 3 komponen maupun peralatan yang diganti yaitu pada panjang pipa (dikurangi 1 meter ke belakang) dengan menggunakan anti-*surgin device* yang sama dengan kondisi asli yaitu *surge tank*. Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan hanya pada biaya pergantian pipa GI diameter 6 inchi.

**Tabel 4. 4** Analisa Ekonomi Desain 3

No.	Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1.	Pipa GI diameter 6 inch	bh	2	411,670	823,340
2.	Biaya Pekerja	org/hr	3	Rp 150,000	450,000
3.	Biaya Cat Pipa	m <sup>2</sup>	2	26,000	52,000
<b>Total</b>					<b>1,325,340</b>

#### 4.8.4 Analisa Ekonomi Desain 4

Pada desain 4 komponen maupun peralatan yang diganti yaitu pada panjang pipa (dikurangi 1 meter ke belakang) dengan menggunakan anti-*surging device* yang berbeda dengan kondisi asli yaitu *gas accumulator*. Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan yaitu pada biaya pergantian anti-*surging device* dan biaya pergantian pipa GI diameter 6 inci.

**Tabel 4. 5** Analisa Ekonomi Desain 4

No.	Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1.	<i>Gas Accumulator</i>	bh	1	49,000,000	49,000,000
2.	Pipa GI diameter 6 inch	bh	2	411,670	823,340
3.	Biaya Pekerja	org/hr	3	150,000	450,000
4.	Biaya Cat Pipa	m <sup>2</sup>	2	26,000	52,000
<b>Total</b>					<b>50,325,340</b>

#### 4.8.5 Analisa Ekonomi Desain 5

Pada desain 5 komponen maupun peralatan yang diganti yaitu pada panjang pipa (ditambah 1 meter ke depan) dengan menggunakan anti-*surging device* yang sama dengan kondisi asli yaitu *surge tank*. Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan hanya pada biaya pergantian pipa GI diameter 6 inci.

**Tabel 4. 6** Analisa Ekonomi Desain 5

No.	Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1.	Pipa GI diameter 6 inch	bh	2	411,670	823,340
2.	Biaya Pekerja	org/hr	3	150,000	450,000
3.	Biaya Cat Pipa	m <sup>2</sup>	2	26,000	52,000
4.	Biaya Pengalihan Pipa diameter 6 inch <i>Underground</i>	m <sup>3</sup>	1	37,200	37,200
5.	Biaya Pengurukan Pipa diameter 6 inch <i>Underground</i>	m <sup>3</sup>	1	130,000	130,000
<b>Total</b>					<b>1,492,540</b>

#### 4.8.6 Analisa Ekonomi Desain 6

Pada desain 6 komponen maupun peralatan yang diganti yaitu pada panjang pipa (ditambah 1 meter ke depan) dengan menggunakan anti-surgung device yang berbeda dengan kondisi asli yaitu *gas accumulator*. Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan yaitu pada biaya pergantian anti-*surgung device* dan biaya pergantian pipa GI diameter 6 inci.

**Tabel 4. 7** Analisa Ekonomi Desain 6

No.	Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1.	<i>Gas Accumulator</i>	bh	1	49,000,000	49,000,000
2.	Pipa GI diameter 6 inch	bh	2	411,670	823,340
3.	Biaya Pekerja	org/hr	3	150,000	450,000
4.	Biaya Cat Pipa	m <sup>2</sup>	2	26,000	52,000
5.	Biaya Pengalihan Pipa diameter 6 inch <i>Underground</i>	m <sup>3</sup>	1	37,200	37,200
6	Biaya Pengurukan Pipa diameter 6 inch <i>Underground</i>	m <sup>3</sup>	1	130,000	130,000
<b>Total</b>					<b>50,492,540</b>

#### 4.8.7 Analisa Ekonomi Desain 7

Pada desain 7 tidak ada komponen maupun peralatan yang diganti, tetapi menghilangkan anti-*surgung device* yang sudah ada (*surge tank*). Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan hanya pada biaya pelepasan anti-*surgung device*.

**Tabel 4. 8** Analisa Ekonomi Desain 7

No.	Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1.	Biaya Pekerja	org/hr	3	150,000	450,000
2.	Biaya Cat Pipa	m <sup>2</sup>	2	26,000	52,000
<b>Total</b>					<b>520,000</b>

#### 4.9 Perbandingan dari Hasil Analisa Ekonomi

Dari berbagai macam desain yang direkomendasikan memiliki keuntungan tersendiri dari segi ekonomi. Sehingga ketika suatu desain direkomendasikan ada variable pertimbangan yang menjadikan desain layak untuk diterapkan. Begitu juga dengan desain yang dibuat pada studi kasus ini memiliki kelebihan tersendiri dari segi ekonomi, hal ini dapat terjadi karena perbedaan penggunaan alat atau komponen dari setiap desain. Berikut Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan hasil analisa ekonomi.

**Tabel 4. 9** Perbandingan Hasil Analisa Ekonomi

No.	Nama Desain	Total Harga
1	Desain 1	Rp 0
2	Desain 2	Rp 49,476,000
3	Desain 3	Rp 1,325,340
4	Desain 4	Rp 50,325,340
5	Desain 5	Rp 1,492,540
6	Desain 6	Rp 50,492,540
7	Desain 7	Rp 520,000

Dari tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa desain yang memiliki nilai ekonomi paling kecil adalah desain 1, hal ini dikarenakan kondisi desain sesuai dengan kondisi asli saat ini (*existing*). Sehingga tidak ada komponen maupun peralatan penunjang sistem yang diganti atau diperbarui. Lalu untuk desain dengan nilai ekonomi paling tinggi adalah desain 6, hal ini dikarenakan pada desain ini banyak komponen maupun peralatan yang diganti yaitu Panjang pipa (ditambah 1 meter ke depan) dengan menggunakan *anti-surgin device* yang berbeda dengan kondisi asli yaitu *gas accumulator*. Sehingga perbandingan biaya yang dilakukan yaitu pada biaya pergantian *anti-surgin device* dan biaya pergantian pipa GI diameter 6 inch.

#### 4.10 Kesimpulan dari Hasil Analisa *Software* (Efektivitas) dan Analisa Ekonomi

Dari beberapa kegiatan percobaan yang telah dilakukan, baik untuk mencari nilai efektivitas dari anti-*surgin device* dan mencari nilai ekonomi dari setiap desain. Maka didapatkan tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Kesimpulan Hasil Analisa *Software* (Efektivitas) dan Analisa Ekonomi

No.	Nama Desain	Anti- <i>Surgin Device</i>	Total Harga	Keterangan
1.	Desain 1	Surge Tank	Rp. 0	Pada desain ini: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.3</b> bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.2</b> bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.4</b> bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.35</b> bar.</li> </ul>
2.	Desain 2	Gas Accumulator	Rp 49,476,000	Pada desain ini: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.8</b> bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.8</b> bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.76</b> bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.75</b> bar.</li> </ul>
3.	Desain 3	Surge Tank	Rp 1,325,340	Pada desain ini: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.4</b> bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.2</b> bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.4</b> bar.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.38</b> bar.</li> </ul>
4.	Desain 4	Gas Accumulator	Rp 50,325,340	<p>Pada desain ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.8</b> bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.8</b> bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.73</b> bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.69</b> bar.</li> </ul>
5.	Desain 5	Surge Tank	Rp 1,492,540	<p>Pada desain ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.7</b> bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.9</b> bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.68</b> bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.9</b> bar.</li> </ul>
6.	Desain 6	Gas Accumulator	Rp 50,492,540	<p>Pada desain ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.75</b> bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.7</b> bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.73</b> bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai <b>1.75</b> bar.</li> </ul>

7.	Desain 7	Tanpa Anti-Surgin Device	Rp 520,000	<p>Pada desain ini</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai 22.5 bar</li><li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai 15 bar</li><li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai 22 bar</li><li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai 19 bar</li></ul>
----	----------	--------------------------	------------	--

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Analisa yang dilakukan untuk mengetahui serta mengevaluasi pengaruh penggunaan anti-*surgling device* antara *surge tank*, *gas accumulator* dan tanpa anti-*surgling device*, yang digunakan untuk mengurangi fluktuasi tekanan dari *water hammer* yang terjadi akibat kegagalan operasi pompa (*pump* mengalami *trip*). Selain itu, jarak anti-*surgling device* dari *discharge pump* juga akan dianalisa dengan membuat 3 variasi jarak. Kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Fluktuasi tekanan dari *water hammer* yang terjadi akibat kegagalan operasi pompa, dapat diatasi dengan menambahkan anti-*surgling device* pada sistem perpipaan. Hal ini dikarenakan anti-*surgling device* dapat menurunkan fluktuasi tekanan yang terjadi. Sehingga dapat mengurangi resiko terjadi kecelakaan yang menyebabkan pipa bocor atau pipa pecah. Hal ini sudah dibuktikan dengan percobaan yang ada pada desain 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7, dimana pada desain 7 yang tidak dilengkapi dengan anti-*surgling device* akan menerima fluktuasi tekanan yang besar dari pada desain lain yang menggunakan anti-*surgling device*.
2. Hasil analisa yang dilakukan dengan menggunakan *software* numerik untuk *layout* sistem instalasi di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar menunjukkan bahwa, anti-*surgling device surge tank* memiliki efektivitas yang lebih baik dari pada *gas accumulator*. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan hasil tekanan akhir setelah fluida melewati anti-*surgling device*, untuk *surge tank* memiliki tekanan  $\pm 1.2$  bar dan *gas accumulator* memiliki tekanan  $\pm 1.7$  bar. Sehingga bisa dikatakan bahwa kondisi existing yang ada saat ini sudah memiliki efektivitas yang baik.
3. Rekomendasi desain berdasarkan hasil analisa *software* didapatkan desain yang memiliki kemampuan paling baik untuk mengurangi fluktuasi tekanan akibat *water hammer* yaitu desain 1 dan desain 3. Hal ini didapatkan, sesuai dengan grafik hasil analisa *software* (segi *technical*) desain 1 dan desain 3 yang paling efektif untuk menurunkan fluktuasi tekanan akibat *water hammer*.

No.	Nama Desain	Anti-Surgling Device	Total Harga	Keterangan
1.	Desain 1	<i>Surge Tank</i>	Rp. 0	Pada desain ini: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.3 bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.2 bar.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.4 bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.35 bar.</li> </ul>
2.	Desain 3	<i>Surge Tank</i>	Rp 1,325,340	<p>Pada desain ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Di skenario 1 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.4 bar.</li> <li>• Di skenario 2 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.2 bar.</li> <li>• Di skenario 3 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.4 bar.</li> <li>• Di skenario 4 dapat menurunkan tekanan mencapai 1.52 bar.</li> </ul>

## 5.2 Saran

Dari hasil analisa numerik mengenai evaluasi sistem proteksi *water hammer* pada instalasi sistem perpipaan di Rumah Pompa Unit Suruhwadang PT. PDAM Kabupaten Blitar didapatkan beberapa saran yang dapat digunakan, saran yang perlu dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penggunaan pada studi kasus lain, bisa menggunakan metode ini. Tetapi harus mempertimbangkan setiap faktor yang ada sesuai dengan kondisi lapangan (*existing*) yang dijadikan studi kasus.
2. Untuk validasi dengan perhitungan matematis masih memiliki banyak kekurangan, sehingga perlu dilakukan validasi dengan metode atau cara lain. Contohnya dengan menggunakan berbagai macam *software* komputasi yang nantinya hasilnya bisa dibandingkan. Meskipun pada studi kasus ini sudah menggunakan *software* komputasi, kemungkinan masih memiliki kekurangan dibanding *software* yang lain (Caesar, Ansys dan sebagainya).
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan eksperimen atau percobaan (missal dalam bentuk *prototype*), agar hasil yang didapatkan dari simulasi *software* lebih valid.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- AFT, 2008. *AFT Impulse User's Guide, Water Hammer Modeling in Piping System, AFT Impulse version 4.0*. s.l.:Applied Flow Technology.
- Akbar, M. T., 2009. *Simulasi Pemilihan Sistem Proteksi Water Hammer Pada Transmisi Air Minum*. Surabaya: Teknik Mesin-ITS.
- Alkazraji, D., 2008. *A Quick Guide to Pipeline Engineering*. s.l.:Woodhead Publishing.
- Anwar, C. a. N. I., 2012. Analisa Minimalisasi Water Hammer dengan Variasi Pemilihan Volume Gas Accumulator Pada SistemPerpipaan di PT. Kaltim Prima Coal. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Volume I, pp. 1-4.
- ASTM International, 2010. *Standard Spesification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pressure-Rated Pipe (SDR Series)*. Pennsylvania: ASTM International.
- AWWA, 2004. *Steel Pipe – A Guide for Design and Installation, AWWA Manual M11*. 4th ed. s.l.:American Water Work Association.
- Ferdiansyah, P., 2017. *Evaluasi Unjuk Kerja Pengaruh Sistem Proteksi Water Hammer (Surge Tank dan Gas Accumulator Tipe AS) Pada Sistem Perpipaan : Studi Kasus di Rumah Pompa Produksi Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang 3 PT. Surya Sembada Surabaya*. Surabaya: Teknik Mesin-ITS.
- Indriawan, A., 2018. *Evaluasi Desain Sistem Venting dari Manifold Truk ke Temporary Tank di Terminal LPG Semarang*. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan Surabaya.
- Mahanna, Loeb and Magalhaes, 2014. *Water Hammer and Surge Tank*, s.l.: Cive 401.
- Murni, 2007. Metode Sederhana untuk Mencegah Terjadinya Pukulan Air di dalam Instalasi Plambing. *JURNAL UNIMUS*, Volume 5.
- Najib, U., 2017. Analisis Debit Pompa Hidram dengan Pipa Paralon Satu Output, Dua Output dan Tiga Output dengan Diameter Pipa  $\frac{3}{4}$  Inch. *Jurnal Wahana Ilmuwan*, 3(1).
- Nugraha, F. Z., 2017. *Analisis Pengaruh Jarak Sistem Proteksi Water Hammer Pada Sistem Perpipaan (Studi Kasus Di Rumah Pompa Produksi Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang 3 Distribusi Wonocolo PT PDAM Surya Sembada Surabaya)*. Surabaya: Teknik Mesin-ITS.

- SATKER Pengembangan Air Minum Dan Sanitasi Provinsi Jawa Timur, 2013.  
*Rancangan Anggaran Biaya Pembangunan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)*. s.l.:PT. PDAM Tirta Penataran Kabupaten Blitar.
- SATKER Pengembangan Air Minum Dan Sanitasi Provinsi Jawa Timur, n.d. *As Built Drawing (Detail Junction Jaringan Pemipaan)*. s.l.:PT. PDAM Tirta Penataran Kabupaten Blitar.
- Wicaksono, I. W., 2015. *Design IV : Marine Machinery And Electrical System*. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan-ITS.

## LAMPIRAN 1

### Perhitungan *Maximum Internal Pressure Pipe Design* pada *Discharge Pump (Steel Pipe)*

Untuk mengetahui *maximum internal pressure pipe design* yang mampu diterima pipa ketika terjadi fluktuasi tekanan, maka perlu dilakukan perhitungan *maximum internal pressure pipe design* di daerah *discharge pump* yang diizinkan sesuai dengan standar perhitungan yang dikeluarkan oleh AWWA (*American Water Works Association*). Sehingga dengan menggunakan *maximum internal pressure pipe design* ini dapat digunakan sebagai acuan untuk memilih *anti-surgings device* yang tepat beserta jarak idealnya untuk meredam fluktuasi tekanan akibat *water hammer*. Berikut perhitungan *maximum internal pressure pipe design* berdasarkan persamaan Barlow sebagai berikut:

- Pipa Steel SCH 10
- > Tebal pipa ( $t$ ) = 3.4036 mm
  - > *Allowable design stress for steel* ( $S$ ) = 15000 psi = 1034.21 bar
  - > *Inside diameter* ( $D$ ) = 161.47 mm
  - > *Design factor* ( $M$ ) = 0.875

$$p = \frac{2 \times S \times t \times M}{D} = \frac{2 \times 1034.21 \times 3.4036 \times 0.875}{161.47}$$

$$= 38.2 \text{ bar}$$

### Perhitungan *Maximum Internal Pressure Pipe Design* pada *Discharge Pump (PVC Pipe)*

Untuk mengetahui besarnya nilai *maximum internal pressure pipe design* yang mampu diterima oleh pipa PVC ketika terjadi fluktuasi tekanan. Maka perlu mencocokkan jenis pipa yang terpasang di lapangan dengan *standart ASTM (American Standard Testing and Material)* dan didapatkan pipa dengan type SDR17 dengan tekanan maksimum mencapai 36.5 bar.

TABLE 3 Sustained Pressure Test Conditions for Water at 73°F (23°C) for PVC Plastic Pipe

SDR	Pressure <sup>A</sup> Required for Test							
	PVC 1120, PVC 1220, PVC 2120		PVC 2116		PVC 2112		PVC 2110	
	psi	MPa (bar)	psi	MPa (bar)	psi	MPa (bar)	psi	MPa (bar)
13.5	670	4.62 (46.2)	540	3.72 (37.2)	450	3.10 (31.0)	370	2.55 (25.5)
17	530	3.65 (36.5)	420	2.90 (29.0)	350	2.41 (24.1)	290	2.00 (20.0)
21	420	2.90 (29.0)	340	2.34 (23.4)	280	1.93 (19.3)	230	1.59 (15.9)
26	340	2.34 (23.4)	270	1.86 (18.6)	220	1.52 (15.2)	180	1.24 (12.4)
32.5	270	1.86 (18.6)	210	1.45 (14.5)	180	1.24 (12.4)	150	1.03 (10.3)
41	210	1.45 (14.5)	170	1.17 (11.7)	140	0.97 (9.7)	120	0.83 (8.3)
64	130	0.90 (9.0)	110	0.76 (7.6)	90	0.62 (6.2)	70	0.48 (4.8)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 2

Daftar pipa yang digunakan pada simulasi *software* untuk **desain 1** dan **desain 2**, sesuai table dibawah ini.

No.	Nama Pipa	Material Pipa	Panjang Pipa (m)	Keterangan
1.	P1	Steel	85.6	
2.	P2	Steel	84	
3.	P3	Steel	0.6	
4.	P4	Steel	1	
5.	P5	Steel	0.25	
6.	P6	Steel	0.1	
7.	P7	Steel	4	
8.	P8	Steel	4	
9.	P9	Steel	1	
10.	P10	Steel	1	
11.	P11	PVC	250	
12.	P12	PVC	375	
13.	P13	PVC	375	
14.	P14	PVC	1	
15.	P15	PVC	1	
16.	P16	PVC	3650	
17.	P17	PVC	2	
18.	P18	PVC	2	
19.	P19	PVC	3	

Daftar pipa yang digunakan pada simulasi *software* untuk **desain 3** dan **desain 4**, sesuai table dibawah ini.

No.	Nama Pipa	Material Pipa	Panjang Pipa (m)	Keterangan
1.	P1	Steel	84.6	
2.	P2	Steel	83	
3.	P3	Steel	0.6	
4.	P4	Steel	1	
5.	P5	Steel	0.25	
6.	P6	Steel	0.1	
7.	P7	Steel	4	
8.	P8	Steel	4	
9.	P9	Steel	1	
10.	P10	Steel	1	
11.	P11	PVC	250	
12.	P12	PVC	375	
13.	P13	PVC	375	
14.	P14	PVC	1	
15.	P15	PVC	1	
16.	P16	PVC	3650	
17.	P17	PVC	2	
18.	P18	PVC	2	
19.	P19	PVC	3	

Daftar pipa yang digunakan pada simulasi *software* untuk **desain 5** dan **desain 6**, sesuai table dibawah ini.

No.	Nama Pipa	Material Pipa	Panjang Pipa (m)	Keterangan
1.	P1	Steel	85.6	
2.	P2	Steel	84	
3.	P3	Steel	0.6	
4.	P4	Steel	1	
5.	P5	Steel	1.25	
6.	P6	Steel	1.1	
7.	P7	Steel	3	
8.	P8	Steel	3	
9.	P9	Steel	1	
10.	P10	Steel	1	
11.	P11	PVC	250	
12.	P12	PVC	375	
13.	P13	PVC	375	
14.	P14	PVC	1	
15.	P15	PVC	1	
16.	P16	PVC	3650	
17.	P17	PVC	2	
18.	P18	PVC	2	
19.	P19	PVC	3	

Daftar pipa yang digunakan pada simulasi *software* untuk **desain 7**, sesuai table dibawah ini.

No.	Nama Pipa	Material Pipa	Panjang Pipa (m)	Keterangan
1.	P1	Steel	85.6	
2.	P2	Steel	84	
3.	P3	Steel	0.6	
4.	P4	Steel	1	
5.	P5	Steel	4.25	
6.	P6	Steel	4.1	
7.	P9	Steel	1	
8.	P10	Steel	1	
9.	P11	PVC	250	
10.	P12	PVC	375	
11.	P13	PVC	375	
12.	P14	PVC	1	
13.	P15	PVC	1	
14.	P16	PVC	3650	
15.	P17	PVC	2	
16.	P18	PVC	2	
17.	P19	PVC	3	

### LAMPIRAN 3

Daftar *junction* yang digunakan pada simulasi *software* untuk **semua desain**, sesuai table dibawah ini.

No.	Nama Junction/ Accesoris	Elevasi (m)	Keterangan
1.	J3	1	Gate Valve
2.	J4	1	Gate Valve
3.	J5	1	Check Valve
4.	J6	1	Check Valve
5.	J9	-1	Gate Valve
6.	J10	-1	Gate Valve
7.	J11	-1	Elbow
8.	J12	-1	Tee
9.	J13	-1	Tee
10.	J14	1	Gate Valve
11.	J16	-1	Gate Valve
12.	J17	1	Check Valve
13.	J18	1	Gate Valve

Daftar *reservoir* yang digunakan pada simulasi *software* untuk **semua desain**, sesuai table dibawah ini.

No.	Nama Reservoir	Liquid Surface Elevasi (m)	Keterangan
1.	J15	6	
2.	J20	6	

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 4

Daftar jenis anti-*surging device* yang digunakan pada simulasi di *software* adalah sebagai berikut:

### Surge Tank

- Tank Height 6.7 meter
- Elevation 0 meter
- Diameter Tank 7.06 meter
- Maximum Operating Pressure 12 bar
- Volume 4000 liter

### Gas Accumulator

- Merk NACOL
- Part Number N210-120D
- Length 1.93 meter
- Width 0.35 meter
- Elevation 0 meter
- Maximum Operating Pressure 206.8 Bar
- Volume 114 liter

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LAMPIRAN 5**

Daftar jenis *pump* yang digunakan pada simulasi di *software* adalah sebagai berikut:

<b>No.</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Head</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Tipe</b>	<b>Merk</b>
1.	Suruhwadang 1	100 m	30 l/s	Submersible	GroundfousSP60-20
2.	Suruhwadang 2	100 m	30 l/s	Submersible	APP
3.	Kempul	100 m	30 l/s	Centrifugal	Slemen

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 6

Berikut lampiran penunjang yang digunakan untuk melakukan analisa ekonomi desain:

 **Gmail** Nanang Cahyono <nanangcahyono1996@gmail.com>

---

**RE: New Message (sent by contact form at Dutaflow Hidrolik)**

---

Riki <sales@dutaflow.com> 10 Mei 2019 14.40  
 Kepada: Nanang Cahyono <nanangcahyono1996@gmail.com>  
 Cc: fanny@dutaflow.com

Dear Pak Nanang,

TYPE:Accumulator  
 PART NUMBER: N210-120D  
 MERK:NACOL  
 QTY:1 PC  
 UNIT PRICE:@49.000.000, IN TAX ,  
 Ready stock tidak mengikat  
 VALIDITY:2 WEEKS  
 Terlampir adalah cataloge dari kami.

Terima Kasih.

*Warm Regards,*  
**Riki**  
 081314982499(WA)  
*Sales Dept.*

 **PT.DutaFlow Hidrolik**

**Head Office :**  
 Rukan Green Garden Z2 / 66-69  
 Jakarta 11520  
 Phone : 021-5815236 | Fax : 021-5815235

**Branch Office :**  
 -Pekanbaru -Sampit  
 -Lampung -Samarinda  
 -Surabaya

*Hydraulic Equipments Supply & Service*



[Kulipan teks disembunyikan]

---

 **NACOL-acc N210.pdf**

Harga Gas Accumulator

Berikut lampiran penunjang yang digunakan untuk melakukan analisa ekonomi desain:

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<b>III</b>	<b>PEKERJAAN PERPIPAAN</b>				
1	Pipa GI dia. 150 mm	m	7.00	411,670.00	2,881,690.00
2	Bend all flange 45° dia. 150 mm	bh	4.00	509,600.00	2,038,400.00
3	Flange Socket dia. 160 mm	bh	1.00	378,375.00	378,375.00
4	Flange Spigot dia. 160 mm	bh	1.00	323,250.00	323,250.00
5	Flange Las dia. 6" (lengkap dengan baut dan packing)	bh	6.00	242,000.00	1,452,000.00

### Harga Pipa GI Diameter 6 Inch

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<b>IV</b>	<b>PEKERJAAN LAIN-LAIN</b>				
1	Pengecatan pipa	m <sup>2</sup>	2.36	26,000.00	61,230.00
2	Pengecatan thrust block	Ls	1.00	60,000.00	60,000.00

### Biaya Pengecatan Pipa

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<b>I</b>	<b>PEKERJAAN TANAH</b>				
1	Galian tanah	m <sup>3</sup>	1.02	37,200.00	38,092.80
2	Urugan pasir t = 10 cm	m <sup>3</sup>	0.13	130,000.00	16,640.00

### Biaya Galian Tanah dan Pengurukan Kembali

## LAMPIRAN 7

Berikut lampiran rekomendasi desain berupa gambar P&ID (*Process & Instrument Diagram*) dan gambar *isometric* (gambar telampir dibelakang)

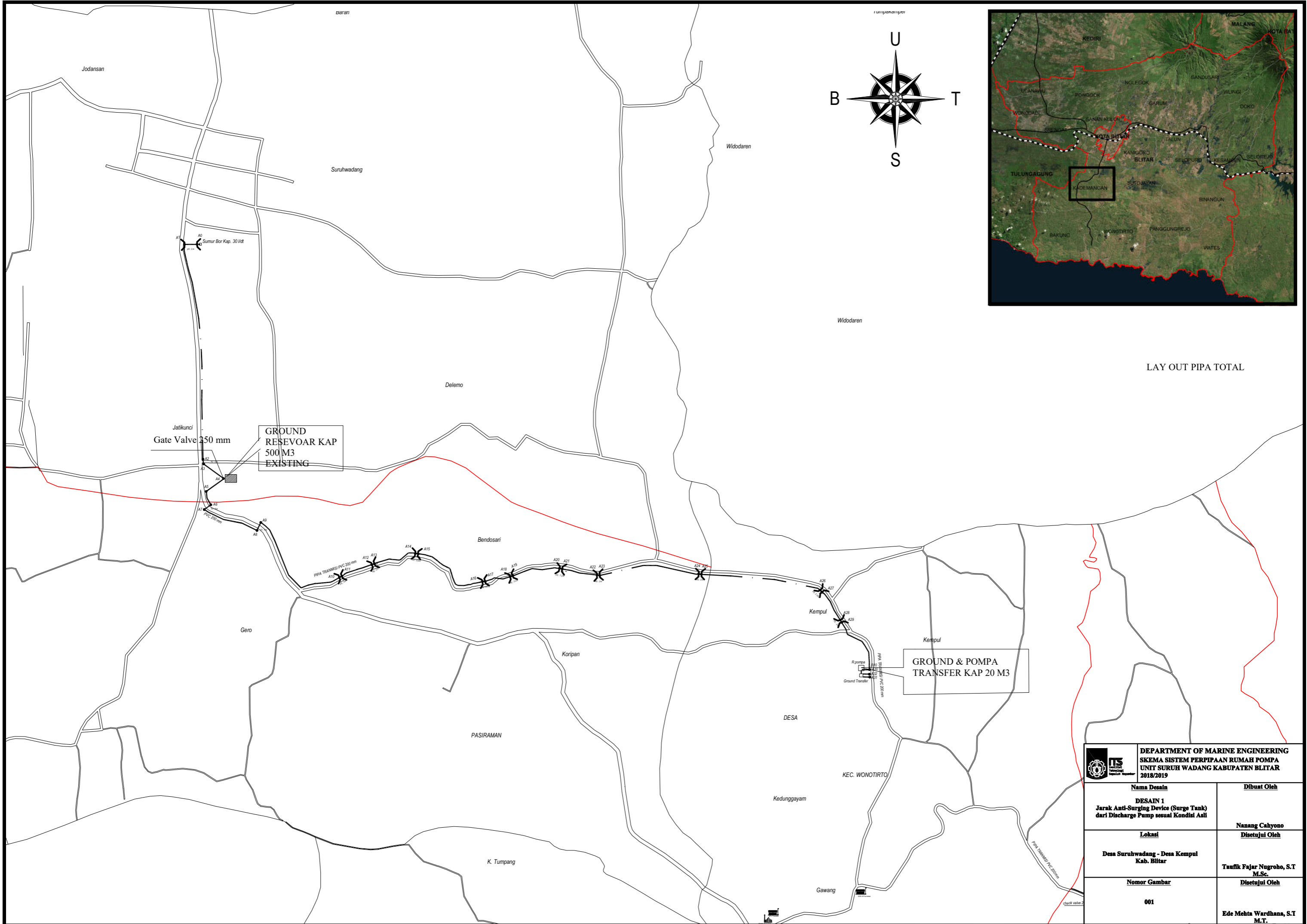
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Blitar pada tanggal 14 Juni 1996, dianugerahi nama Nanang Cahyono. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan bermula dari TK Dharma Wanita Kuningan, SDN Sananwetan 2 Kota Blitar, SMPN 3 Kota Blitar, SMAN 3 Kota Blitar, hingga Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS. Saat SMA, penulis aktif berorganisasi di ROHIS (Kerohanian Islam) SMAN 3 Kota Blitar dan ekstrakurikuler Bahasa Jepang. Sedangkan di kehidupan kampus diisi dengan mencoba hal-hal baru tanpa mengurangi fokus akademik. Sejak mahasiswa baru, penulis bergabung dengan UKM Taekwondo ITS, beladiri dari Korea yang menggunakan tangan dan kaki sebagai alat utama pertahanan diri. Selain itu, di tahun kedua aktif di BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa) Fakultas Teknologi Kelautan-ITS sebagai anggota hubungan dalam negeri. Sedangkan pengalaman kerja praktek didapatkan di dua perusahaan, yaitu PT Dumas Tanjung Perak Shipyards dan Balai Teknologi Hidrodinamika (BPPT). Pada kehidupan pasca kampus penulis berharap agar mampu merealisasikan dan menekuni ide *startup*. Tidak menutup kemungkinan bagi penulis untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi.

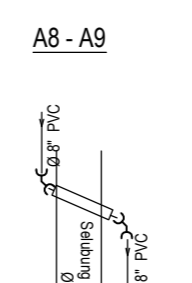
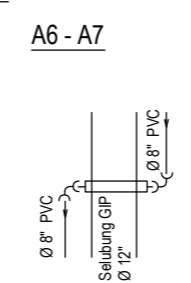
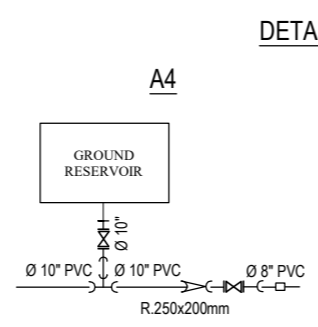
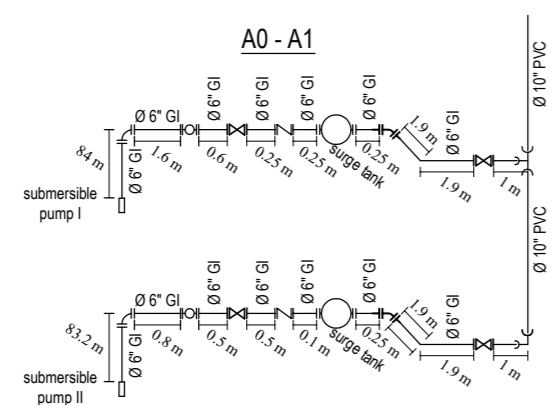
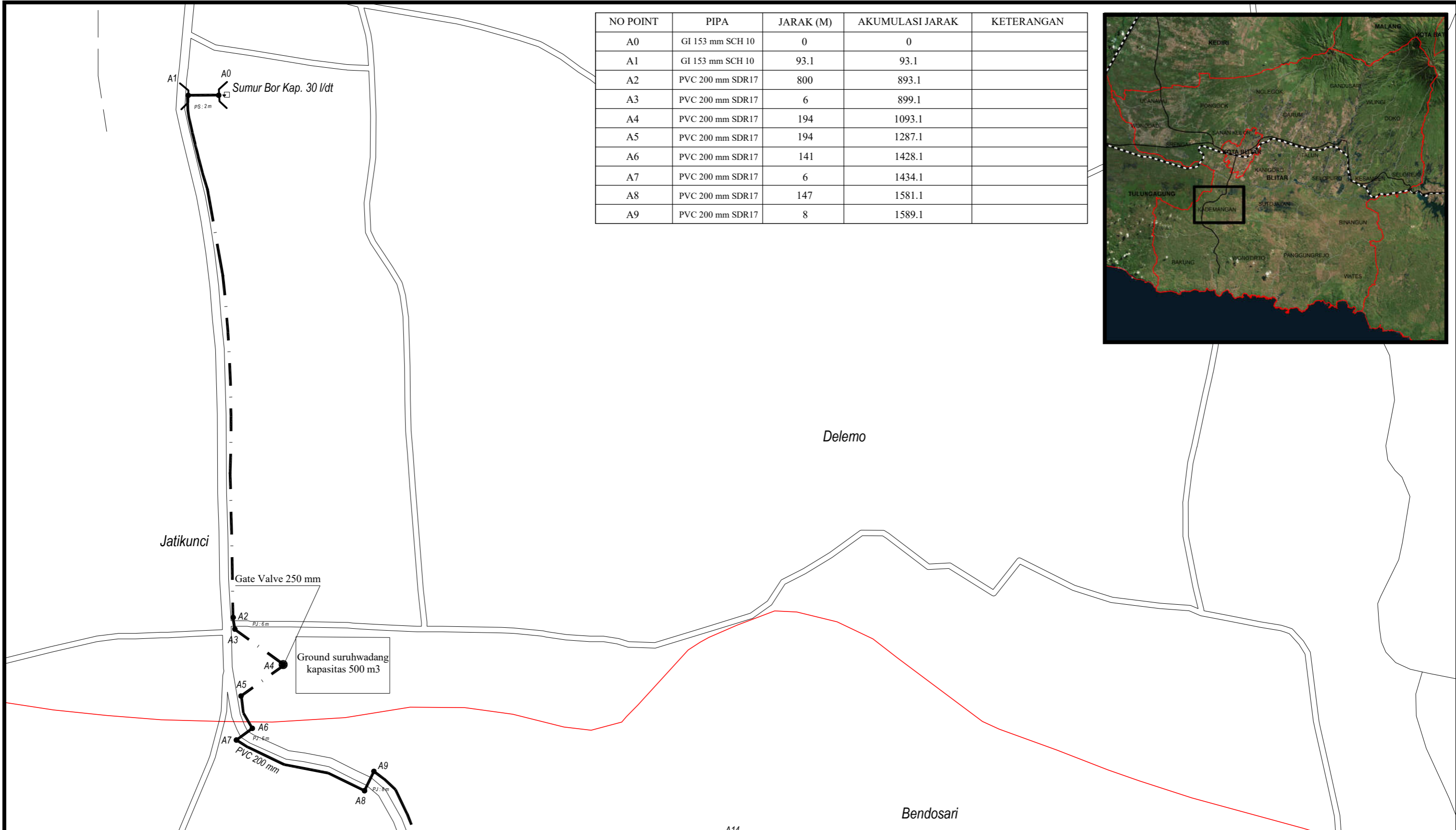
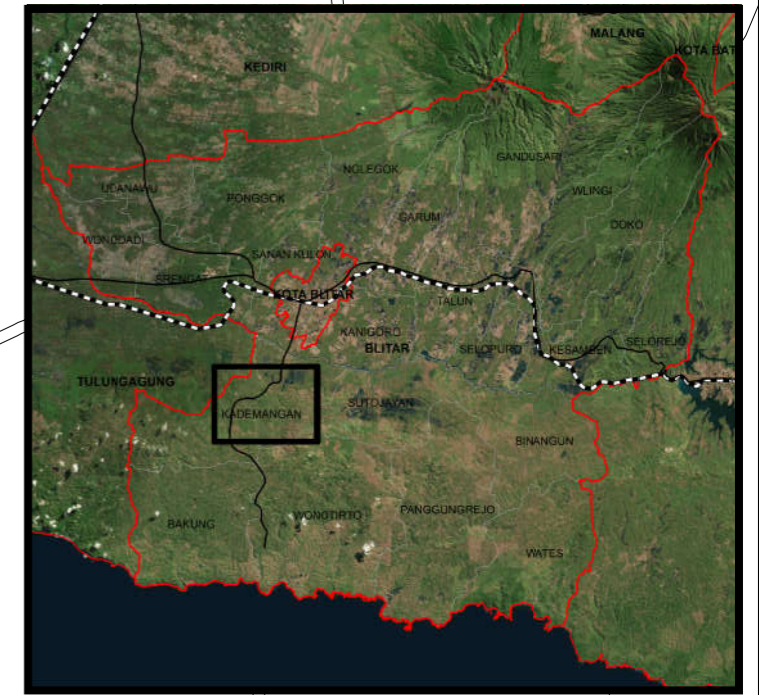
**Nanang Cahyono**  
nanangcahyonobl@gmail.com



LAY OUT PIPA TOTAL

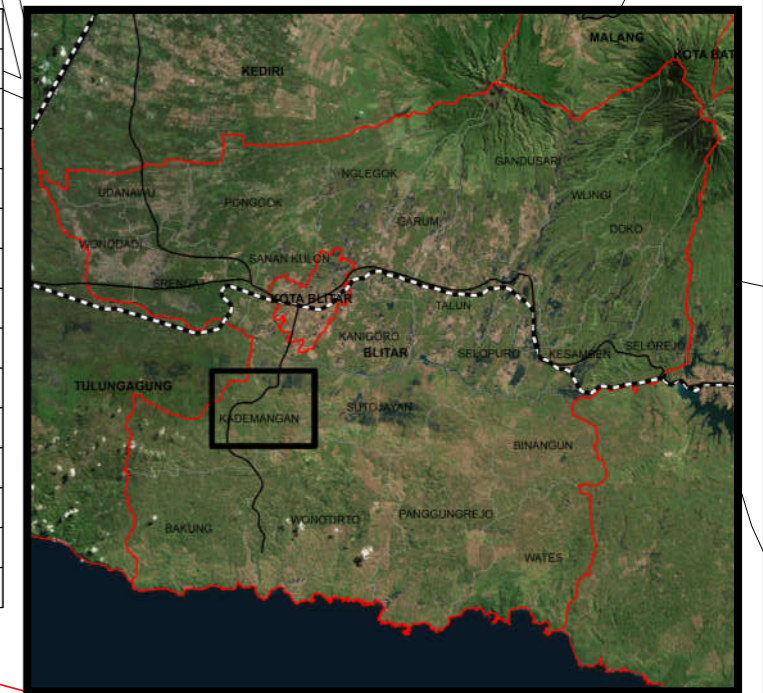
		<b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b> <b>DESAIN 1</b> <b>Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank)</b> <b>dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli</b>		<b>Dibust Oleh</b> <b>Nanang Cahyono</b>	
<b>Lokasi</b> <b>Desa Suruhwadang - Desa Kempul</b> <b>Kab. Blitar</b>		<b>Disetujui Oleh</b> <b>Taufik Fajar Nugroho, S.T</b> <b>M.Sc.</b>	
<b>Nomor Gambar</b> <b>001</b>		<b>Disetujui Oleh</b> <b>Ede Mehta Wardhana, S.T</b> <b>M.T.</b>	

NO POINT	PIPA	JARAK (M)	AKUMULASI JARAK	KETERANGAN
A0	GI 153 mm SCH 10	0	0	
A1	GI 153 mm SCH 10	93.1	93.1	
A2	PVC 200 mm SDR17	800	893.1	
A3	PVC 200 mm SDR17	6	899.1	
A4	PVC 200 mm SDR17	194	1093.1	
A5	PVC 200 mm SDR17	194	1287.1	
A6	PVC 200 mm SDR17	141	1428.1	
A7	PVC 200 mm SDR17	6	1434.1	
A8	PVC 200 mm SDR17	147	1581.1	
A9	PVC 200 mm SDR17	8	1589.1	

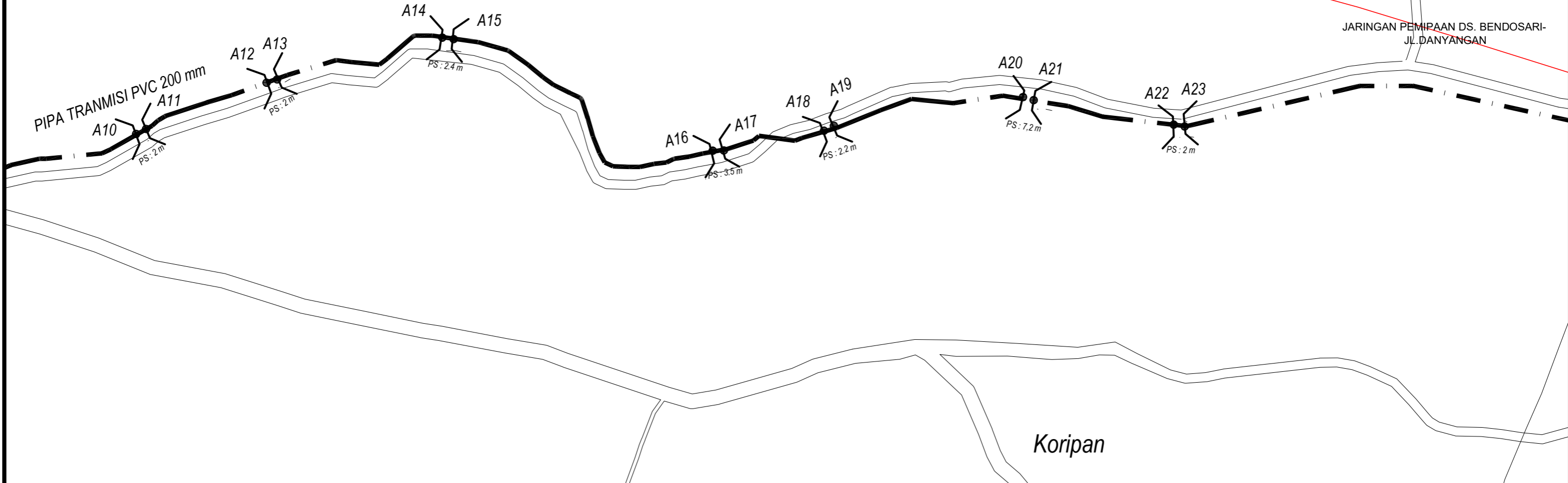


DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR 2018/2019	
<b>Nama Desain</b> DESAIN 1 Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank) dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli	<b>Dibuat Oleh</b> Nanang Cahyono
<b>Lokasi</b> Desa Suruhwadang - Desa Kempul Kab. Blitar	<b>Disetujui Oleh</b> Taufik Fajar Nugroho, S.T M.Sc.
<b>Nomor Gambar</b> 001	<b>Disetujui Oleh</b> Ede Mehta Wardhana, S.T M.T.

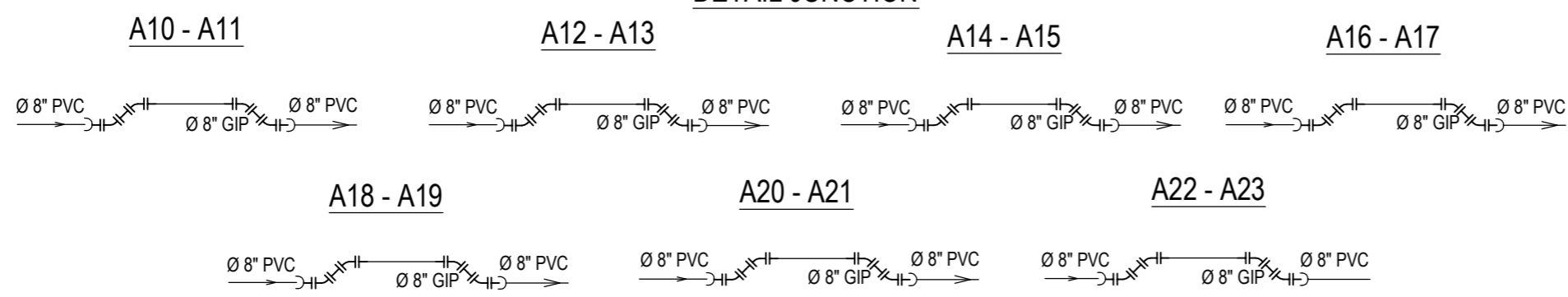
NO POINT	PIPA	JARAK (M)	AKUMULASI JARAK	KETERANGAN
A10	PVC 200 mm SDR17	409	1998.1	
A11	PVC 200 mm SDR17	2	2000.1	
A12	PVC 200 mm SDR17	184	2184.1	
A13	PVC 200 mm SDR17	2	2186.1	
A14	PVC 200 mm SDR17	339	2525.1	
A15	PVC 200 mm SDR17	2.4	2527.5	
A16	PVC 200 mm SDR17	70	2597.5	
A17	PVC 200 mm SDR17	3.5	2601	
A18	PVC 200 mm SDR17	191	2792	
A19	PVC 200 mm SDR17	2.2	2794.2	
A20	PVC 200 mm SDR17	50	2844.2	
A21	PVC 200 mm SDR17	7.2	2851.4	
A22	PVC 200 mm SDR17	280	3131.4	
A23	PVC 200 mm SDR17	2	3133.4	




**Bendosari**

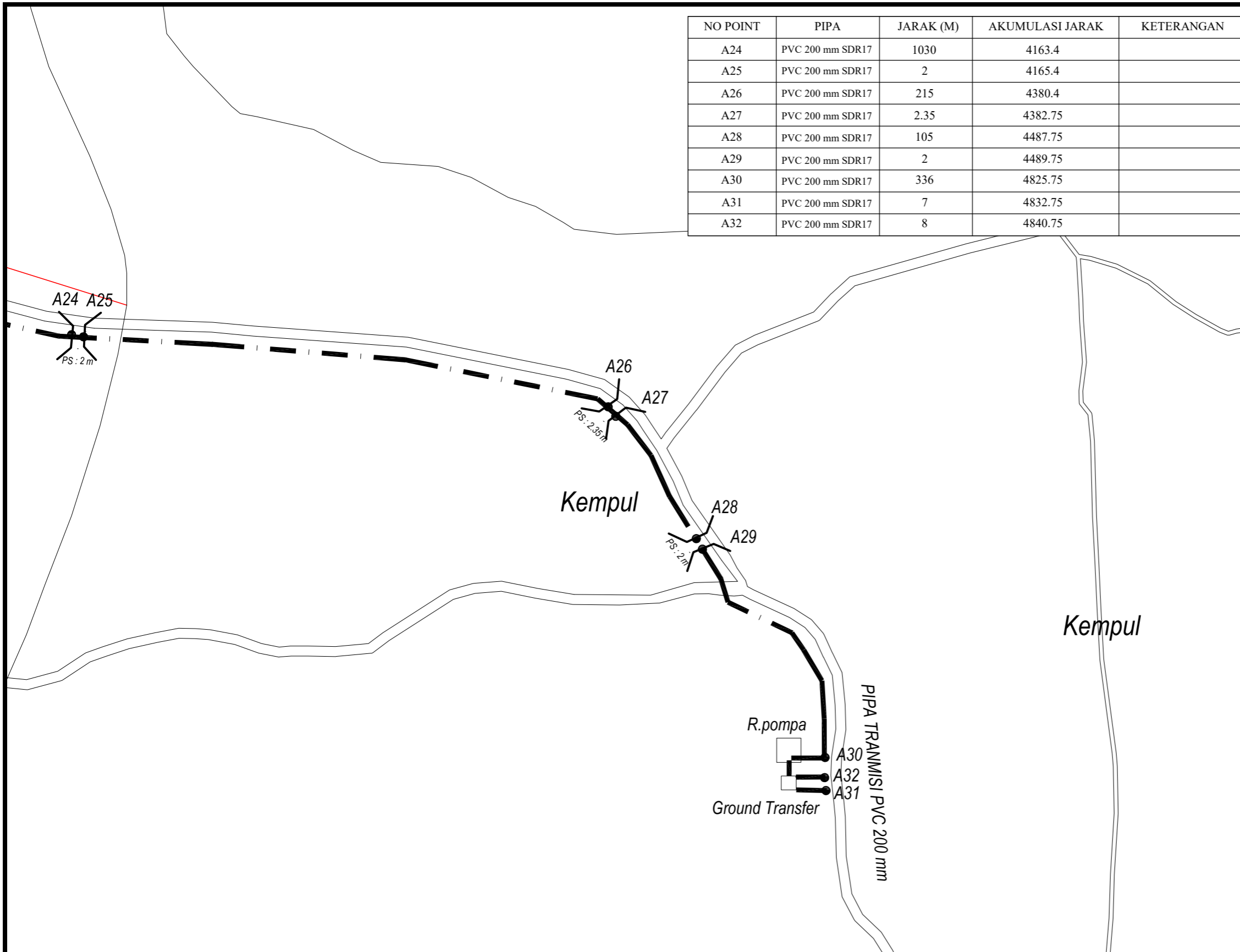
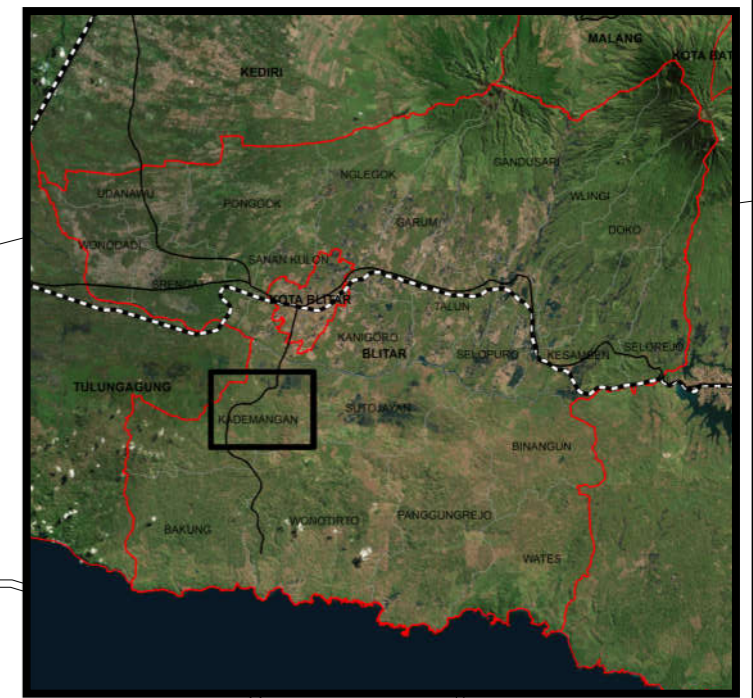


**DETAIL JUNCTION**

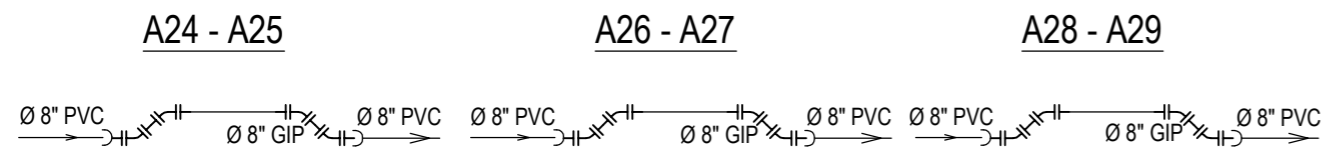


 <b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b> <b>DESAIN 1</b> <b>Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank)</b> <b>dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli</b>	<b>Dibuat Oleh</b> <b>Nanang Cahyono</b>
<b>Lokasi</b> <b>Desa Suruhwadang - Desa Kempul</b> <b>Kab. Blitar</b>	<b>Disetujui Oleh</b> <b>Taufik Fajar Nugroho, S.T</b> <b>M.Sc.</b>
<b>Nomor Gambar</b> <b>001</b>	<b>Disetujui Oleh</b> <b>Ede Mehta Wardhana, S.T</b> <b>M.T.</b>

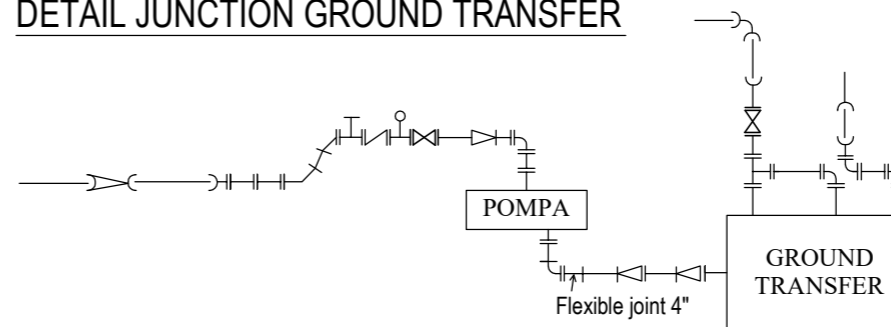
NO POINT	PIPA	JARAK (M)	AKUMULASI JARAK	KETERANGAN
A24	PVC 200 mm SDR17	1030	4163.4	
A25	PVC 200 mm SDR17	2	4165.4	
A26	PVC 200 mm SDR17	215	4380.4	
A27	PVC 200 mm SDR17	2.35	4382.75	
A28	PVC 200 mm SDR17	105	4487.75	
A29	PVC 200 mm SDR17	2	4489.75	
A30	PVC 200 mm SDR17	336	4825.75	
A31	PVC 200 mm SDR17	7	4832.75	
A32	PVC 200 mm SDR17	8	4840.75	



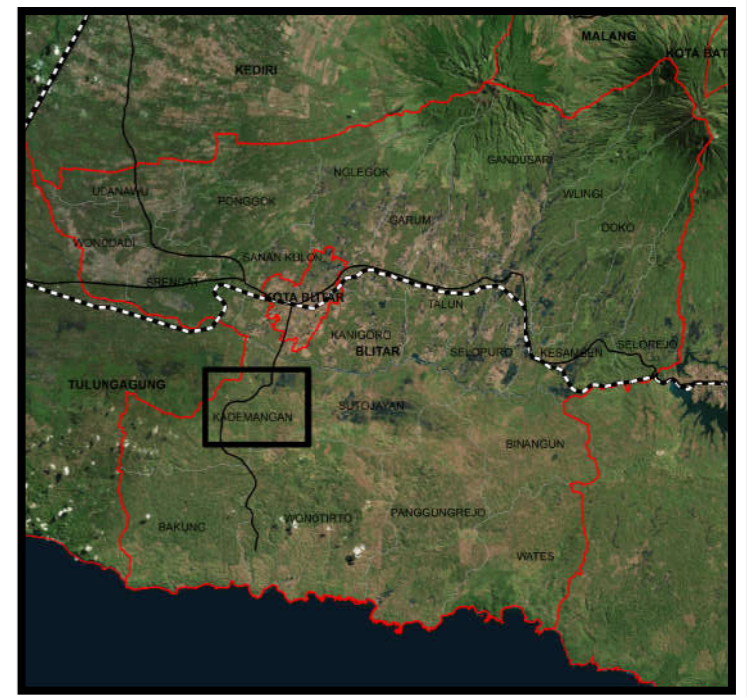
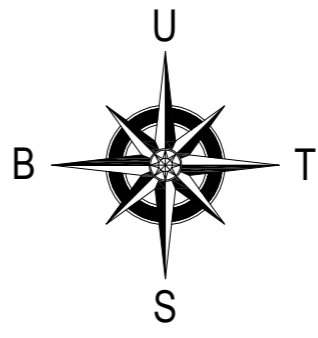
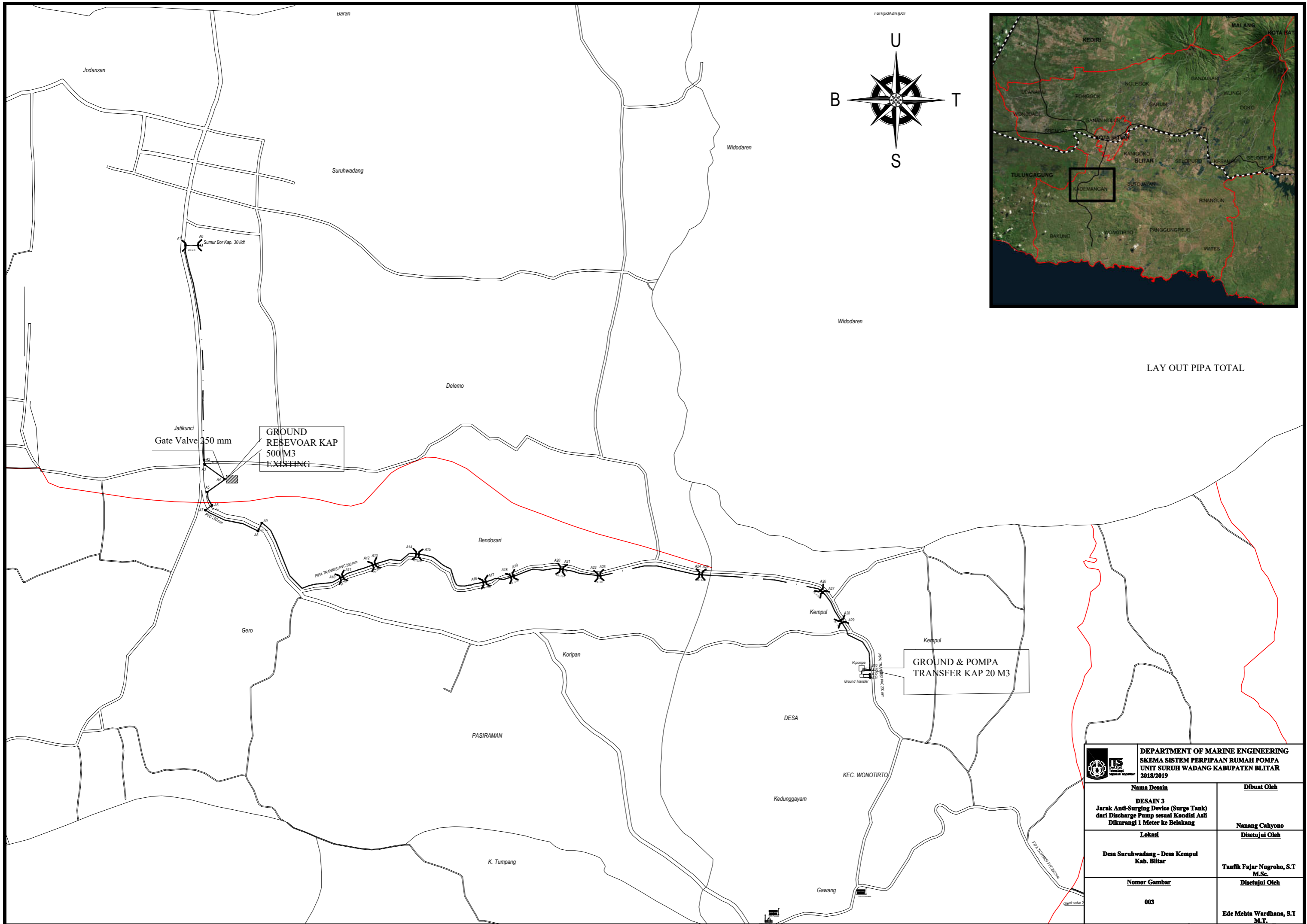
**DETAIL JUNCTION**



**DETAIL JUNCTION GROUND TRANSFER**



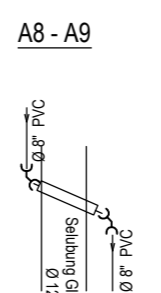
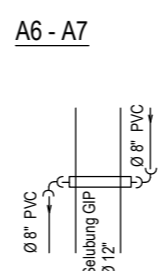
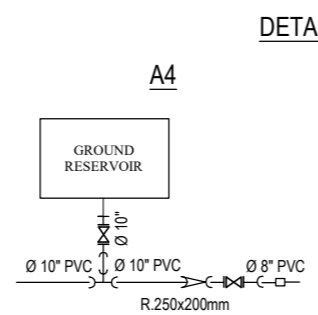
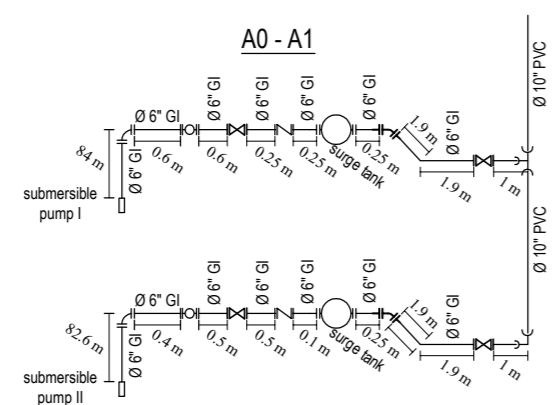
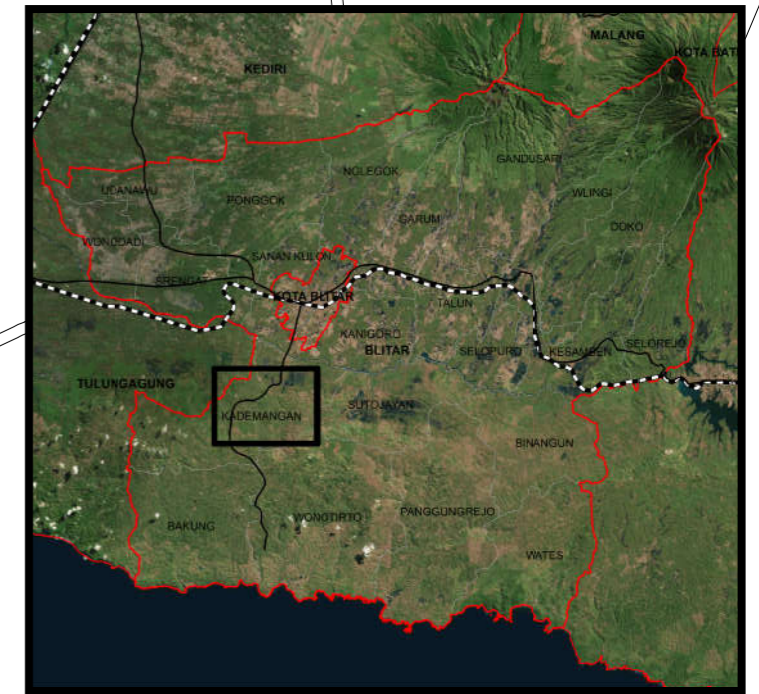
DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR 2018/2019	
<b>Nama Desain</b> DESAIN 1 Jarak Anti-Surgin Device (Surge Tank) dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli	<b>Dibuat Oleh</b> Nanang Cahyono
<b>Lokasi</b> Desa Suruhwadang - Desa Kempul Kab. Blitar	<b>Disetujui Oleh</b> Taufik Fajar Nugroho, S.T M.Sc.
<b>Nomor Gambar</b> 001	<b>Disetujui Oleh</b> Ede Mehta Wardhana, S.T M.T.



LAY OUT PIPA TOTAL

		<b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b> <b>DESAIN 3</b> <b>Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank)</b> <b>dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli</b> <b>Dikurangi 1 Meter ke Belakang</b>		<b>Dibuat Oleh</b> <b>Nanang Cahyono</b>	
<b>Lokasi</b> <b>Desa Suruhwadang - Desa Kempul</b> <b>Kab. Blitar</b>		<b>Disetujui Oleh</b> <b>Taufik Fajar Nugroho, S.T</b> <b>M.Sc.</b>	
<b>Nomor Gambar</b> <b>003</b>		<b>Disetujui Oleh</b> <b>Ede Mehta Wardhana, S.T</b> <b>M.T.</b>	

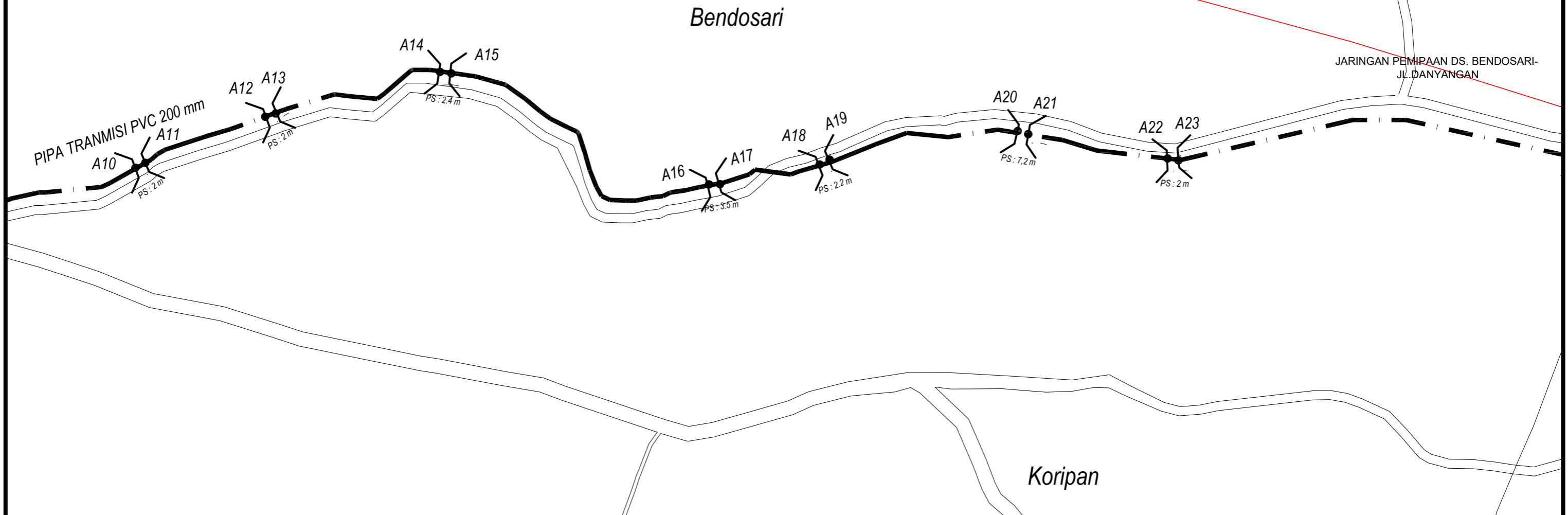
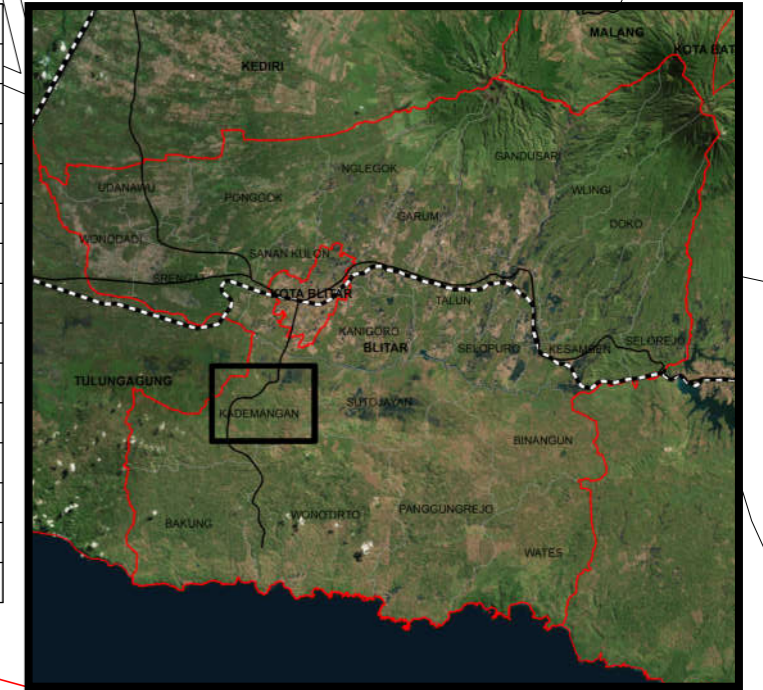
NO POINT	PIPA	JARAK (M)	AKUMULASI JARAK	KETERANGAN
A0	GI 153 mm SCH 10	0	0	
A1	GI 153 mm SCH 10	93.1	93.1	
A2	PVC 200 mm SDR17	800	893.1	
A3	PVC 200 mm SDR17	6	899.1	
A4	PVC 200 mm SDR17	194	1093.1	
A5	PVC 200 mm SDR17	194	1287.1	
A6	PVC 200 mm SDR17	141	1428.1	
A7	PVC 200 mm SDR17	6	1434.1	
A8	PVC 200 mm SDR17	147	1581.1	
A9	PVC 200 mm SDR17	8	1589.1	



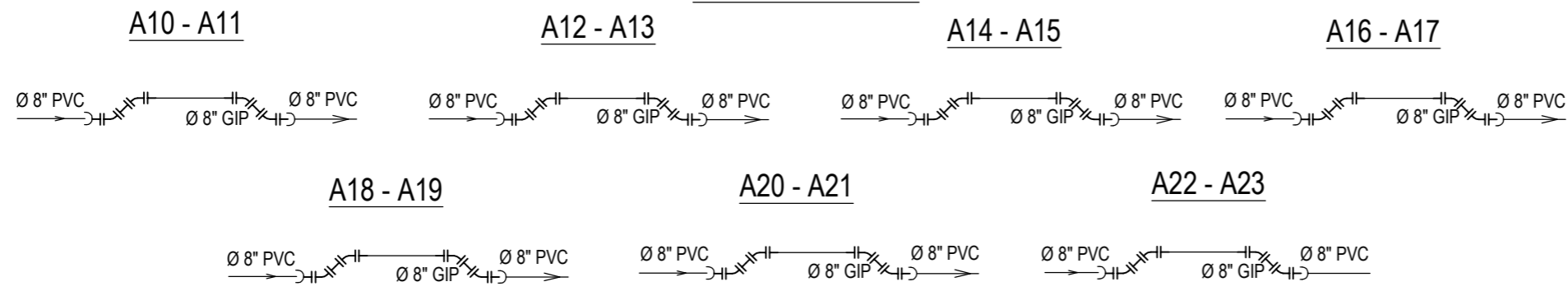
DETAIL JUNCTION


		<b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b> <b>DESAIN 3</b> <b>Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank)</b> <b>dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli</b> <b>Dikurangi 1 Meter ke Belakang</b>		<b>Dibuat Oleh</b> <b>Nanang Cahyono</b>	
<b>Lokasi</b> <b>Desa Suruhwadang - Desa Kempul</b> <b>Kab. Blitar</b>		<b>Disetujui Oleh</b> <b>Taufik Fajar Nugroho, S.T</b> <b>M.Sc.</b>	
<b>Nomor Gambar</b> <b>003</b>		<b>Disetujui Oleh</b> <b>Ede Mehta Wardhana, S.T</b> <b>M.T.</b>	

NO POINT	PIPA	JARAK (M)	AKUMULASI JARAK	KETERANGAN
A10	PVC 200 mm SDR17	409	1998.1	
A11	PVC 200 mm SDR17	2	2000.1	
A12	PVC 200 mm SDR17	184	2184.1	
A13	PVC 200 mm SDR17	2	2186.1	
A14	PVC 200 mm SDR17	339	2525.1	
A15	PVC 200 mm SDR17	2.4	2527.5	
A16	PVC 200 mm SDR17	70	2597.5	
A17	PVC 200 mm SDR17	3.5	2601	
A18	PVC 200 mm SDR17	191	2792	
A19	PVC 200 mm SDR17	2.2	2794.2	
A20	PVC 200 mm SDR17	50	2844.2	
A21	PVC 200 mm SDR17	7.2	2851.4	
A22	PVC 200 mm SDR17	280	3131.4	
A23	PVC 200 mm SDR17	2	3133.4	

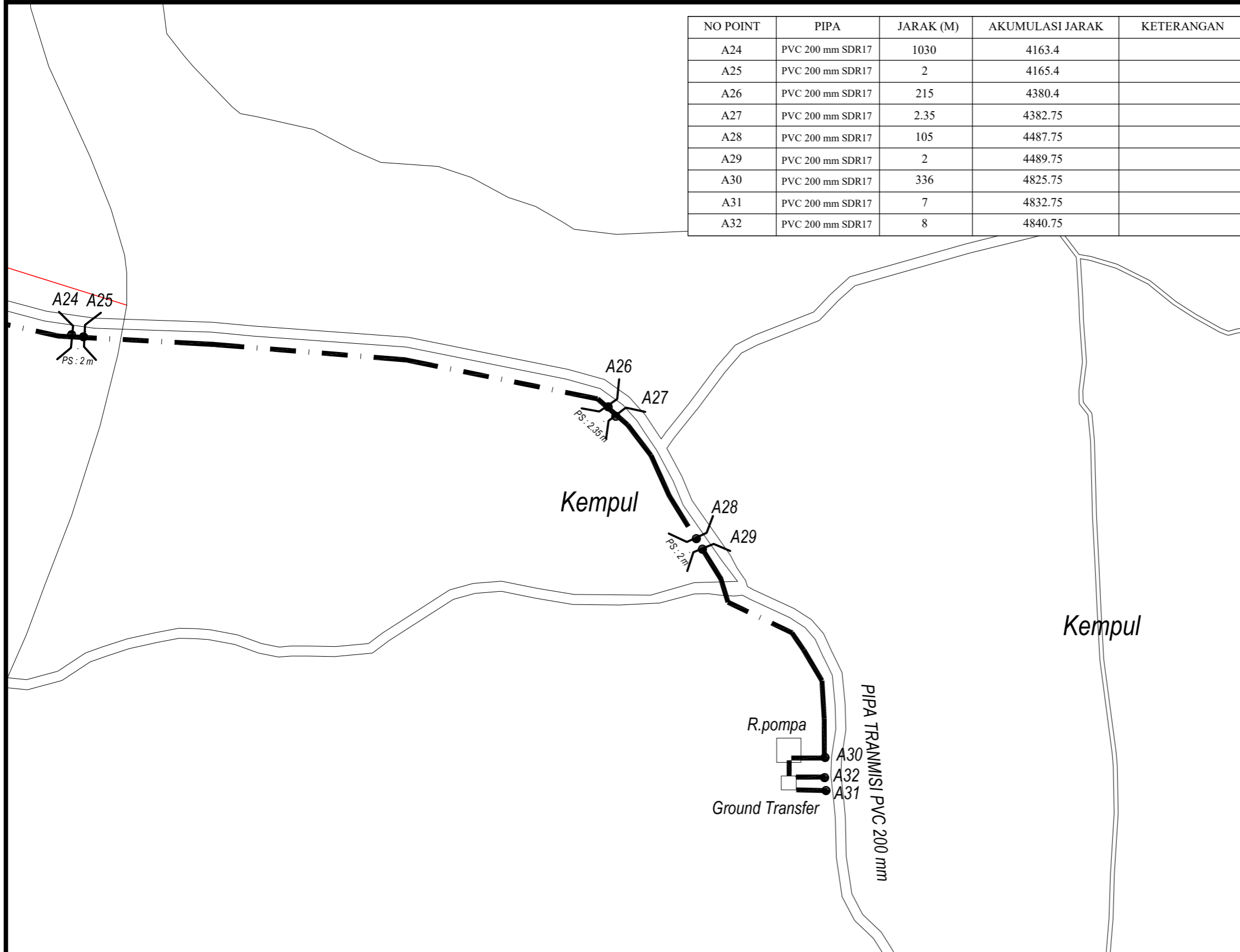
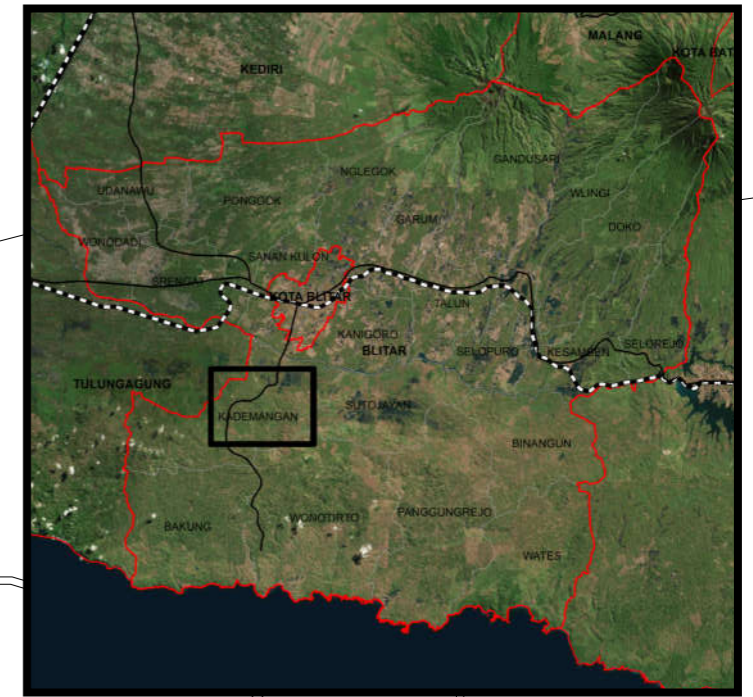


**DETAIL JUNCTION**

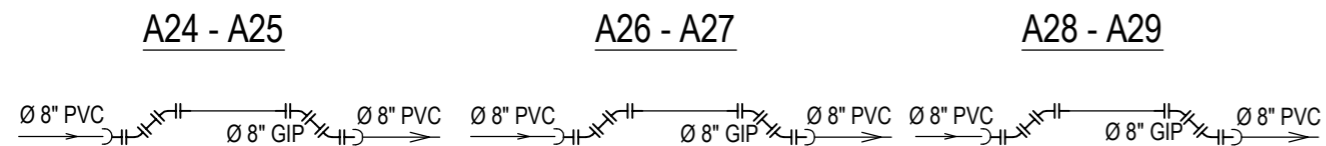


 <b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b> <b>DESAIN 3</b> <b>Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank)</b> <b>dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli</b> <b>Dikurangi 1 Meter ke Belakang</b>	<b>Dibuat Oleh</b> <b>Nanang Cahyono</b>
<b>Lokasi</b> <b>Desa Suruhwadang - Desa Kempul</b> <b>Kab. Blitar</b>	<b>Disetujui Oleh</b> <b>Taufik Fajar Nugroho, S.T</b> <b>M.Sc.</b>
<b>Nomor Gambar</b> <b>003</b>	<b>Disetujui Oleh</b> <b>Ede Mehta Wardhana, S.T</b> <b>M.T.</b>

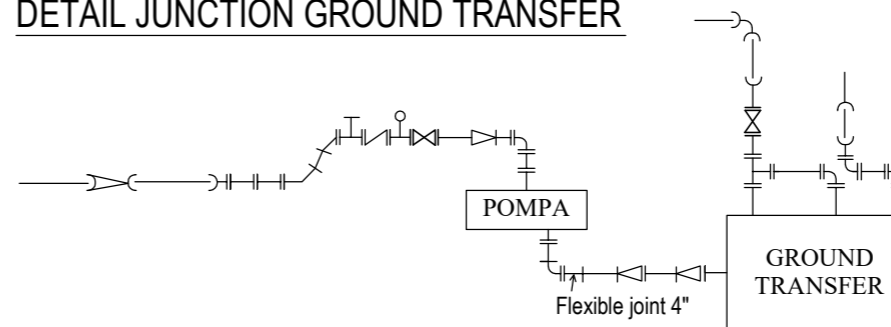
NO POINT	PIPA	JARAK (M)	AKUMULASI JARAK	KETERANGAN
A24	PVC 200 mm SDR17	1030	4163.4	
A25	PVC 200 mm SDR17	2	4165.4	
A26	PVC 200 mm SDR17	215	4380.4	
A27	PVC 200 mm SDR17	2.35	4382.75	
A28	PVC 200 mm SDR17	105	4487.75	
A29	PVC 200 mm SDR17	2	4489.75	
A30	PVC 200 mm SDR17	336	4825.75	
A31	PVC 200 mm SDR17	7	4832.75	
A32	PVC 200 mm SDR17	8	4840.75	



**DETAIL JUNCTION**

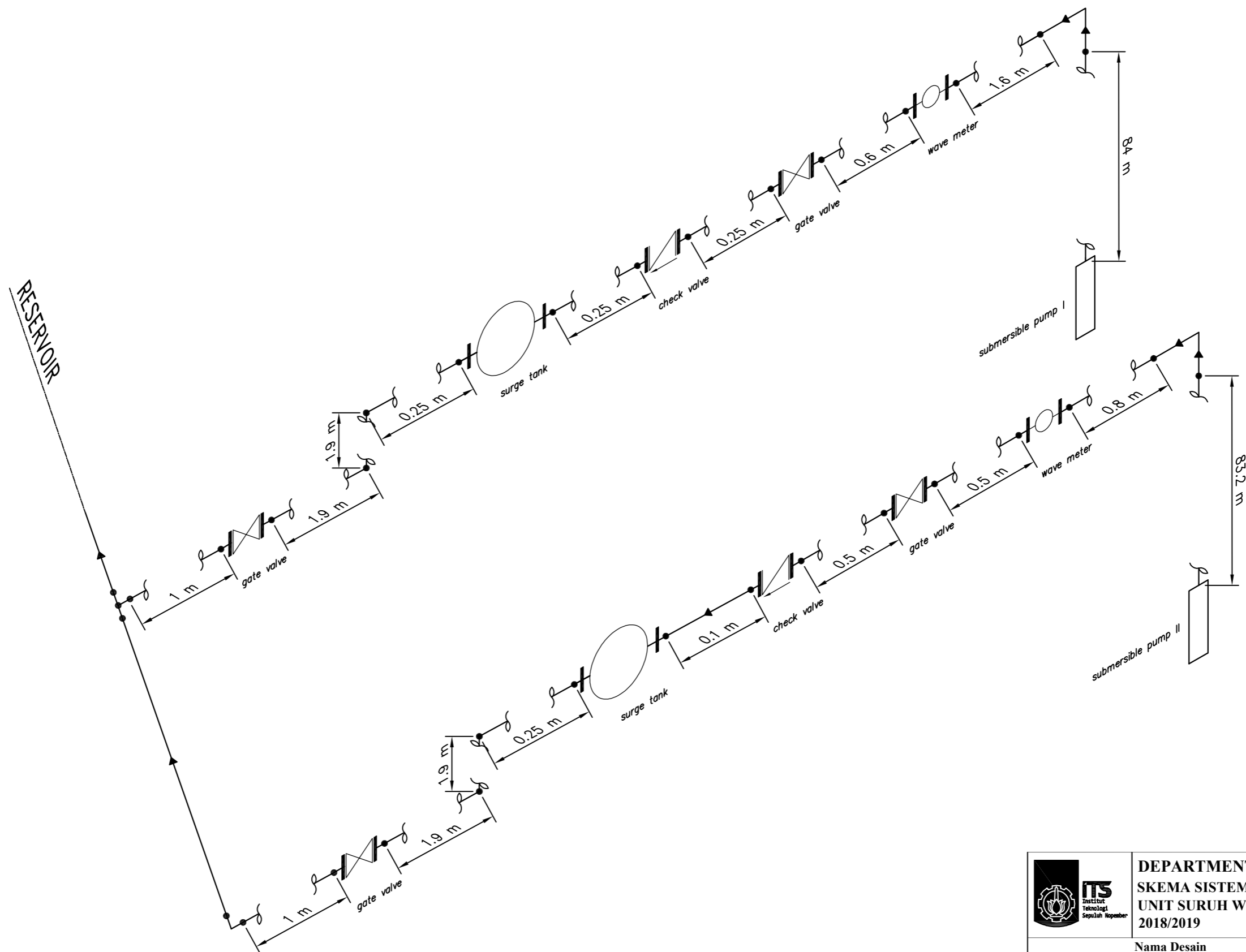



**DETAIL JUNCTION GROUND TRANSFER**

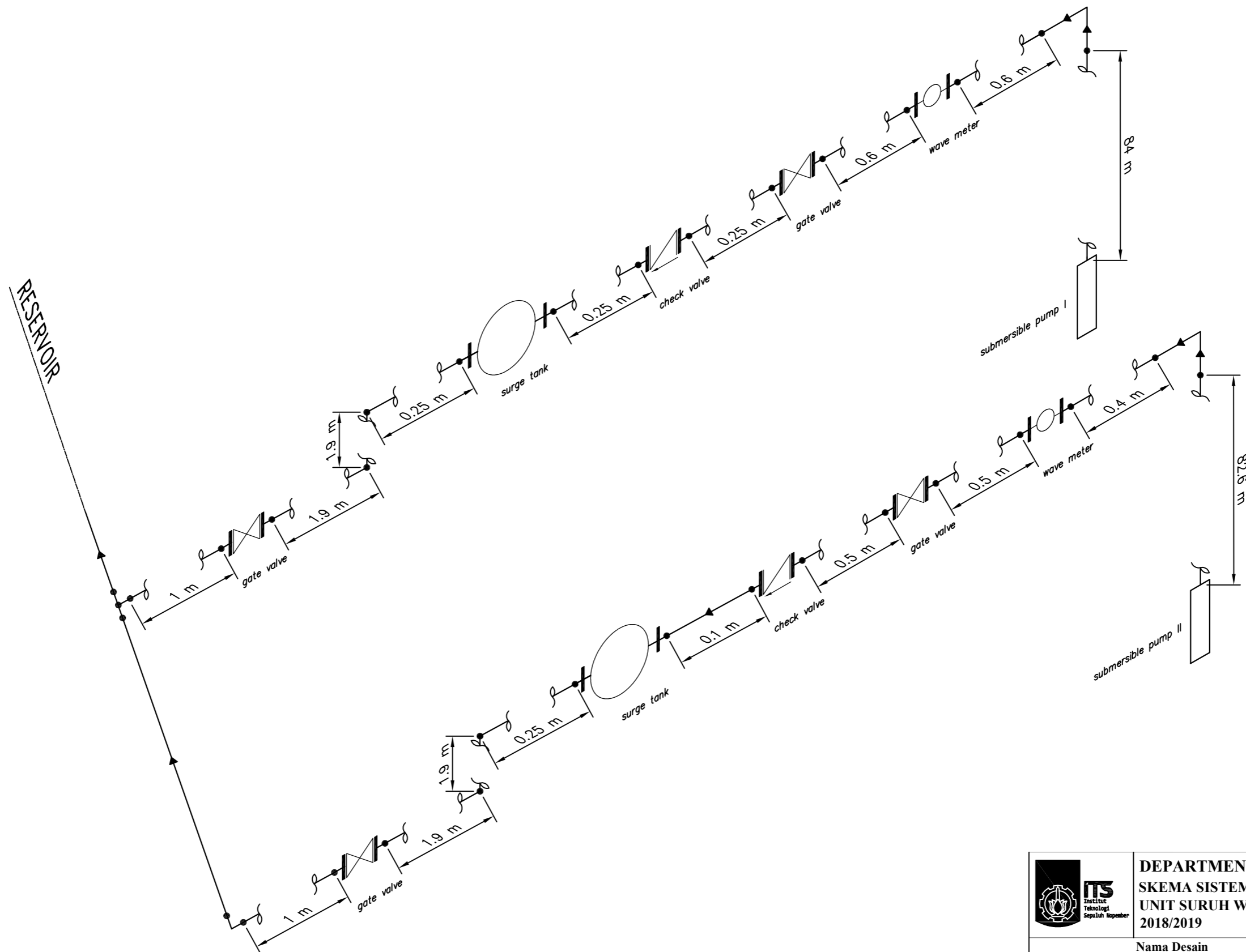



DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
 SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA  
 UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR  
 2018/2019

<b>Nama Desain</b> DESAIN 3 Jarak Anti-Surgin Device (Surge Tank) dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli Dikurangi 1 Meter ke Belakang	<b>Dibuat Oleh</b> Nanang Cahyono
<b>Lokasi</b> Desa Suruhwadang - Desa Kempul Kab. Blitar	<b>Disetujui Oleh</b> Taufik Fajar Nugroho, S.T M.Sc.
<b>Nomor Gambar</b> 003	<b>Disetujui Oleh</b> Ede Mehta Wardhana, S.T M.T.



 <b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITA R</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b>  DESAIN 1 Jarak Anti-Surgung Device (Surge Tank) dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli	<b>Dibuat Oleh</b>  Nanang Cahyono
<b>Lokasi</b>  Desa Suruhwadang - Desa Kempul Kab. Blitar	<b>Disetujui Oleh</b>  Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.
<b>Nomor Gambar</b>  001	<b>Disetujui Oleh</b>  Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.



 <b>DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING</b> <b>SKEMA SISTEM PERPIPAAN RUMAH POMPA</b> <b>UNIT SURUH WADANG KABUPATEN BLITAR</b> <b>2018/2019</b>	
<b>Nama Desain</b> DESAIN 3 Jarak Anti-Surging Device (Surge Tank) dari Discharge Pump sesuai Kondisi Asli Dikurangi 1 Meter ke Belakang	<b>Dibuat Oleh</b>  Nanang Cahyono
<b>Lokasi</b> Desa Suruhwadang - Desa Kempul Kab. Blitar	<b>Disetujui Oleh</b>  Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.
<b>Nomor Gambar</b>  003	<b>Disetujui Oleh</b>  Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.