

JURNAL TEKNIK GRADIEN



Analisa Profil Baja Kastilasi

(Ni Kadek Astariani)

**Analisis Perbandingan Biaya Begesting Kayu dan Baja Pada
Pembangunan Perumahan BNI di Denpasar**

(DP. Yudayana)

**Pola Hubungan Antara Kedalaman air dengan Debit Pada Alat Ukur
Debit Ambang Lebar**

(I Made Sudiarsa)

**Analisa Teknis Jaringan Pipa Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)
(Studi Kasus: SPAM Puhu Desa Puhu Kecamatan Payangan)**

(Putu Doddy Heka Ardana, I Wayan Suastika)

Pengaruh Pengisian Pasir Terhadap Perubahan Garis Pantai Sanur

(I Wayan Pasir)

Daftar Isi

Jurnal Teknik GRADIEN

- 1
Analisa Profil Baja Kastilasi
(Ni Kadek Astariani)
- 15
**Analisis Perbandingan Biaya Begesting Kayu dan Baja Pada
Pembangunan Perumahan BNI di Denpasar**
(DP. Yudayana)
- 25
**Pola Hubungan Antara Kedalaman air dengan Debit Pada Alat Ukur
Debit Ambang Lebar**
(I Made Sudiarsa)
- 31
**Analisa Teknis Jaringan Pipa
Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)**
(Studi Kasus: SPAM Puhu Desa Puhu Kecamatan Payangan)
(Putu Doddy Heka Ardana, I Wayan Suastika)
- 47
Pengaruh Pengisian Pasir Terhadap Perubahan Garis Pantai Sanur
(I Wayan Pasir)

ANALISA TEKNIS JARINGAN PIPA SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM (SPAM) (STUDI KASUS: SPAM PUHU DESA PUHU KECAMATAN PAYANGAN)

Oleh:

Putu Doddy Heka Ardana¹, I Wayan Suastika²

ABSTRAK

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Puhu, memiliki arti penting dalam pelayanan pemenuhan kebutuhan air minum penduduk di wilayah Desa Puhu dan Desa Bukian, Kecamatan Payangan. Tingginya tingkat kehilangan air menyebabkan rendahnya kualitas dan cakupan pelayanan serta tidak meningkatnya efisiensi dalam pengelolaannya.

Untuk itu dilakukan analisa teknik terhadap jaringan pipa SPAM Puhu. Analisa teknik dengan pemodelan jaringan pipa menggunakan program Epanet, dimana simulasi dilakukan dengan metode uji-banding antara kondisi jaringan pipa "Normal" dan kondisi jaringan pipa "Bocor". Hasil simulasi tersebut dibuatkan grafik *Hydraulic Grade Line* (HGL), dan dianalisis dengan membandingkan data tekanan analisa dengan manometer. Perbedaan kedua garis HGL tersebut diidentifikasi sebagai ruas (*trace*) jaringan pipa berpotensi mengalami kebocoran. Hasil analisa dideteksi ruas jaringan pipa yang potensi mengalami kebocoran pada jaringan pipa Sektor Timur; L_{23} , L_{24} , L_{26} , L_{27} , L_{28} sebesar 1,33 Lt/dt (66,16%) dari besaran suplai 2,01 Lt/dt, dan Sektor Barat; L_{46} , L_{47} , L_{48} , L_{49} , L_{50} sebesar 1,83 Lt/dt (78,90%) dari besaran suplai 2,32 Lt/dt. Faktor utama penyebabnya adalah tekanan dihilir jaringan pipa melebihi tekanan kerja pipa (*working pressure*). Maka direncanakan peredaman tekanan dengan penempatan Bak Pelepas Tekanan di kedua sektor.

Kata Kunci: Tekanan air, Kuat tekan pipa (*working pressure*), *Hydraulic Grade Line*, Peredaman tekanan.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu isu strategis dan permasalahan dari pelayanan air minum saat ini adalah tingginya tingkat kehilangan air pada sistem perpipaan 10% s/d 50%. Hal ini menyebabkan rendahnya kualitas pelayanan dan in-efisiensi dalam operasionalnya.

SPAM Puhu awalnya merupakan bantuan Departemen PU Bidang Cipta Karya pada tahun

1992 yang pengelolaannya diserahkan kepada PDAM Kabupaten Gianyar. Merupakan sistem penyediaan air minum komunal terdiri atas sistem transmisi pemompaan, distribusi gravitasi dan *reservoir*. Laporan teknik PDAM Cabang Payangan menunjukkan tingkat kehilangan air mencapai 78,90% dari total suplai 4,85 L/dt.

Kehilangan air fisik berupa pipa bocor penanggulangannya cukup sulit dan membutuhkan biaya besar. Diperlukan

¹ Pengajar pada PS Teknik Sipil UNR

² Alumni PS Teknik Sipil UNR

perencanaan dan kerangka utama (*backbone*) sebagai basis data dalam usaha pendeteksian kebocoran pipa dan pencegahannya. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap jaringan pipa SPAM Puhu Payangan dengan harapan dapat diketahui penyebab kebocoran dan pencegahannya.

1.2 Permasalahan dan Tujuan Penelitian

Untuk itu perlu adanya rancangan *gradiend* hidrolis jaringan pipa sebagai data dalam pendeteksian kehilangan air fisik dan penanggulangannya. Maka dapat ditarik suatu permasalahan yakni apakah penyebab terjadinya kehilangan air yang cukup tinggi pada SPAM Puhu.

Tujuan penelitian untuk mengetahui ruas jaringan pipa yang mengalami kebocoran dan bermanfaat dalam usaha penurunan kehilangan air pada jaringan pipa.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penyediaan Air Minum

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan satu kesatuan sistem fisik (teknik) dan non fisik dari prasarana dan sarana air minum. SPAM sederhana meliputi sistem sumber air berupa bak penangkap air (*broncaptering*), sistem transmisi untuk mengalirkan air dari sumber ke bak penampungan (*reservoir*), dan sistem distribusi (*branch and loop sistem*) untuk menyalurkan air ke pelanggan. Sistem yang digunakan gravitasi atau pemompaan.

2.2 Produksi dan Konsumsi Air

Kapasitas produksi (*supply*) adalah kemampuan sumber air untuk menghasilkan air minum yang dipengaruhi oleh jam operasi dan kapasitas pompa.

Konsumsi atau kebutuhan air penduduk (*demand*) pada suatu daerah tidaklah konstan

dan akan selalu mengalami fluktuasi. Kebutuhan air penduduk dikelompokkan menjadi dua, kebutuhan air rata-rata (liter/hr/jw) dan kebutuhan jam puncak (KJP) dengan nilai koefisien 1,70 s/d 2,0 x kebutuhan air rata-rata penduduk.

2.3 Kehilangan Air

Kehilangan air juga disebut *Non Revenue Water* (NRW) adalah perbedaan antara volume air yang didistribusikan dengan volume air yang dikonsumsi yang tercatat dikalikan 100%.

2.4 Hidraulika Pada Sistem Pipa

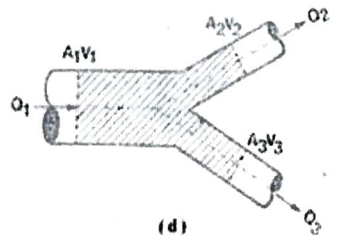
a. Kekekalan Massa (Kontinuitas)

Aliran air dalam pipa terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakan pompa. Aliran air dalam jaringan pipa memiliki bentuk energi kinetik (*flow*), energi tekanan (*pressure*) dan energi potensial (*heigh*).

Prinsip kekekalan massa (kontinuitas) adalah jumlah air yang masuk dalam suatu sistem pemipaan adalah sama dengan jumlah air yang keluar. Air yang mengalir sepanjang pipa dengan luas penampang A m² dan kecepatan v m/dt memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

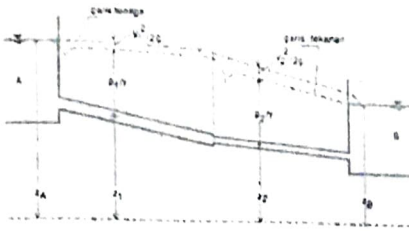
$$A_1 V_1 = (A_2 V_2) + (A_3 V_3) \quad (2.1)$$



Gambar 2.1 Pipa Cabang

b. Kekakuan Energi

Sesuai prinsip Bernoulli, tinggi tenaga total disetiap titik (node) pada saluran pipa adalah dari tinggi elevasi (*h*), tinggi tekanan (*P*) dan tinggi kecepatan (*v*). Garis tenaga selalu menurun secara teratur ke arah aliran yang digambarkan diatas tampak memanjang pipa (*ground level*) seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Garis Tenaga dan Tekanan

c. Kehilangan Energi (Head Loss)

Kehilangan energi (*head loss*) pada aliran didalam pipa tersebut terdiri dari kehilangan *major* akibat kekasaran dinding pipa dan kehilangan *minor* akibat perubahan bentuk pipa.

Kehilangan tenaga *major* secara matematis menggunakan persamaan seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1

Persamaan Kehilangan Tenaga Mayor

Formulas	Resistance Coefficient (A)	Flow Exponen (B)
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f (\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2

Keterangan: C = Koefisien kekasaran Hazen-Williams
 ϵ = Koefisien kekasaran Darcy-Weisbach
f = friccion faktor (*dependen on* $\epsilon, d,$ and *q*)
n = Koefisien kekasaran Manning
d = Diameter pipa (ft, mm)
L = Panjang pipa (ft, mm)
q = Flow rates (cfs, lps)

Sumber: Epanet 2 User Manual, 2000

Kekasaran dinding pipa merupakan bilangan relatif terhadap diameter (dalam) pipa, semakin besar diameter pipa semakin pipa tersebut tampak relatif halus dan koefisien kehilangan energi akibat gesekan juga berkurang. Koefisien kekasaran dinding pipa sesuai tabel berikut ini.

Tabel 2.2

Koefisien Kekasaran Dinding Pipa

Material	Hazen-Williams (Unitless)	Darcy-Weisbach ϵ (feet x 10 ⁻⁴)	Mannings's <i>n</i> (Unitless)
Cast Iron	130 - 140	0.85	0.012 - 0.015
Concrete or Concrete Lined	120 - 140	1.0 - 10	0.012 - 0.017
Galvanized Iron	120	0.5	0.015 - 0.017
Plastic	140 - 150	0.005	0.011 - 0.015
Steel	140 - 150	0.15	0.015 - 0.017
Vitrified Clay	110		0.013 - 0.015

Sumber: Epanet 2 User Manual, 2009

Kehilangan tenaga minor adalah kehilangan tekanan pada accessories seperti pada sambungan (*reducer*) peralatan pipa lainnya (*bend, tee, dan valve*).

Tabel 2.5

Koefisien (K) Kehilangan Minor

Fitting	Loss Coefficient
Globe valve, fully open	10.0
Angle valve, fully open	5.0
Swing check valve, fully open	2.5
Gate valve, fully open	0.2
Short-radius elbow (θ 90°)	0.9
Medium-radius elbow (θ 60°)	0.8
Long-radius elbow (θ 15°)	0.6
45 degree elbow	0.4
Closed return bend	2.2
Standar tee - flow through run	0.6
Standar tee - through branch	1.8
Square entrance (Lubang Masuk)	0.5
Exit (keluar)	1.0

Sumber: Epanet User Manual, 2000

d. Tekanan (Pressure)

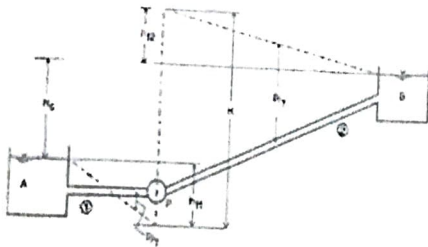
Tekanan adalah perbedaan atau selisih tekanan antara zat cair itu sendiri dengan tekanan udara luar, yang secara internasional disepakati sebesar 1 atmosfer atau 1 kg/cm². Tekanan air dalam pipa ada

dua yaitu; tekanan dinamis (*dynamic pressure*) adalah tekanan pada lapisan bidang dalam keadaan zat cair mengalir, dan tekanan statis (*static pressure*) adalah tekanan dalam keadaan zat cair tidak bergerak.

Tekanan air maksimum pada jaringan pipa distribusi umumnya dibatasi 60 meter kolom air dan tekanan minimum 0,6 meter kolom air.

2.5 Pompa Dalam Jaringan Pipa

Pompa air dapat meningkatkan energi air dengan memberikan energi pada air melewati baling-baling pompa (*impeller*). Jika pompa menaikkan zat cair dari sumber air ke reservoir dengan selisih elevasi muka air sebesar H_s , maka daya yang digunakan oleh pompa untuk menaikkan zat cair setinggi H_s adalah sama dengan tinggi H_s ditambah dengan kehilangan tenaga selama pengaliran dalam pipa tersebut. Kehilangan tenaga adalah ekuivalen dengan penambahan tinggi elevasi, sehingga efeknya sama dengan jika pompa menaikkan zat cair setinggi $H = H_s + h_f$

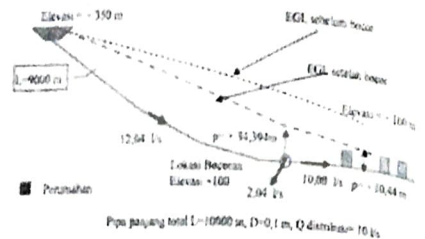


Gambar 2.3 Pipa Dengan Pompa

Pasangan antara pompa dengan motor penggeraknya biasanya sudah diuji di pabrik dan dibuat kurva kinerjanya (*Performance Curves*) yang merupakan pasangan satu kesatuan kinerja pompa.

2.6 Kebocoran Pada Jaringan Pipa

Kehilangan air di daerah distribusi (jika debit ke hilir tetap) dipengaruhi oleh debit bocor dan jarak antara reservoir dengan titik bocor. Debit kebocoran dipengaruhi oleh besar dan kecilnya lubang kebocoran serta sisa tekanan di lokasi tersebut.



Gambar 2.4 Skema jaringan dengan kebocoran di hilir

Semakin “dekat” lokasi kebocoran dengan reservoir, sehingga semakin dekat pipa yang dilalui oleh aliran sebelum terjadi kebocoran, maka efek akibat kebocoran semakin kecil. Tetapi semakin “jauh” lokasi kebocoran dari reservoir (atau semakin mendekati daerah distribusi) semakin besar pengaruh kebocoran tersebut dalam penurunan sisa tekanan di daerah distribusi (Triatmaja, 2009).

3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan melalui survey ke daerah pelayanan SPAM Puhu dan kantor PDAM Cabang Payangan. Secara umum data dikelompokkan atas 2 bagian utama yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer merupakan hasil pengamatan langsung ke lokasi dengan melakukan pengukuran elevasi (menggunakan GPS), panjang pipa, *tapping* pelanggan dan debit. Data sekunder berupa; jumlah penduduk, konsumsi pelanggan, produksi tahunan, biaya dan pendapatan.

Data tersebut disusun dan diolah sesuai kebutuhan serta di masukan kedalam *input editor* program Epanet untuk dilakukan beberapa simulasi. Data *output* berupa hidrolis pipa selanjutnya dianalisis.

4. PENGOLAHAN DATA

4.1 Jumlah Penduduk dan Cakupan Pelayanan

Jumlah penduduk daerah pelayanan SPAM Puhu sebanyak 8.458 Jiwa dan 1.631 Kepala Keluarga (KK), terdiri atas 2 desa dan 11 banjar. Jumlah penduduk tersebut terlayani akses air minum PDAM sebanyak 1.136 Jiwa dimana cakupan pelayanannya 14,12% dengan rasio 1 KK berpenduduk 5 jiwa. Adapun data jumlah penduduk dan prosentase pelayanan air minum sesuai tabel berikut ini.

Tabel 4.1
Penduduk dan Cakupan Pelayanan

No	Daerah Pelayanan	Jumlah Pend		Terlayani PDAM (Jiwa)	% Pelayn
		(Jiwa)	(KK)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)
I	Sektor Timur (I)				
1.1	Br. Carik, Puhu	588	103	126	21.36
1.2	Br. Kekek, Puhu	628	100	19	3.00
1.3	Br. Puhu, Puhu	576	105	44	7.62
1.4	Br. Subilang, Bukian	566	199	60	10.55
1.5	Br. Lebah A, Bukian	1.040	209	119	11.48
1.6	Br. Lebah B, Bukian	510	114	183	35.96
1.7	Br. Tyingan, Bukian	295	51	93	31.37
Jumlah dan Rerata I		4.203	881	643	17.34
II	Sektor Barat (I)				
2.1	Br. Pengiryanan, Puhu	1.080	181	274	25.41
2.2	Br. Selsih, Puhu	1.037	161	6	0.62
2.3	Br. Ponggang, Puhu	714	128	39	5.47
2.4	Br. Semaon, Puhu	1.424	280	173	12.14
Jumlah dan Rerata II		4.255	750	493	10.91
Total dan Rerata (I + II)		8.458	1.631	1136	14.12
Keterangan :					
(5) = (3) / (4)					
(6) = (5) x Jumlah pelanggan					
(7) = (6) / (3)					

Sumber: Kantor Desa Puhu dan Desa Bukian, 2009

4.2 Kapasitas Produksi (Supply)

Kapasitas produksi SPAM Puhu sebesar 4,85 Lt/dt dimana jumlah produksi air dalam

sebulan mencapai 12.603 m³ dengan Jam Operasional Pompa (JOP) sebulan rata-rata 716 jam.

Tabel 4.2
Kapasitas Produksi

No	Bulan (2009-2010)	Kapsitas (Lt/dt)	JOP (Jam)	Produksi (m ³)
(1)	(2)	(4)	(3)	(5)
1	Juli	5,13	695	13.299
2	Agustus	4,99	720	13.370
3	September	4,96	723	12.844
4	Oktober	4,66	707	12.478
5	Nopember	4,90	728	12.708
6	Desember	4,74	710	12.708
7	Januari	3,97	722	10.643
8	Pebruari	5,44	743	13.172
9	Maret	4,46	668	11.939
10	April	4,55	726	11.781
11	Mei	4,86	715	13.015
12	Juni	5,12	732	13.273
Jumlah		57,79	8.589	151.230
Rerata		4,85	716	12.603

Sumber: Laporan Produksi PDAM Cabang Payangan

Produksi air tersebut dibagi dua menurut zona (sektor) pelayanan. Suplai pelayanan daerah Sektor Timur (I) sebesar 2,70 Lt/dt (55,60 %) dan suplai daerah pelayanan Sektor Barat (II) sebesar 2,15 Lt/dt (44,32 %).

4.3 Konsumsi Pelanggan dan Kebutuhan Air Minum Penduduk (Demand)

Jumlah pelanggan 223 SR, dengan konsumsi air rata-rata pelanggan SPAM Puhu sebesar 2.900 m³/bulan atau 1,11 Lt/dt. Kebutuhan air rerata per pelanggan adalah 13m³/SR, dimana kebutuhan air penduduk dapat diproyeksikan sebesar 0,0010 Lt/dt/jiwa atau 100 liter/jiwa/hari.

Tabel 4.3
Kebutuhan Air Minum Penduduk

No	Daerah Pelayanan	Pend (Jiwa)	Kebutuhan Air (L/dt)	
			Rerata	Hr max
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
I SEKTOR TIMUR (I)				
1.1	Br Carik, Puhu	588	0.4116	0.4733
1.2	Br Kebek, Puhu	628	0.2512	0.2889
1.3	Br Puhu, Puhu	576	1.1520	1.3248
1.4	Br. Subilang, Bukian	566	0.5660	0.6509
1.5	Br Lebah A, Bukian	1.040	1.0400	1.1960
1.6	Br Lebah B, Bukian	510	0.4080	0.4692
1.7	Br Tutingan, Bukian	295	0.4720	0.5428
Jumlah I		4.203	4.3008	4.9459
II SEKTOR BARAT (II)				
1.1	Br Penginyahan, Puhu	1.080	1.0000	1.1500
1.2	Br Selasih, Puhu	1.037	0.7259	0.8348
1.3	Br Ponggang, Puhu	714	0.3570	0.4106
1.4	Br Semaon, Puhu	1.424	1.1392	1.3101
Jumlah II		4.255	3.2221	3.7054
Jumlah (I+ II)		8.458	7.5229	8.6513

Keterangan:
 (5) = $(L \cdot hr / jr \cdot w) \times (3)$
 (6) = $(5) \times (1,15 / 100)$

Sumber: Hasil pengolahan data

4.4 Jaringan Perpipaan

Jaringan pipa SPAM Puhu dikelompokkan menjadi 3, pipa transmisi (pompa), pipa distribusi Sektor Timur (gravitasi) dan pipa distribusi Sektor Barat (gabungan).

a. Jaringan Pipa Transmisi

Panjang total jaringan 1.321 m, menggunakan pipa GWI Ø 102 mm L 700 m dan pipa PVC Ø 102 mm L 621 m. Sistem transmisi memiliki selisih elevasi 96 m dari stasiun pompa ke reservoir.

b. Jaringan Pipa Distribusi Sektor Barat

Jaringan pipa distribusi Sektor Timur (I) berawal dari tapping pipa transmisi ke pipa distribusi Tee Flange Ø 102 mm x Ø 76 mm (N₂) sampai ke hilir daerah pelayanan Br. Tiyingan Desa Bukian, dengan total panjang pipa 8.303 meter dan 154 tapping pelanggan. Jaringan dilengkapi 10 buah katup dan 7 buah manometer.

Tabel 4.4

Data Jaringan Pipa Distribusi S. Timur

Titik / Node (N)	ID Pipa	Dia. Pipa (mm)	Bahan Pipa	Katup (V)	Manometer (P)	Selisih Elevasi (m)	Panjang Pipa (m)	Tapping Pelanggan (t)	
						P1			
N2							950	21	
N5	L4 ¹⁾	76	PVC	V1 ⁴⁾		37	284	2	
N7	L5 ¹⁾	76	PVC	V2 ¹⁾		-10	401	0	
N9	L6 ¹⁾	51	PVC	V3 ⁴⁾		9	360	3	
N10	L7 ¹⁾	76	PVC		P2 ²⁾	10	58	2	
N11	L8 ¹⁾	75	PVC			11	176	0	
N13	L9 ¹⁾	51	PVC	V4 ⁴⁾		0	900	0	
N14	L10 ¹⁾	51	PVC		P3 ⁷⁾	29	347	0	
N15	L11 ¹⁾	51	PVC		P4	3	533	10	
N16	L12 ¹⁾	51	PVC			17	197	0	
N17	L13 ¹⁾	51	PVC			1	661	10	
N19	L14 ¹⁾	51	PVC	V5 ⁴⁾	P5	20	149	5	
N20	L15 ¹⁾	25	PVC			0	358	0	
N22	L16 ¹⁾	102	PVC	V6 ⁴⁾		1	110	0	
N23	L17 ¹⁾	51	PVC			8	100	3	
N24	L18 ¹⁾	25	PVC		P6	-10	254	0	
N25	L19 ¹⁾	51	PVC			-9	288	5	
N26	L20 ¹⁾	51	PVC			10	235	11	
N28	L21 ¹⁾	51	PVC	V7 ⁴⁾	P7	9	200	5	
N29	L22 ¹⁾	38	PVC			-3	324	19	
N30	L23 ¹⁾	102	PVC			11	309	0	
N31	L24 ¹⁾	102	PVC			6	78	17	
N33	L25 ¹⁾	102	PVC	V8 ⁴⁾	P8	-8	359	15	
N34	L26 ¹⁾	102	PVC			13	221	7	
N36	L27 ¹⁾	102	PVC	V9 ⁴⁾		8	551	17	
N38	L28 ¹⁾	102	PVC	V10 ⁴⁾	P9	20			
Jumlah						10	9	156	8403

Keterangan:
 1) Pipa utama
 2) Pipa cabang
 3) Pipa non ops
 4) Katup ditutup
 5) Katup dibuka penuh
 6) Katup diatur
 7) Portable manometer

Sumber: hasil survey

c. Jaringan Pipa Distribusi Sektor Barat

Jaringan pipa distribusi Sektor Barat (II) membentang dari reservoir distribusi sampai ke ujung Selatan pipa daerah pelayanan Br. Subilang Desa Puhu dengan panjang pipa keseluruhannya 6.150 meter. Jaringan pipa ini memiliki diameter pipa bervariasi, dari PVC Ø 102 mm sampai dengan PVC Ø 51 mm dengan susunan diameter pipa teratur. Selisih elevasi pelayanan dari hulu (R₁) ke hilir ujung pipa pelayanan (N₇₁) sebesar 183 meter. Adapun data hasil pengukuran jaringan pipa transmisi Sektor Barat (II) selengkapnya sesuai tabel berikut ini.

Tabel 4.5
Data Jaringan Pipa Distribusi S. Barat

Titik/ Node	ID Pipa	Dia. Pipa (mm)	Bahan Pipa	Katup	Mano- meter	Selisih Elevasi (m)	Panjang Pipa (m)	Tutupan Pelang. (SR)		
R1										
N40	L20 ¹⁾	102	PVC			0	60	0		
N41	L30 ¹⁾	102	PVC			11	227	0		
N46	L3 ¹⁾	102	PVC			9	241	0		
N43	L3 ²⁾	51	PVC	V12 ⁵⁾		10	401	0		
N44	L33 ³⁾	51	PVC			3	135	1		
N45	L34 ³⁾	51	PVC		P10	7	150	6		
N43	L35 ³⁾	51	PVC			0	192	2		
N47	L36 ³⁾	102	PVC			4	124	3		
N49	L37 ³⁾	102	PVC	V13 ⁵⁾		17	401	0		
N51	L38 ³⁾	76	PVC	V14 ⁵⁾		-1	437	0		
N52	L39 ³⁾	76	PVC		P11 ⁷⁾	15	585	15		
N54	L40 ³⁾	76	PVC	V15 ⁵⁾		32	2.200	1		
N55	L41 ³⁾	102	PVC		P12	2	85	0		
N56	L42 ³⁾	102	PVC			5	141	2		
N57	L43 ³⁾	51	PVC		P13 ⁷⁾	4	400	5		
N59	L44 ³⁾	102	PVC	V16 ⁴⁾	P14	34	1.000	5		
N60	L45 ³⁾	102	PVC			5	159	6		
N62	L46 ³⁾	102	PVC	V17 ⁵⁾	P15	16	510	2		
N64	L47 ³⁾	102	PVC	V18 ⁵⁾		16	663	6		
N66	L48 ³⁾	102	PVC	V19 ⁵⁾		26	227	2		
N68	L49 ³⁾	102	PVC	V20 ⁵⁾		14	707	19		
N70	L50 ³⁾	102	PVC	V21 ⁶⁾		24	995	18		
Jumlah						10	6	183	10.040	93

Keterangan:
 1) Pipa utama 4) Katup ditutup 7) Portable manometr
 2) Pipa cabang 5) Katup dibuka penuh
 3) Pipa non ops 6) Katup diatur

Sumber: hasil survey

No	Daerah Pelayanan	Kuantitas			Tekanan Air Max		
		Q _{d1} (Lt/dt)	Q _{d2} (Lt/dt)	+/- Q (Lt/dt)	P _T (Bar)	P _{su} (Bar)	Ket
A Pelayanan Sektor Timur (I)							
1	Br. Carik, Ds. Puhu	0.0725	0.4116	-0.3391	0.5	0.1	=
2	Br. Kebek, Ds. Puhu	0.0058	0.2512	-0.2454	6.1	5.1	=
3	Br. Puhu, Ds. Puhu	0.0791	1.1520	-1.0729	6.4	5.3	=
4	Br. Subdang, Ds. Bukan	0.1061	0.5660	-0.4599	11.1	4.1	>
5	Br. Lebah A, Ds. Bukan	0.1157	1.0400	-0.9243	14.1	4.4	>
6	Br. Lebah B, Ds. Bukan	0.1678	0.4080	-0.2402	15.1	6.7	>
7	Br. Tyngan, Desa Bukan	0.1289	0.4720	-0.3431	18.2	6.1	>
Jumlah		0.6759	4.3008	-3.6249			
B Pelayanan Sektor Barat (II)							
8	Br. Penganyahan, Ds. Puhu	0.2890	1.0000	-0.7110	2.9	2.8	=
9	Br. Selasih, Ds. Puhu	0.0035	0.7259	-0.7224	5.7	5.4	=
10	Br. Ponggang, Ds. Puhu	0.0170	0.3570	-0.3400	8.4	3.5	>
11	Br. Semaon, Ds. Puhu	0.1335	1.1392	-1.0057	18.5	4.2	>
Jumlah		0.4430	0.8055	-2.78			
Jumlah Total (A+B)		1.1189	5.1063	-3.99			

Sumber: hasil analisa

5.2 Kinerja Pompa dan Pipa Transmisi

Untuk mengetahui tingkat kinerja pompa existing SPAM Puhu, perlu diketahui kebutuhan head sistem. Kebutuhan head dihitung sebagai berikut.

Menentukan head pompa

Diketahui :

$$H_s = 96 \text{ m}$$

$$L_1 = 700 \text{ m}, \quad D_1 = 0,102 \text{ m}, \quad Chw 110$$

$$C_{HW} = 110, \quad CV = 1 \text{ bh.}$$

$$L_2 = 561 \text{ m}, \quad D_2 = 0,102 \text{ m}, \quad Chw 130$$

$$C_{HW} = 130, \quad FM = 1 \text{ bh.}$$

$$L_3 = 60 \text{ m}, \quad D_3 = 0,102 \text{ m}, \quad Chw 130$$

$$C_{HW} = 130, \quad Bend 90^\circ = 3 \text{ bh.}$$

$$Q_p = 4,5 \text{ Lt/dt (16,2 m}^3/\text{jam).}$$

Kehilangan energi mayor pada pipa L₁

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} * 3,14 * 0,102^2$$

$$= 0,008171$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0045 \text{ m}^3/\text{dt}}{0,008171 \text{ m}^2} = 0,55 \text{ m/dtk}$$

$$h_{f1} = \left(\frac{\pi}{4(0.2785)} \right)^{1,85} \frac{L}{D^{1.17}} \left(\frac{V}{C_{HW}} \right)^{1,85}$$

$$h_{f1} = \left(\frac{3,14}{4(0,2785)} \right)^{1,85} \times \frac{700}{0,069} \times \left(\frac{0,55}{110} \right)^{1,85}$$

$$h_{f1} = 6,8075 \times 10116,63 \times 0,0000554791$$

$$h_{f1} = 3,82 \text{ m}$$

Kehilangan energi mayor pada pipa L₂ dan L₃ sesuai persamaan diatas

$$h_{f2} = 2,25 \text{ m}$$

$$h_{f3} = 0,24 \text{ m}$$

$$h_{Lf} = 3,82 + 2,25 + 0,24 = 6,31 \text{ m}$$

Kehilangan energi minor pada pipa L₁, L₂ dan L₃

$$h_{Lm1} = \text{Control Valve } (K) : 2,5 \times 1 = 2,5 \text{ m}$$

$$h_{Lm2} = \text{Flow Meter } (K) : 2,4 \times 1 = 2,4 \text{ m}$$

$$h_{Lm3} = \text{Bend } 90^\circ \text{ } (K) : 0,9 \times 3 = 2,7 \text{ m}$$

$$h_{Lm} = 7,6 \text{ m}$$

Dimana :

$$H_F = H_S - h_{L_F} - h_{L_{M}}$$

$$H_F = 96 - 6,31 - 7,6$$

$$H_F = 109,91 \text{ m} = 110 \text{ m}$$

Maka untuk mengalirkan air sebesar 4,5 Lt/dt pada jaringan pipa transmisi dibutuhkan head sebesar 110 m. Dengan menggunakan kurva performa pompa SP 16, tipe pompa yang sesuai adalah SP 16-16/7,5 kW. Tipe pompa ini mampu mengalirkan debit optimum 4,8 Lt/dt pada ketinggian (H) maksimum 160 m. Jadi pompa SPAM Puhu yang digunakan saat ini sudah memenuhi syarat teknik.

5.3 Hidrolis Jaringan Pipa

Pemodelan jaringan dengan program Epanet dilakukan pada kondisi jaringan pipa "normal" dan "bocor" dikedua sektor.

5.3.1 Jaringan Pipa Distribusi Sektor Timur (I)

Pada kondisi jaringan pipa "normal", dimana Q_s sebesar 1,16 Lt/dt dan Q_d sebesar 0,6850 Lt/dt. Tekanan air pada jaringan pipa distribusi

Sektor Timur (I) dihilir pelayanan (N₃₈) mencapai 16,4 bar dan dihilir pelayanan (N₂) hanya 0,4 bar. Awal tekanan yang tidak memenuhi syarat pada titik N₁₆ pipa L₁₂ sebesar 11,1 bar. Tekanan air mutlak (P_a) dihilir pelayanan (N₃₈) 3,3 bar, maka terdapat penurunan tekanan sebesar 13,1 bar atau 79,87 % dari tekanan teoritis. Hasil simulasi selengkapnya sesuai tabel 5.2.

Besarnya perbedaan tekanan teoritis (P_T) dengan tekanan mutlak (P_M), maka trial-error kebocoran dilakukan dari hilir ke hulu pipa. Simulasi jaringan pipa "bocor" Sektor Timur (I) dihitung dari prosentase x debit kebutuhan (Q_d) 0,6850 Lt/dt, maka estimasi debit kebocoran (Q_b) pipa Sektor Timur sebesar 1,3325 Lt/dt. Hasil simulasi ini menunjukkan kecocokan dengan tekanan hasil monitoring. Adapun hasil simulasinya sesuai tabel 5.3.

Tabel 5.2

Tekanan Air Pada Jaringan Pipa "Normal" Sektor Timur (I)

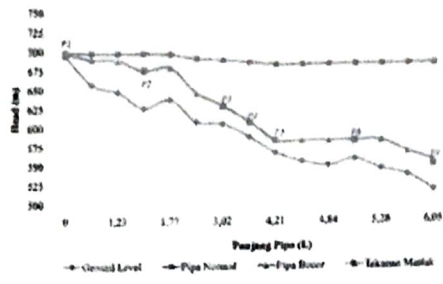
Node (N)	Pipa (L)	Valve (V)	Mass meter (P _m)	Tapping (S)	Extinction Bocor (%)	Demand (L/dt)			Pressure (Bar)											
						Demand (Q _d)	Bocor (Q _b)	Base Demand (Q _{es})	Juni (Midi)											
									06.00	11.00	17.00	23.00								
N2	L2 ¹	P1	0	0					0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2				
N4	L4 ²	V1 ¹	P1	21	0	0,0050	0,0000	0,0050	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2				
N7	L5 ³	V2 ¹		3	0	0,0150	0,0000	0,0150	4,9		5,1		5,0		5,2					
N9	L6 ⁴	V3 ¹		0	0				5,8		6,0		5,9		6,1					
N10	L7 ⁵			3	0	0,0150	0,0000	0,0150	5,9		6,1		5,9		6,1					
N11	L8 ⁶	P2	2	0	0,0100	0,0000	0,0100	4,1	5,0	6,3	5,2	6,1	5,2	6,2	5,3					
N13	L9 ⁷	V4 ¹		0	0				5,0		6,0		6,2		6,1					
N14	L10 ⁸			0	0				8,1		8,7		8,3		9,1					
N15	L11 ⁹	P3	0	0					8,2	2,3	8,9	3,8	8,5	3,4	9,4	4,4				
N16	L12 ¹⁰	P4	10	0	0,0050	0,0000	0,0050	9,6	1,9	10,5	3,9	9,9	3,2	11,1	4,2					
N17	L13 ¹¹	V5 ¹	P5	1	0	0,0050	0,0000	0,0050	9,7	1,6	10,6	4,0	10,0	3,3	11,2	4,4				
N19	L14 ¹²	V6 ¹		10	0	0,0050	0,0000	0,0050	11,4		12,5		11,7		13,2					
N20	L15 ¹³			5	0	0,0250	0,0000	0,0250	11,4		12,6		11,7		13,2					
N22	L16 ¹⁴			0	0				11,5		12,6		11,8		13,3					
N23	L17 ¹⁵			0	0				11,5		12,4		11,9		13,1					
N24	L18 ¹⁶	P6	3	0	0,0150	0,0000	0,0150	11,3	1,30	12,4	1,9	11,6	3,2	13,1	4,3					
N25	L19 ¹⁷			0	0				11,5		12,5		11,7		13,2					
N26	L20 ¹⁸			5	0	0,0250	0,0000	0,0250	12,4		13,5		12,7		14,2					
N28	L21 ¹⁹	V7 ¹	P7	11	0	0,0050	0,0000	0,0050	13,3	3,9	14,4	6,2	13,6	5,5	15,1	6,7				
N29	L22 ²⁰			5	0	0,0250	0,0000	0,0250	13,0		14,1		13,3		14,7					
N30	L23 ²¹			19	0	0,0050	0,0000	0,0050	12,5		13,6		12,8		14,3					
N31	L24 ²²	V8 ¹		0	0				13,1		14,2		13,4		14,9					
N33	L25 ²³	P8	0	0					12,3	2,4	13,4	4,8	12,6	4,1	14,1	5,2				
N34	L26 ²⁴	V9 ¹		15	0	0,0050	0,0000	0,0050	13,6		14,7		14,7		15,4					
N36	L27 ²⁵	V10 ¹		7	0	0,0050	0,0000	0,0050	14,4		15,5		15,0		16,2					
N38	L28 ²⁶	V11 ¹	P9	17	0	0,0050	0,0000	0,0050	16,4	3,3	17,5	5,7	16,7	6,6	18,2	7,7				
Jumlah				9	137	0	0,6850	0,0000	0,6850											

Sumber: Hasil simulasi Epanet 2

- Keterangan:
 1) Pipa transmisi distribusi
 2) Pipa utama distribusi
 3) Pipa cabang distribusi
 4) Pipa ditutup karena tidak ada pelanggan
 5) Katup ditutup
 6) Katup dibuka
 7) Katup dasar
 8) Portable manometer

Tabel 5.3
Tekanan Air Pada Jaringan Pipa "Bocor"
Sektor Timur (I)

Node (No)	Diameter (mm)	Kecepatan (m/dt)	Tinggi (m)	Kedalaman (m)	Demam (L/dt)			Tekanan (Bar)																																																																																																			
					Normal	Bocor	Rata	Jam (Waktu)																																																																																																			
								06.00				11.00				17.00				23.00																																																																																							
N2	1.2 ⁰		P1	0	0			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₅	P ₂₆	P ₂₇	P ₂₈	P ₂₉	P ₃₀	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₃₅	P ₃₆	P ₃₇	P ₃₈	P ₃₉	P ₄₀	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₄₅	P ₄₆	P ₄₇	P ₄₈	P ₄₉	P ₅₀	P ₅₁	P ₅₂	P ₅₃	P ₅₄	P ₅₅	P ₅₆	P ₅₇	P ₅₈	P ₅₉	P ₆₀	P ₆₁	P ₆₂	P ₆₃	P ₆₄	P ₆₅	P ₆₆	P ₆₇	P ₆₈	P ₆₉	P ₇₀	P ₇₁	P ₇₂	P ₇₃	P ₇₄	P ₇₅	P ₇₆	P ₇₇	P ₇₈	P ₇₉	P ₈₀	P ₈₁	P ₈₂	P ₈₃	P ₈₄	P ₈₅	P ₈₆	P ₈₇	P ₈₈	P ₈₉	P ₉₀	P ₉₁	P ₉₂	P ₉₃	P ₉₄	P ₉₅	P ₉₆	P ₉₇	P ₉₈	P ₉₉	P ₁₀₀



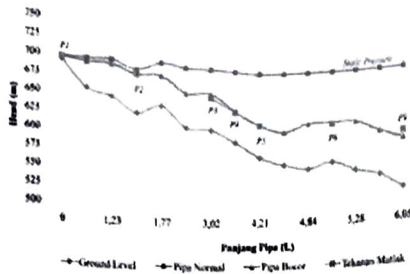
Gambar 5.1 Grafik *Hidraulic Grade Line* Jaringan Pipa Sektor Timur (I) Pada Jam Puncak

Hasil simulasi pipa "bocor" jam puncak (06.00), pipa di hulu menunjukkan debit (Q) 2,16 Lt/dt, kecepatan (V) 0,26 m/dt, dan tekanan (P_1) 0,2 bar, jadi selisih tekanan antara P_T dan P_M di hulu jaringan pipa P_1 sebesar 0,1 bar. Tekanan di ujung jaringan pipa N_{38} sebesar 3,8 bar dan tekanan manometer 3,3 bar, jadi selisih tekanan antara P_T dan P_M di hilir pipa P_9 sebesar 0,5 bar, selisih dengan tekanan pipa "normal" sebesar 12,6 bar. Maka estimasi simulasi kebocoran pipa pada jam puncak di titik N_{38} , N_{36} , N_{34} dan N_{31} menunjukkan tekanan jaringan pipa P_T dan P_M hampir sama dan simulasi sukses. Untuk lebih jelasnya tekanan pipa "bocor" pada jam puncak hasil simulasi Epanet sesuai gambar grafik *Hidraulic Grade Line* (HGL) berikut ini.

Pada simulasi jam malam minimum (23.00), pipa jaringan Sektor Timur di hulu menunjukkan debit (Q) 2,72 Lt/dt, kecepatan (V) 0,33 m/dt, dan tekanan P_1 adalah 0,3 bar dan tekanan manometer 0,2 bar. Jadi selisih tekanan teoritis (P_T) pada hulu pipa N_2 dengan tekanan mutlak (P_M) sebesar 1 bar. Tekanan teoritis P_9 di hilir pipa N_{38} sebesar 6,7 bar dan tekanan mutlaknya 7,7 bar, terdapat selisih hanya 1 bar. Maka simulasi estimasi kebocoran pipa pada jam malam minimum di titik N_{38} , N_{36} , N_{34} dan N_{31} menunjukkan tekanan P_T dan P_M hampir sama, dan simulasi sukses.

Pada jam malam minimum semestinya tekanan mutlak (P_M) pada titik N_{38} menunjukkan tekanan statik (*static pressure*), penurunan tekanan akibat adanya pipa bocor. Untuk lebih jelasnya tekanan pipa "bocor" pada jam malam minimum hasil simulasi Epanet sesuai gambar grafik *Hidraulic Grade Line* (HGL) berikut ini.

Sumber Hasil simulasi Epanet 2



Gambar 5.2
Grafik Hidraulic Grade Line
Jaringan Pipa Sektor Timur (I) Pada Jam
Malam Minimum

5.3.2 Jaringan Pipa Distribusi Sektor Barat (II)

Pada kondisi jaringan pipa "normal", dimana besaran suplai Q_s sebesar 3,71 Lt/dt dan Q_d sebesar 0,4950 Lt/dt. Tekanan air pada jaringan pipa distribusi Sektor Barat (II) dihilir pelayanan (N_{70}) mencapai 18,5 bar dan dihilir pelayanan (N_{40}) hanya 0,17 bar. Awal tekanan yang tidak memenuhi syarat pada titik N_{26} pipa L_{46} sebesar 10,5 bar. Tekanan air mutlak (P_{17}) dihilir pelayanan (N_{70}) 4,2 bar, maka terdapat penurunan tekanan sebesar 14,3 bar atau 77,29 % dari tekanan teoritis. Hasil simulasi jaringan pipa "normal" selengkapnya sesuai tabel 5.4.

Besarnya perbedaan tekanan teoritis (P_T) dengan tekanan mutlak (P_M), maka trial-error kebocoran dilakukan dari hilir ke hulu pipa. Simulasi jaringan pipa "bocor" Sektor Barat (II) dihitung dari prosentase x debit kebutuhan (Q_d), maka estimasi debit kebocoran (Q_b) pipa Sektor Barat (II) sebesar 1,8300 Lt/dt. Hasil simulasi ini menunjukkan kesamaan dengan tekanan manometer hasil monitoring. Adapun hasil simulasinya sesuai tabel 5.5.

Tabel 5.4
Tekanan Air Pada Jaringan Pipa "Normal"
Sektor Barat (II)

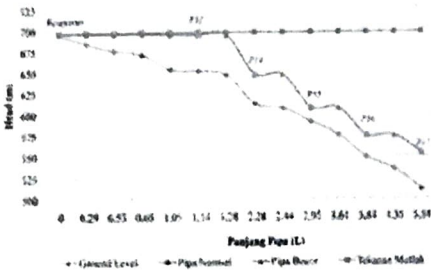
Node (N)	Pipa (L)	Valve (V)	Manometer (Pa)	Fapping (SB)	Estimasi Bocor (%)	Demand (Lit/dt)			Pressure (Bar)								
						Demand (Q_d)	Bocor (Q_b)	Bare Demand (Q_{db})	Jam (Wkt)								
									06.00	11.00	17.00	23.00	06.00	11.00	17.00	23.00	
N3	L2 ¹			6	0	0,000	0,000	0,000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
N40	L29 ²			0	0				1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
N41	L30 ²			0	0				2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
N46	L31 ²			0	0				2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
N43	L32 ²	V12 ³		1	0	0,050	0,000	0,050	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
N44	L33 ²			1	0	0,050	0,000	0,050	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
N45	L34 ²		P10	6	0	0,000	0,000	0,000	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
N43	L35 ²			2	0	0,010	0,000	0,010	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
N47	L36 ²			3	0	0,015	0,000	0,015	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
N49	L37 ²	V13 ³		0	0				4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
N51	L38 ²	V14 ³		0	0				4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
N51	L38 ²	V14 ³		16	0	0,000	0,000	0,000	5,7	5,4	5,7	5,5	5,7	5,5	5,7	5,5	5,7
N52	L39 ²		P11 ³	16	0				8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
N54	L40 ²	V15 ³		0	0				4,5	4,3	4,3	4,0	4,3	4,3	4,0	4,3	4,3
N55	L41 ²		P12	0	0	0,010	0,000	0,010	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
N56	L42 ²		2	0	0,010	0,000	0,010	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
N57	L43 ²		P13 ³	5	0	0,025	0,000	0,025	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
N59	L44 ²	V16 ³	P14	5	0	0,030	0,000	0,030	4,4	3,4	4,4	3,5	4,4	3,5	4,4	3,5	4,4
N60	L45 ²		6	0	0,030	0,000	0,030	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
N62	L46 ²	V17 ³	P15	2	0	0,010	0,000	0,010	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
N64	L47 ²	V18 ³	6	0	0,010	0,000	0,010	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
N66	L48 ²	V19 ³	P16	2	0	0,010	0,000	0,010	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
N68	L49 ²	V20 ³	19	0	0,050	0,000	0,050	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
N70	L50 ²	V21 ³	P17	18	0	0,050	0,000	0,050	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Jumlah	8	99				0,4950	1,8300	0,4950									

Tabel 5.5
Tekanan Air Pada Jaringan Pipa "Normal"
Sektor Barat (II)

Node (N)	Pipa (L)	Valve (V)	Manometer (Pa)	Fapping (SB)	Estimasi Bocor (%)	Demand (Lit/dt)			Pressure (Bar)								
						Demand (Q_d)	Bocor (Q_b)	Bare Demand (Q_{db})	Jam (Wkt)								
									06.00	11.00	17.00	23.00	06.00	11.00	17.00	23.00	
N3	L2 ¹			6	0	0,000	0,000	0,000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
N40	L29 ²			0	0				1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
N41	L30 ²			0	0				1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
N46	L31 ²			0	0				1,1	2,0	2,0	2,0	1,9				
N43	L32 ²	V12 ³		1	0	0,050	0,000	0,050	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
N44	L33 ²			1	0	0,050	0,000	0,050	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8
N45	L34 ²		P10	6	0	0,050	0,000	0,050	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
N43	L35 ²			2	0	0,010	0,000	0,010	2,4	2,5	2,5	2,5	2,4				
N47	L36 ²			3	0	0,015	0,000	0,015	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
N49	L37 ²	V13 ³		0	0				4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
N51	L38 ²	V14 ³		0	0				8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
N51	L38 ²	V14 ³		16	0	0,000	0,000	0,000	5,5	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4
N52	L39 ²		P11 ³	16	0				4,3	4,3	4,3	4,0	4,3	4,3	4,0	4,3	4,3
N54	L40 ²	V15 ³		0	0				4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
N55	L41 ²		P12	2	0	0,010	0,000	0,010	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
N56	L42 ²		2	0	0,010	0,000	0,010	3,5	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
N57	L43 ²		P13 ³	5	0	0,025	0,000	0,025	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
N59	L44 ²	V16 ³	P14	5	0	0,030	0,000	0,030	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7
N60	L45 ²		6	0	0,030	0,000	0,030	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
N62	L46 ²	V17 ³	P15	2	1000	0,010	0,100	0,120	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5
N64	L47 ²	V18 ³	6	500	0,030	0,100	0,200	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
N66	L48 ²	V19 ³	P16	2	1000	0,010	0,100	0,120	4,2	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3
N68	L49 ²	V20 ³	19	600	0,050	0,650	0,700	4,2	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2
N70	L50 ²	V21 ³	P17	18	750	0,050	0,750	0,850	4,2	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3
Jumlah	10	8	99			0,4950	1,8300	2,2250									

Hasil simulasi jam puncak (06.00) pada hulu jaringan pipa L_{29} menunjukkan debit (Q) 2,17 Lt/dt, kecepatan (V) 0,27 m/dt, dan tekanan P_{10} adalah 2,8 bar dan tekanan mutlak 2,7 bar. Maka selisih tekanan antara P_T dan P_M sebesar 0,1 bar. Tekanan di hilir pipa N_{70} sebesar 4,2 bar dan tekanan mutaknya 4,2 bar, jadi tidak ada selisih tekanan antara P_T dan P_M di hilir pipa L_{50} .

Maka simulasi estimasi kebocoran pada jam puncak di titik N_{70} , N_{68} , N_{66} , N_{62} dan N_{60} sebesar 1,8300 Lt/dt, dimana hasil simulasi menunjukkan tekanan jaringan pipa P_T dan P_M hampir sama dan simulasi sukses. Untuk lebih jelasnya sesuai gambar grafik *Hidraulic Grade Line* (HGL) berikut ini.



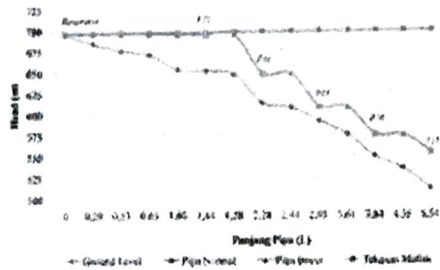
Gambar 5.3

Grafik *Hidraulic Grade Line* Jaringan Pipa Sektor Barat (II) Pada Jam Puncak

Hasil simulasi jam malam minimum (23.00) pada hulu jaringan pipa L_{29} Sektor Barat menunjukkan debit (Q) 2,77 Lt/dt, kecepatan (V) 0,34 m/dt, dan tekanan P_{10} adalah 2,7 bar dan tekanan mutlak 2,7 bar. Maka tidak ada selisih tekanan antara P_T dan P_M . Tekanan P_{17} di hilir pipa N_{70} sebesar 4,2 bar dan tekanan mutaknya 4,2 bar, jadi tidak ada selisih tekanan antara P_T dan P_M di hilir pipa L_{50} .

Maka simulasi estimasi kebocoran pada jam puncak di titik N_{70} , N_{68} , N_{66} , N_{62} dan N_{60} dimana hasil simulasi menunjukkan tekanan jaringan pipa P_T dan P_M hampir sama dan simulasi sukses.

Pada jam malam minimum semestinya tekanan mutlak (P_M) pada titik N_{70} menunjukkan tekanan statik (*static pressure*), penurunan tekanan akibat adanya pipa bocor. Untuk lebih jelasnya tekanan pipa “bocor” Sektor Barat pada jam malam minimum sesuai gambar grafik *Hidraulic Grade Line* (HGL) berikut ini.



Gambar 5.4 Grafik *Hidraulic Grade Line* Jaringan Pipa Sektor Barat (II) Pada Jam Malam Minimum

5.4 Kehilangan Air Pada Jaringan Pipa Distribusi

Dari hasil analisis dan simulasi Epanet tersebut diatas menunjukkan besaran sistem sebesar 4,87 Lt/dt pada kondisi pipa “Normal” dan 4,95 Lt/dt kondisi pipa “Bocor”. Dimana kebutuhan air pelanggan sebesar 1,18 Lt/dt dan kebutuhan air + kebocoran pipa menjadi sebesar 4,34 Lt/dt. Maka kebocoran air fisik (*physical loss*) pada jaringan pipa distribusi sebesar 3,77 Lt/dt. Kehilangan air hasil simulasi Epanet menunjukkan kesamaan dengan data kapasitas produksi (*Supply*), maka hasil simulasi pipa “Bocor” telah mendekati sesuai kondisi sistem jaringan di lapangan.

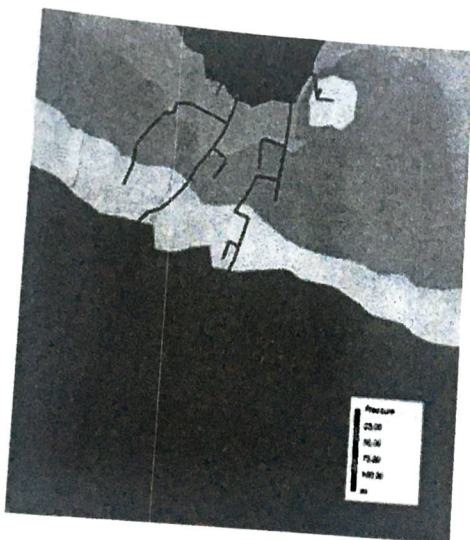
Tabel 5.6
Kehilangan Air Hasil Simulasi Program Epanet

Daerah Layanan SPAM Puhu	Supply (L/dt)		Demand (L/dt)		Kehilangan Air	
	Pipa Normal	Pipa Bocor	Pipa Normal	Pipa Bocor	(L/dt)	%
Sektor Timur (I)	1,16	2,78	0,6850	2,0175	2,10	75,36
Sektor Barat (II)	3,71	2,17	0,4950	2,3250	1,68	77,19
Jumlah	4,87	4,95	1,1800	4,3425	3,77	76,16

Sumber: Hasil analisis

5.5 Kuat Tekan Pipa Menahan Tekanan Air (*Working Pressure*)

Tingginya tekanan pada jaringan pipa karena kontur daerah pelayanan (*ground level*) dari hulu ke hilir jaringan pipa terdapat selisih elevasi setinggi 183 m tanpa dilengkapi dengan Bak Pelepas Tekanan (BPT). Besarnya selisih elevasi merupakan *head* atau *pressure* yang tersedia untuk pengaliran air pada sistem gravitasi.



Gambar 5.5 Kontur Daerah Pelayanan SPAM Puhu
(Sumber: hasil simulasi Epanet)

Sesuai pembahasan sebelumnya, hasil simulasi jaringan pipa "normal" Sektor Timur menunjukkan tekanan air maksimum (*static pressure*) mencapai 18,2 bar, dan pada jaringan pipa Sektor Barat mencapai 18,5 bar. Tekanan ini melebihi dari kemampuan kuat tekanan pipa *existing* (P_p) sebesar 10 bar. Jaringan pipa yang menerima tekanan melebihi tekanan kerja pipa (*working pressure*) merupakan salah satu penyebab utama pipa pecah. Adapun tekanan air yang tidak memenuhi syarat teknik seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 5.8
Data Tekanan Air Melebihi Tekanan Kerja Pipa

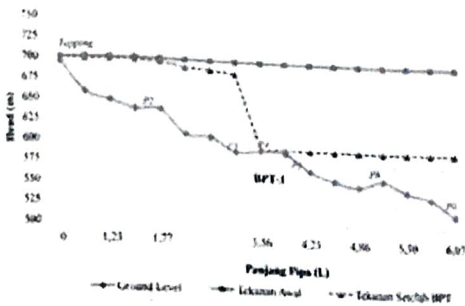
No	Node (N)	Jaringan Pipa Distribusi				Valve (V)	Tap (SR)	Max. Pressure (Bar)			Ket.
		ID	Panjang (L)	Dia (mm)	Jenis Pipa			P_r	P_s	P_w	
A. Sektor Timur											
1	N16	L12	197	51	S.12,5		1	11,2	10	1,20	Inspeksi
2	N19	L14	661	51	S.12,5	V6	10	13,2	10	3,20	Ganti
3	N20	L15	149	25	S.10		5	13,2	10	3,20	Inspeksi
4	N22	L16	358	102	S.12,5		0	13,3	10	3,30	Inspeksi
5	N23	L17	110	51	S.12,5		0	13,1	10	3,10	Inspeksi
6	N24	L18	100	25	S.10		3	13,1	10	3,10	Inspeksi
7	N25	L19	254	51	S.12,5		0	13,2	10	3,20	Inspeksi
8	N26	L20	288	51	S.12,5		5	14,2	10	4,20	Inspeksi
9	N28	L21	235	51	S.12,5	V7	11	15,1	10	5,10	Inspeksi
10	N29	L22	200	38	S.12,5		5	14,8	10	4,80	Inspeksi
11	N30	L23	324	102	S.12,5		19	14,3	10	4,30	Inspeksi
12	N31	L24	309	102	S.12,5	V8	0	14,9	10	4,90	Inspeksi
13	N33	L25	78	102	S.12,5		0	14,1	10	4,10	Inspeksi
14	N34	L26	359	102	S.12,5	V9	15	15,4	10	5,40	Inspeksi
15	N36	L27	221	102	S.12,5	V10	7	16,2	10	6,20	Inspeksi
16	N38	L28	551	102	S.12,5	V11	17	18,2	10	8,20	Ganti
Jumlah			4197				6	97			
B. Sektor Barat											
1	N62	L46	510	102	S.12,5	V17	2	10,5	10	0,50	Inspeksi
2	N64	L47	663	102	S.12,5	V18	6	12,1	10	2,10	Inspeksi
3	N66	L48	227	102	S.12,5	V19	2	14,7	10	4,70	Inspeksi
4	N68	L49	707	102	S.12,5	V20	19	16,1	10	6,10	Inspeksi
5	N70	L50	995	102	S.12,5	V21	18	18,5	10	8,50	Ganti
Jumlah			3102				5	47			

Sumber: Hasil simulasi Epanet dan analisis

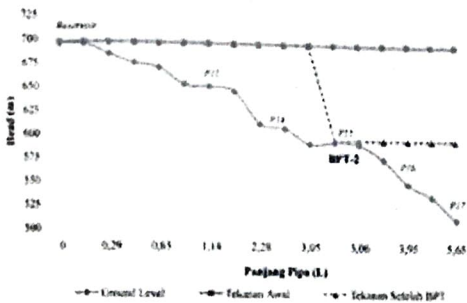
5.6 Peredaman Tekanan Air

Tekanan yang melebihi tekanan kerja pipa harus diturunkan (diredam), dengan cara pemasangan Bak Pelepas Tekanan (BPT-1) pada titik N₁₆ pada jaringan pipa Sektor Timur (I) dan dan BPT-2 pada titik N₆₂ pada jaringan pipa Sektor Barat (II).

Rancangan BPT dibuat $\frac{1}{2}$ dari ukuran reservoir *existing*. Volume yang direncanakan sebesar 22,50 m³ dengan ukuran P : 3m x L : 3m x T : 2,7m, dimana berfungsi selain sebagai Bak Pelepas Tekanan juga berfungsi sebagai reservoir penyeimbang. Hasil simulasi rancangan penempatan BPT menunjukkan tekanan maksimum di hilir jaringan pipa Sektor Timur sebesar 7,5 bar dan tekanan maksimum pada jaringan pipa Sektor Barat sebesar 8,4 bar. Adapun grafik *Hidraulic Grade Line* jaringan SPAM Puhu Sektor Timur dan Sektor Barat setelah pemasangan BPT sesuai gambar berikut ini.



Gambar 5.6 Grafik HGL Pipa Sektor Timur Setelah Pemasangan BPT (Sumber: hasil simulasi Epanet)



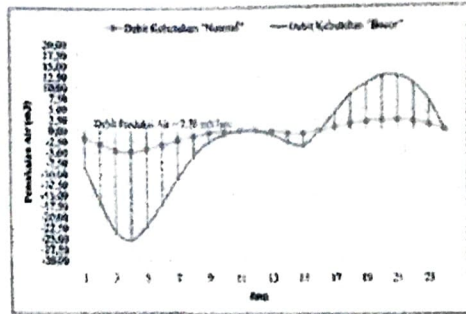
Gambar 5.7 Grafik HGL Pipa Sektor Barat Setelah Pemasangan BPT (Sumber: hasil simulasi Epanet)

Jadi sesuai gambar 5.6 dan gambar 5.7 grafik *Hidraulic Grade Line* menunjukkan

tekanan air pada jaringan dikedua sektor setelah pemasangan BPT dibawah tekanan kerja pipa dan secara teknik telah memenuhi syarat.

5.7 Fluktuasi Muka Air Reservoir

Fluktuasi muka air reservoir adalah untuk mengetahui kemampuan tampungan reservoir, terutama pada jam malam minimum. Perhitungan menggunakan debit suplai, debit konsumsi air pelanggan, dan debit kebocoran. Debit yang masuk ke reservoir (Q_s) sebesar 185,76 m³ atau rata-rata 7,76 m³/Jam. Debit kebutuhan "normal" (Q_{D1}) 58,40 m³/hari dan debit kebutuhan ditambah pipa "bocor" (Q_{D2}) sebesar 2,325 Lt/dt atau 200,88 m³/hari. Maka dapat dibuatkan grafik fluktuasi muka air reservoir dalam sehari sesuai perhitungan matematis sesuai gambar berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik Fluktuasi Muka Air Reservoir (Sumber: hasil perhitungan matematis)

Volume reservoir SPAM Puhu sebesar 40,38 m³, sesuai grafik diatas debit produksi Q_s membutuhkan volume reservoir 34,83 m³, debit kebutuhan "normal" Q_{D1} 10,95 m³, dan debit kebutuhan "bocor" Q_{D2} 37,67 m³. Maka volume reservoir SPAM Puhu saat ini mencukupi dan tidak terjadi *over-flow*. Dilihat dari sistem keseimbangan pengaliran (*balancing flow*), reservoir ini tergolong reservoir distribusi penampungan.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai bahwa dengan menggunakan metode *Hidraulic Grade Line* (HGL) dideteksi kehilangan air pada hilir jaringan pipa SPAM Puhu L_{23} , L_{24} , L_{26} , L_{27} , L_{28} (Sektor Timur) sebesar 1,33 Lt/dt (66,16%) dari besaran suplai 2,01 Lt/dt, dan L_{40} , L_{47} , L_{48} , L_{49} , L_{50} (Sektor Barat) sebesar 1,83 Lt/dt sebesar 1,83 Lt/dt (78,87%) dari besaran suplai 2,32 Lt/dt. Kebocoran pada pipa tersebut disebabkan tekanan air yang melebihi tekanan kerja pipa (*working pressure*) akibat kontur daerah pelayanan, dimana pencegahannya dengan memasang Bak Pelepas Tekanan (BPT) diantara hulu dan hilir jaringan pipa distribusi serta melakukan inspeksi pipa (lokalisir kebocoran dengan metode gali-urug) sepanjang 1.200 meter dan rehabilitasi pipa $\varnothing 4"$ sepanjang 1.212 meter.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, diharapkan seluruh komponen pengelolaan SPAM Puhu untuk melakukan program penurunan kehilangan air dengan bantuan instrumentasi tekanan air (Analisa HGL), inspeksi jaringan pipa di daerah hilir pelayanan dan pembuatan Bak Pelepas Tekanan (BPT).

Daftar Pustaka

- Anonim, 2005. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2005 Tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*, Jakarta.
- Anonim, 2006. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20/PRT/M/2006 Tentang Kebijakan Dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (KSNP-SPAM)*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2009. *Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan Unit Distribusi*, BPP-SPAM, Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2009. *Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan Unit Produksi*, BPP-SPAM, Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2002. *Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual Air Minum Perkotaan Bagian 6*, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2002. *Pelatihan Pengelolaan Air Minum Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Lingkungan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Anonim, 2003. *Pelatiham Perpipaan Transmisi dan Distribusi*, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Pegawai Balai Pelatihan Air Bersih dan PLP Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah - Kementrian PU, Surabaya.
- Anonim, 2008. *NRW Tinggi, Pemborosan Luar Biasa*, Dalam Majalah Air Minum Edisi 158, Jakarta.
- Anonim, 1997. *Pervormance Curves And Tehnical Data Submersible Pumps, Submersible Motors, Accessories*, Jakarta, PT. Pompa Grundfos Indonesia.
- Budi Sutjahyo, 2006. *Perkara Kehilangan Air*, Dalam Majalah Air Minum Edisi 129, Jakarta.
- Bambang Triatmojo, 1993. *Hidraulika II*, Beta Offset, Jakarta.

- Cahyana, Gede H. 2006 *Distribusi "Pembuluh Darah" PDAM*. Dalam Majalah Air Minum Edisi 125, Jakarta
- Cahyana, Gede H. 2010 *Sistem Transmisi*. Dalam Majalah Air Minum Edisi 178, Jakarta
- Lewis A. Rosman, 2000. *Epanet 2 User Manual*, Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268 USA
- Raswari, 1986. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. Universitas Indonesia - Press, Jakarta
- Radianta Triatmaja, 2009 *Hidraulika Sistem Jaringan Perpipaan Air Minum*, Beta Offset, Jakarta
- Riduwan, 2008 *Methodologi Penelitian*. Alfabeta, Bandung
- Sri Widharto. 2008. *Buku Pedoman Ahli Pemasangan Pipa*, Pradnya Paramita, Jakarta