

Kalibrasi Model Epanet Dengan Uji *Paired Sample Test* pada Tinggi Tekan Model dan Tinggi Tekan Aktual

Benson Limbong^{*1}, Suripin², Sudarno³

^{1,2,3} Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

Submitted : 13, Desember, 2022;

Accepted: 03, Maret , 2022

Abstrak

Perumda Air Minum Tirta Moedal dengan wilayah pelayanan mencakup Kecamatan Mijen, perlu melakukan antisipasi penambahan jumlah pelanggan seiring dengan berkembangnya jumlah penduduk di wilayah tersebut secara pesat selama 5 tahun terakhir. Salah satu antisipasi tersebut adalah pembuatan model Epanet jaringan pipa distribusi air. Model Epanet jaringan pipa air dibutuhkan untuk mempercepat perhitungan hidrolis bila terjadi perubahan dalam sistem jaringan pipa air. Kalibrasi model Epanet pada jaringan pipa air dilakukan dengan melakukan perbandingan tinggi tekan hasil simulasi model Epanet terhadap tinggi tekan kondisi aktual dengan uji Paired Sample Test. Bertambahnya usia pipa menyebabkan bertambahnya kekasaran pipa dan kehilangan energi. Tujuan penelitian ini adalah melakukan kalibrasi model Epanet terhadap kondisi aktual dengan menentukan nilai C sesuai umur pipa aktual. Dari hasil kalibrasi model Epanet diperoleh rerata tinggi tekan model simulasi: 20.92 m dan rerata tinggi tekan aktual sebesar 18.94 m. Uji beda rata-rata berpasangan (*paired sample test T 2 tailed*) terhadap rerata nilai tinggi tekan air pada model - rerata tinggi tekan air aktual lapangan, menunjukkan hasil tidak terdapat beda nyata nilai rerata tinggi tekan model simulasi - nilai rerata tinggi tekan aktual, dengan nilai signifikansi $0.124 > 0.05$, artinya model Epanet yang dibuat sudah valid dan tepat.

Kata Kunci : Model; kalibrasi; kekasaran; tinggi tekan; valid.

Abstract

Local state drinking water company, Tirta Moedal, which its service area includes Mijen district, need to anticipate growing number of customers along with rapid growing population in the area for the last 5 years. One of the technical preparation is creation of Epanet model of pipe distribution network. Epanet model usage in water pipe network is addressed for time efficiency in hydraulics calculation if there are pipe network development. Calibration in water pipe model is comparing model simulation result to actual observation value of water pressure, by Paired Sample Test. Rising pipe life causing rising roughness and increasing headloss. The goal of this research is to calibrate the Epanet simulation model to actual condition by using modified roughness

C value, conform to pipe age. Calibration results show average model simulation pressure is 20.92 m and average actual pressure is 18.94 m. Paired sample T test 2 tailed were conducted to both average pressure , resulting there is no real difference between simulation model to observation actual value, indicated by significant value is $0,124 > 0,05$, the model is valid.

Keywords : *model; calibration; roughness; pressure; valid*

A. PENDAHULUAN

Kec. Mijen merupakan kecamatan yang paling berkembang dengan pertumbuhan jumlah penduduk sebesar 25% selama periode 2015-2019 (sumber : BPS Kota Semarang, 2020). Daerah pelayanan Perumda Tirta Moedal wilayah barat mencakup kawasan ini. Untuk itu perlu adanya antisipasi sumber daya di masa mendatang apabila terdapat penambahan jumlah pelanggan, seiring dengan semakin maraknya pembangunan perumahan dan pertumbuhan penduduk wilayah tersebut.

Salah satu antisipasi teknis dari pertumbuhan pelanggan sambungan air minum di kawasan tersebut adalah dengan membuat model Epanet sistem jaringan distribusi air. Model adalah suatu prototipe atau peniruan dari keadaan alam yang sebenarnya, meskipun tidak ada model kompleks yang dapat merepresentasikan suatu kenyataan sesungguhnya. Model yang dibuat diharapkan dapat menyesuaikan ke kondisi aktual dan dapat diandalkan untuk perhitungan hidrolis secara cepat apabila terjadi perubahan pada input (misalnya perubahan jenis/ukuran pipa) maupun output (misalnya penambahan node pelanggan) di sistem jaringan perpipaan eksisting (Mays, 1999).

Kalibrasi adalah kegiatan membandingkan hasil proses / output alat ukur yang digunakan dengan alat ukur standar atau bersertifikasi telusur ke standar nasional maupun internasional. Dengan kata lain kalibrasi pada jaringan pipa adalah membandingkan hasil ukur parameter hidrolis berupa tinggi tekan

simulasi pada program Epanet dengan hasil ukur tinggi tekan aktual di lapangan (pada kran pelanggan) dengan melakukan penyesuaian parameter dalam program Epanet. (Hussain, et al., 2021).

Untuk itu diperlukan masukan/input yang tepat sehingga model yang dibuat dapat mendekati kondisi aktual jaringan yang ada, baik itu input properties sarana fisik (pompa, reservoir sumber air, pipa, valve dan lainnya) maupun input beban pemakaian air/tapping demand dan zona pembagian beban air.

Salah satu karakteristik fisik pipa adalah angka C koefisien kekasaran pipa. Koefisien kekasaran pipa merupakan bilangan yang menunjukkan besarnya kehilangan energi akibat gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa. Koefisien kekasaran ini akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya usia pipa, yang menyebabkan kehilangan energi akan semakin besar. Semakin tua umur suatu jaringan pipa maka nilai kekasaran akan meningkat yang menyebabkan kehilangan energi bertambah. Artinya pada model perlu dilakukan kalibrasi sehingga nilai C kekasaran pipa sesuai dengan usia pipa aktual sehingga nilai kehilangan energi yang terjadi pun sesuai dengan aktual, model semakin valid (Agboka, et al., 2019).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jati Nugroho (2015) juga di wilayah pelayanan Perumda Tirta Moedal Kec. Genuk Kota Semarang, pemodelan Epanet yang dilakukan tidak dimulai dari sumber air (reservoir) namun dari jaringan pipa sekunder menuju ke

pipa tersier / kran pelanggan. Pada penelitian ini model jaringan yang dibuat dimulai dari sumur *reservoir* menuju jaringan pipa distribusi primer, pipa distribusi sekunder dan pipa tersier/ kran pelanggan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan kalibrasi model simulasi terhadap observasi dengan melakukan modifikasi nilai C pipa Hazen-Williams sesuai umur pipa terpasang, dan melakukan uji beda rata-rata *paired sample test* terhadap rerata tinggi tekan model Epanet terhadap rerata tinggi tekan aktual.

Ruang lingkup penelitian yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah

1. Modifikasi nilai C pada pipa model Epanet dan pengaruhnya terhadap perubahan nilai tinggi tekan model.
2. Pengukuran nilai tinggi tekan aktual di 5 node pelanggan (posisi paling jauh dari reservoir dan beda elevasi terbesar) pada waktu puncak pemakaian air yaitu jam sibuk pagi (05.00-08.00) dan jam sibuk sore (17.00-20.00).

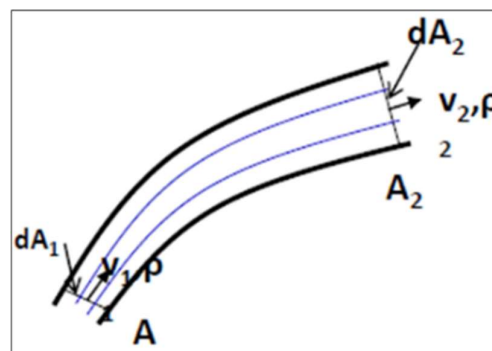
B. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Mays (1999) di dalam sistem jaringan perpipaan, terdapat 3 persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung besar energi (*head*) dan tekanan (atm) yang terjadi, yaitu prinsip persamaan konservasi massa (persamaan kontinuitas), persamaan energi (Bernoulli) dan persamaan kehilangan energi (H_f) mayor dan minor dalam persamaan Darcy-Weisbach maupun persamaan Hazen Williams.

1. Persamaan Kontinuitas

Prinsip konservasi massa menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Dari prinsip ini dikembangkan persamaan kontinuitas, apabila zat cair tak kompressible (*in-compressible*) mengalir kontinyu di pipa dengan penampang

konstan /tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat per satuan waktu adalah sama untuk semua penampang.



Gambar 1 Persamaan kontinuitas
 (sumber: Suripin 2018)

Pada gambar 1 memperlihatkan prinsip persamaan kontinuitas, yaitu debit yang mengalir di titik Q1 dengan perubahan penampang, tetap sama dengan debit yang mengalir di titik Q2 (persamaan 1), dimana perubahan penampang A1 ke A2 akan diikuti oleh perubahan kecepatan aliran V1 ke V2 (persamaan 2).

$$Q_1 = Q_2 \quad (1)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2)$$

Keterangan:

Q1 : debit mengalir di titik 1 ($m^3/detik$)

Q2 : debit mengalir di titik 2 ($m^3/detik$)

A1 : luas tampang di titik 1 (m^2)

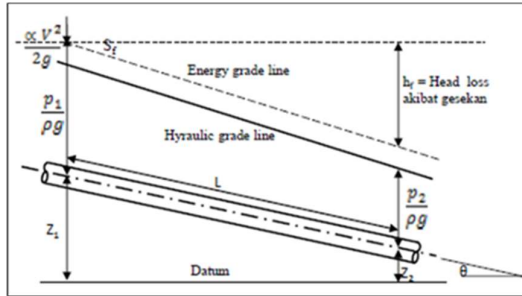
A2 : luas tampang di titik 2 (m^2)

V1 : kecepatan aliran di titik 1 ($m/detik$)

V2 : kecepatan aliran di titik 2 ($m/detik$)

2. Persamaan Energi (Bernoulli)

Prinsip konservasi energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Prinsip konservasi energi ini dikembangkan menjadi persamaan energi (Bernoulli). Persamaan Bernoulli untuk aliran zat cair sepanjang garis arus didasarkan pada hukum ke-2 Newton tentang gerak, $F = m \cdot a$, dimana percepatan sebuah benda akan berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya serta berbanding terbalik dengan massanya.



Gambar 2. Garis tekanan dan garis energi persamaan Bernoulli (sumber: Suripin, 2018)

Pada gambar 2 terlihat bahwa tinggi total energi pada titik 1 yaitu: elevasi Z_1 ditambah tinggi tekanan $\frac{p_1}{\gamma}$ ditambah tinggi kecepatan $\frac{V_1^2}{2g}$, akan sama dengan tinggi total energi pada titik 2, yaitu: elevasi Z_2 ditambah tinggi tekanan $\frac{p_2}{\gamma}$ ditambah tinggi kecepatan $\frac{V_2^2}{2g}$ ditambah dengan total kehilangan energi (h_f) yang terjadi di titik 2. Dengan kata lain dapat dinyatakan bahwa tinggi energi pada aliran zat cair ideal adalah konstan (Suripin, 2018).

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Sigma h_f \quad (3)$$

Keterangan:

Z_i : elevasi pipa di titik i (m)

P_i : tekanan air di titik i (atm atau kgf/m^2)

γ : berat jenis air (1000 kgf/m^3)

V_i : kecepatan aliran di titik i (m/detik)

g : percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/detik}^2$)

3. Kehilangan Energi

Kehilangan energi major Hazen - Williams merupakan kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa yang dinyatakan dalam persamaan 4 di bawah ini (Rosman, 2004).

$$H_f \text{ major} = 4.727 \times C^{-1.852} \times d^{-4.871} \times Q^{1.852} \quad (4)$$

Keterangan :

C : koefisien kekasaran pipa Hazen Williams,

d : diameter pipa (m)

L : panjang pipa (m)

Q : debit yang mengalir (m^3/detik)

Kehilangan energi minor merupakan kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan *fitting*/sambungan pada pipa, belokan dan valve serta accessories lainnya pada sistem jaringan pipa, di persamaan 5 dibawah ini (Rosman, 2004),

$$H_f \text{ minor} = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Keterangan:

k : koefisien kehilangan minor,

v : kecepatan aliran air (m/detik),

g : percepatan gravitasi (m/detik^2).

4. Angka Kekasaran Pipa

Koefisien kekasaran pipa merupakan bilangan yang menunjukkan besarnya kehilangan energi akibat gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa.

Tabel 1. Nilai C Kekasaran Pipa Baru

Material	Hazen Willia m C)	Darcy Weisbac h	Mannin g n
Cast Iron	130-140	0,85	0,012-0,015
Concrete or Concrete Lined	120-140	01-Oct	0,012-0,017
Galvanize d 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
Cast Iron or Riveted Steel after some years of use	95-100		
Deterioted Old Pipes PE-PVC	60-100		

(Sumber: Potter 2017)

Untuk nilai C metode Hazen William yang telah mengalami depresiasi

karena umur, maka tabel nilai C dapat diperlihatkan sebagai berikut

Tabel 2. Nilai C Hazen-Williams Pipa Berumur (sumber: Mays, 1999)

Pipe Material	Age (years)	Diameter	C
Cast iron	5	>380 mm	120
		>100 mm	118
	10	>300 mm	111
		>100 mm	107
	20	>300 mm	96
		>100 mm	89
	30	>400 mm	87
		>100 mm	75
PVC	Average		140
Asbestos	Average		140

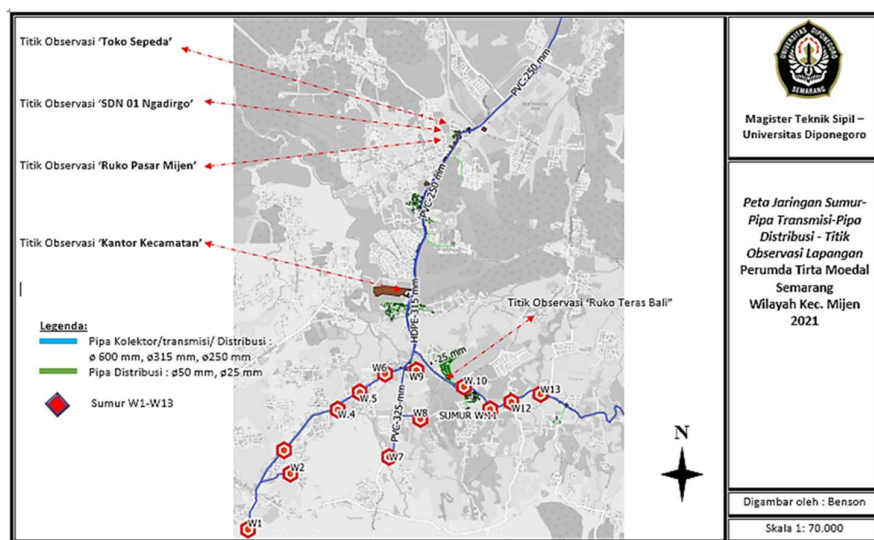
5. Program Epanet

Program EPANET adalah sebuah program komputer keluaran US Environmental Protection Agency (US EPA). EPANET dapat mensimulasikan perilaku hidraulik dan perilaku air dalam suatu jaringan distribusi air minum (Epanet User's Manual, 2004). *Input* program EPANET berupa: peta lokasi, elevasi, node/titik dari komponen

distribusi, diameter pipa, jenis pipa yang digunakan, sumber mata air, beban masing-masing node, dan lain-lain. *Output* yang dihasilkan berupa hidrolis head masing-masing titik dan tekanan air/debit air.

6. Uji 2 Rata-Rata Berpasangan 2 Pihak

Uji-t dua sampel berpasangan (*paired t sample test*) merupakan bagian dari uji statistik parametrik yang membandingkan dua cara berbeda pada subjek yang sama. Dua cara berbeda dapat mewakili hal-hal seperti pengukuran dilakukan dua waktu yang berbeda, pengukuran dilakukan dalam dua kondisi yang berbeda dan pengukuran dilakukan dari dua bagian subjek. *Uji paired sample T-test* dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan nyata dari rata-rata 2 sampel yang berpasangan. Dua sampel berpasangan artinya sampel dengan subjek yang sama namun mengalami dua perlakuan atau pengukuran yang berbeda (Sugiyono, 2014).



Gambar 3. Jaringan pompa-pipa distribusi kec. Mijen kota semarang (sumber: Litbang Tirta Moedal)

Dilakukan juga uji *paired sample test T* terhadap rerata tinggi tekan observasi

lapangan – rerata tinggi tekan simulasi Epanet. Dipilih uji t karena sample < 30

(sample 5 node pengukuran lapangan), dan data berpasangan (seragam) karena data berasal dari titik node yang sama namun ada 2 data yaitu data simulasi model dan data observasi.

Ditentukan hipotesa untuk uji *Paired Sample t Test* (Ismiyati, 2011):

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$, : tidak terdapat perbedaan rata-rata antara kedua sampel, jika nilai signifikansi (*2 tailed*) $> 0,05$.

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$: terdapat perbedaan signifikan antara kedua sampel, jika nilai signifikansi (*2 tailed*) $< 0,05$.

Gambar 3 di bawah ini menunjukkan peta jaringan air milik Perumda Tirta Moedal di Kec. Mijen dan 5 titik pengukuran lapangan (node pelanggan) untuk kalibrasi model Epanet yang dibuat

C. METODE PENELITIAN

Sistem jaringan distribusi air di Kec. Mijen dimulai dari produksi air baku di sumur W1-W9, untuk melayani distribusi air ke wilayah Kec. Mijen. Sementara sumur W11-W13 melayani distribusi ke Kec. Gunung Pati. Sumur W1-W9 menggunakan pompa *submersible*, distribusi air langsung dialirkan melalui pipa kolektor berbahan PVC Ø250 mm menuju junction utama J1 berupa pipa transmisi utama berbahan pipa baja Ø600 mm, selanjutnya dari J1 masuk ke jaringan pipa distribusi primer berbahan HDPE Ø315 mm ke pipa distribusi sekunder berbahan PVC Ø250 mm, lalu menuju ke pipa distribusi tersier (retikulasi) PVC diameter 50 mm dan berakhir di pipa PVC Ø25 mm menuju kran pelanggan.

Tipe pompa yang digunakan di reservoir W1-W9 berupa pompa *submersible* dengan merk Vansan dengan daya 18,5kW (untuk W2), 22kW (untuk W8), 30kW (untuk W1, W4, W5), dan 37kW (untuk W6 dan W9), serta pompa Grundfos SP95 (untuk W3 dan W7). Pompa bekerja secara paralel

mengalirkan air baik untuk pemenuhan kebutuhan ke Kec. Mijen dan Kec. Ngaliyan maupun memenuhi pengisian di *reservoir* Gunung Pati. Dari tiap jenis pompa akan dimasukkan data *rating curve* pada program Epanet agar dapat digambarkan karakteristik pompa dalam menghantarkan fluida berdasarkan hubungan energi (*head* dalam meter) dan debit (Q) dalam LPS, liter *per second* (lps).

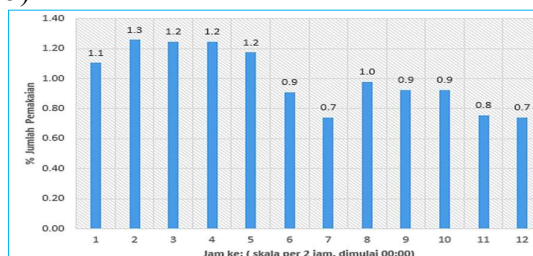
Langkah-langkah dalam pemodelan dan kalibrasi model Epanet pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengumpulan data Primer: gambar jaringan dari reservoir-pompa-pipa kolektor-pipa transmisi-pipa distribusi (panjang, diameter, koordinat, data karakteristik pompa), zona pembagian air, *demand pattern* (pola pemakaian air pelanggan),
2. Pengumpulan data sekunder : pengukuran tinggi tekan, koordinat posisi di 5 node pelanggan observasi di posisi terjauh dari reservoir dan posisi elevasi node pelanggan tertinggi (beda elevasi terbesar ke reservoir)
3. Melakukan pemodelan sistem jaringan di Epanet dan melakukan *running* program/ simulasi dan menampilkan hasil perhitungan hidrolis
4. Melakukan kalibrasi tinggi tekan rerata hasil perhitungan hidrolis Epanet terhadap tinggi tekan hasil observasi lapangan di 5 node pelanggan.
5. Melakukan uji Beda 2 rata-rata berpasangan (*paired sample test*) terhadap hasil rata-rata tinggi tekan simulasi model (baik dengan nilai C standar maupun nilai C modifikasi) vs rata-rata tinggi tekan aktual.
6. Kesimpulan dan saran: dengan nilai C modifikasi apakah model yang dibuat sudah lolos uji kesamaan 2 rata-rata (*paired sample test*) dibandingkan bila menggunakan nilai C pipa baru.

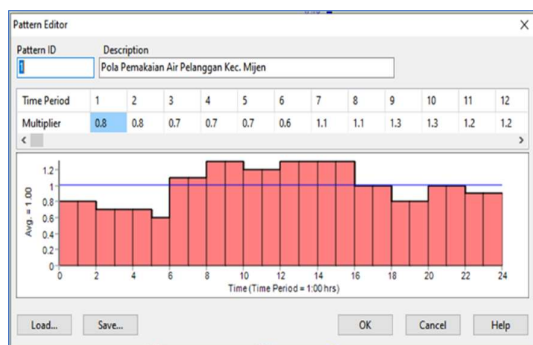
Langkah -langkah pemodelan jaringan pipa di EPANET:

Model jaringan pipa yang dibuat meniru kondisi eksisting yang terpasang di lapangan. Langkah awal adalah menetapkan '*system default*' karakteristik jaringan berupa penetapan *rating curve* pompa (*head terhadap debit*) sesuai spesifikasi pompa terpasang (lihat gambar 7), pola/fluktuasi pemakaian air (*pattern*) , *Hydraulic option* (metode perhitungan hidrolis yang digunakan) di gambar 6, dan *time option* atau waktu/lama model akan diuji coba nantinya.

Pattern air yang digunakan merupakan pola pemakaian/konsumsi air aktual pelanggan di wilayah Kec. Mijen yang dicatat oleh perusahaan, dengan rata-rata pemakaian per jam diasumsikan sebagai konstanta 1, dan fluktuasi pemakaiannya per jam dibagi terhadap rerata pemakaian per jam sehingga diperoleh persentasi pemakaian per jam (seperti terlihat di gambar 4 dan gambar 5).



Gambar 4. Rerata Pola Pemakaian Air 24 jam di Kec.Mijen tahun 2020 (sumber: Litbang Tirta Moedal)



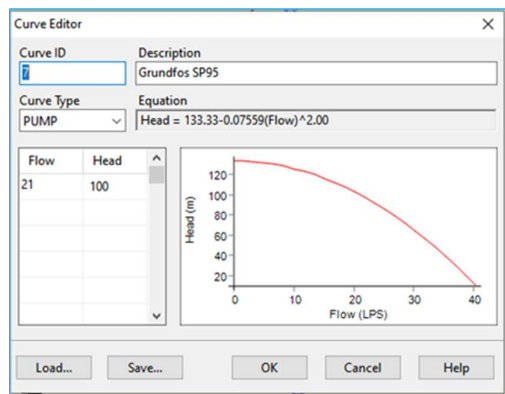
Gambar 5. *Input Pattern/ Pola* Pemakaian Air 24 jam di Epanet

Pada '*hydraulic options*', *flow units* dipilih menggunakan LPS (*liter per second/ liter per detik*). Untuk persamaan *headloss* yang digunakan menghitung kehilangan energi mayor dalam pipa (*headloss*) dipilih menggunakan persamaan Hazen-Williams karena persamaan ini tidak perlu memperhitungkan viskositas/kekentalan akibat perubahan suhu yang ekstrim, dengan kata lain cocok untuk jaringan distribusi air bersih (lihat gambar 6).

Sementara jika menggunakan formula Darcy Weisbach maka akan memperhitungkan bilangan Reynold (jenis aliran laminar/turbulen) dan suhu/kekentalan yang lebih kompleks, lebih cocok untuk air baku. (Rossman, 2004).

Hydraulics Options	
Property	Value
Flow Units	LPS
Headloss Formula	H-W
Specific Gravity	1
Relative Viscosity	1
Maximum Trials	40
Accuracy	0.001
If Unbalanced	Continue
Default Pattern	1
Demand Multiplier	1.0
Emitter Exponent	0.5
Status Report	Yes
Max. Head Error	0
Max. Flow Change	0
Demand Model	DDA
Minimum Pressure	5
Required Pressure	10
Pressure Exponent	0.5
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Gambar 6. *Hydraulic Option* di Epanet



Gambar 7. Curve Editor Pompa di Epanet

Selanjutnya melakukan penggambaran jaringan pipa dimulai dari memasukkan nilai koordinat aktual lapangan ke dalam model Epanet sebagai titik *node* (Hidayah dkk, 2016) menghubungkan antar node dengan pipa/pompa/valev, memasukkan komponen *reservoir*/sumur sumber air, sehingga seluruhnya menjadi sebuah jaringan lengkap, dimulai dari *reservoir*/sumur bor W1-W9, pompa 1-9, *node-junction*, pipa transmisi-kolektor (Ø600 mm dan Ø 315 mm), pipa distribusi primer Ø 250 mm dan pipa distribusi sekunder/retikulasi Ø 25-50 mm ke kran pelanggan. Nilai C di model awal menggunakan nilai C standar sesuai persamaan Hazen William (tabel 1).

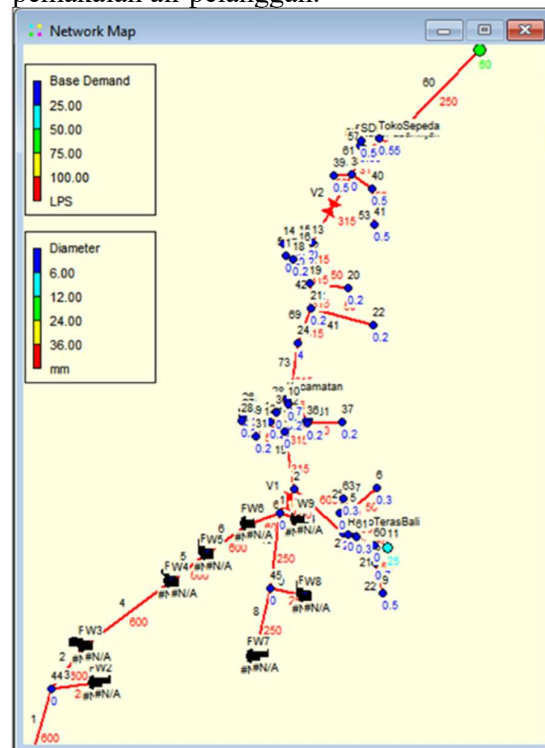
Pipe PipaTokoSepeda	
Property	Value
*Pipe ID	PipaTokoSepeda
*Start Node	42
*End Node	TokoSepeda
Description	
Tag	
*Length	191.93
*Diameter	50
*Roughness	140

Gambar 8. Contoh Input Pipa Toko Sepeda dengan Nilai C Standar

Selanjutnya setelah penggambaran jaringan selesai, dilanjutkan mengisi properties baik node/ pipa/ junction/ reservoir/ pompa dengan karakteristik

aktual lapangan. Pada node/ junction diisikan besar *demand tapping*/ kebutuhan pengambilan air yang akan dibutuhkan (lps) yang diperoleh dari *pattern* pemakaian air di Kec. Mijen.

Untuk komponen pipa/link/ data yang dimasukkan adalah Ø diameter pipa dan koefisien kekasaran pipa. Untuk node reservoir, dimasukkan nilai *total head*/tinggi energi yang diperoleh dari elevasi *dynamic water lever* atau elevasi air di dalam sumur bor, dan untuk node pompa/pump dimasukkan nilai kurva pompa (debit-head) dan *pattern*/pola pemakaian air pelanggan.



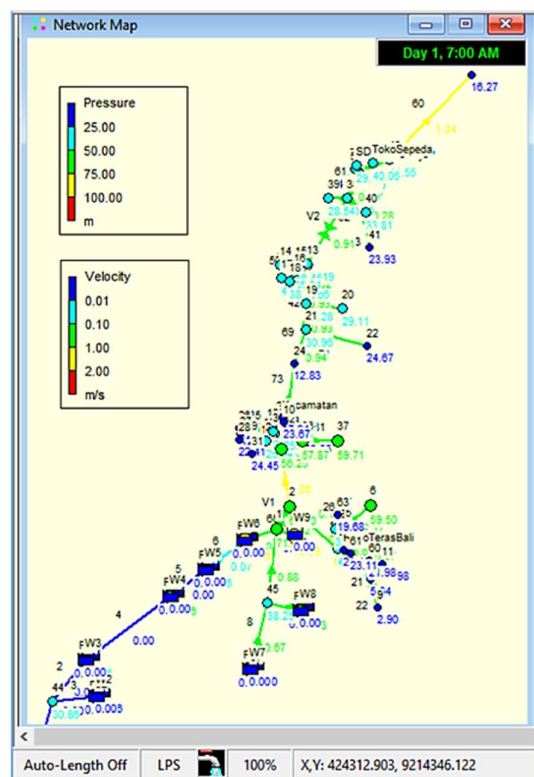
Gambar 9. Model Jaringan Pompa-Pipa di Kec. Mijen di Epanet

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

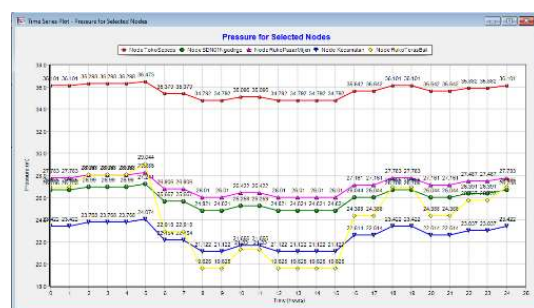
1. Hasil Simulasi-Observasi Nilai C Pipa Standar

Output program Epanet menampilkan perhitungan hidrolis yang terjadi pada *Node/junction*/ titik maupun pada pipa/link. Pada node akan dimunculkan

hasil perhitungan hidrolis berupa: *head* tinggi energi total (m), tinggi tekan (m), elevasi (m), dan kebutuhan air/*demand* (lps). Pada pipa/link ditampilkan : kecepatan aliran (m/s), debit (lps), kehilangan energi/*headloss* (m/km). Lihat gambar 10 dan gambar 11 di bawah ini,



Gambar 10. Hasil Run Analysis Epanet



Gambar 11. Simulasi Epanet tinggi tekan di 5 node pelanggan selama 24 jam dengan nilai C standar pipa baru

Pada gambar 11 terlihat hasil simulasi besar tinggi tekan model Epanet di 5 node pelanggan selama 24 jam. Nilai

rerata tinggi tekan (m) tiap node pelanggan baik hasil simulasi Epanet maupun hasil pengukuran lapangan ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3. Hasil rata-rata tinggi tekan (m) di 5 node simulasi nilai c standar – observasi

Node Pengukuran	Simulasi	Observasi
Toko Sepeda Abo	35.61	31.14
SDN01 Ngadirgo	26.08	19.43
Ruko Pasar Mijen	26.56	19.42
Kantor Kecamatan	22.75	12.86
Ruko Teras Bali	24.55	11.86

Dilakukan uji beda 2 rata-rata berpasangan (*paired sample test T*) dari tinggi tekan observasi-simulasi di atas, dengan menggunakan uji beda rata-rata t berpasangan. Sebelumnya kita menentukan dulu hipotesa untuk uji T berpasangan (*Paired Sample t Test*),
 H_0 : terdapat perbedaan signifikansi antara tekanan simulasi dan observasi, jika nilai signifikansi (2 tailed) < 0,05.
 H_1 : tidak terdapat perbedaan signifikan antara tekanan observasi-simulasi, jika nilai signifikansi (2 tailed) > 0,05.
 Maka diperoleh hasil uji paired sample T-test seperti berikut ini:

Tabel 4. Uji paired sample test nilai c standart

M	ea	n	Std. Deviation	Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	d f	Sig. (2-tailed)
					Lo	Up			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.1	7	3.180	1.422	0.22	12.117	4.219	5.743	4	0.0046

Diperoleh nilai signifikansi model terhadap observasi sebesar 0.0046,

artinya < dari 0.05, maka dapat dikatakan kedua hasil tinggi tekan rerata simulasi vs observasi memiliki beda yang nyata. Dengan kata lain model Epanet yang dibuat dengan menggunakan nilai C standar/pipa baru tidak valid.

2. Hasil Simulasi-Observasi Nilai C Modifikasi

Untuk itu dilakukan modifikasi angka koefisien kekasaran C Hazen William yang disesuaikan dengan umur pipa (mengacu pada tabel 1 dan 2), sebagai berikut:

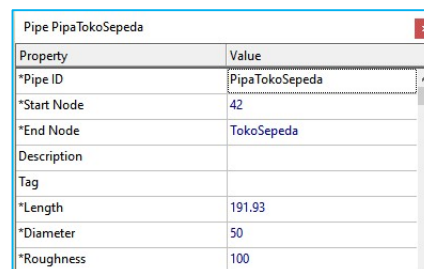
- Modifikasi nilai C pipa baja/steel $\phi 600$ mm dilakukan dengan menggunakan nilai C pipa *cast iron/steel* usia 30 tahun sesuai tabel 2 sebesar nilai C: 87.
- Modifikasi nilai C pipa HDPE $\phi 315$ mm dan PVC $\phi 250$ dan $\phi 50$ mm usia 15 tahun menggunakan interpolasi linier dari nilai pipa pada tabel 1, dimana nilai C pipa baru : 140, nilai C pipa lama/ *deteriorated old pipe* (>30 tahun) sebesar 60, maka untuk pipa usia 12-15 tahun diperoleh nilai C = 101,2 ~ dipakai nilai C : 100.

Tabel 5. Nilai C modifikasi umur pipa

No	Jenis & Ukuran Pipa – Tahun Pemasangan	C Model Awal	C Modifikasi
1	Steel pipa Transmisi 600 mm – 1982	150	87
2	HDPE Pipa Distribusi primer 315 mm – Tahun 2008	140	100
3	PVC Distribusi Sekunder- Retikulasi 50 mm – Tahun 2008	140	100

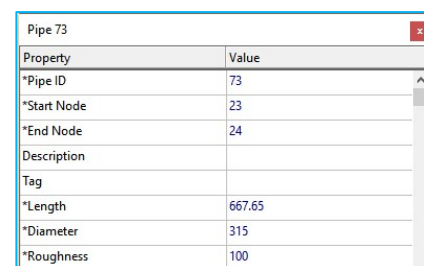
Maka dilakukan *input* nilai C modifikasi pada setiap properties pipa di sistem

jaringan sesuai dengan jenis dan umur pipa tersebut, seperti terlihat di gambar 12, 13 dan 14 di bawah ini,



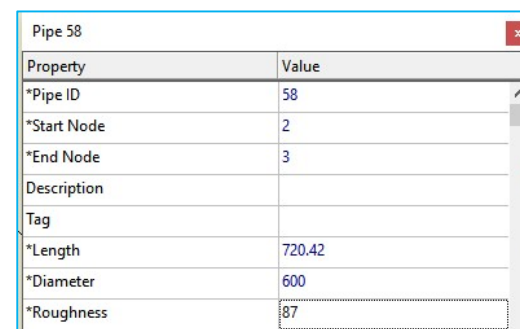
Property	Value
*Pipe ID	PipaTokoSepeda
*Start Node	42
*End Node	TokoSepeda
Description	
Tag	
*Length	191.93
*Diameter	50
*Roughness	100

Gambar 12. Contoh *input* nilai C modifikasi di model pipa pvc $\phi 50$ mm



Property	Value
*Pipe ID	73
*Start Node	23
*End Node	24
Description	
Tag	
*Length	667.65
*Diameter	315
*Roughness	100

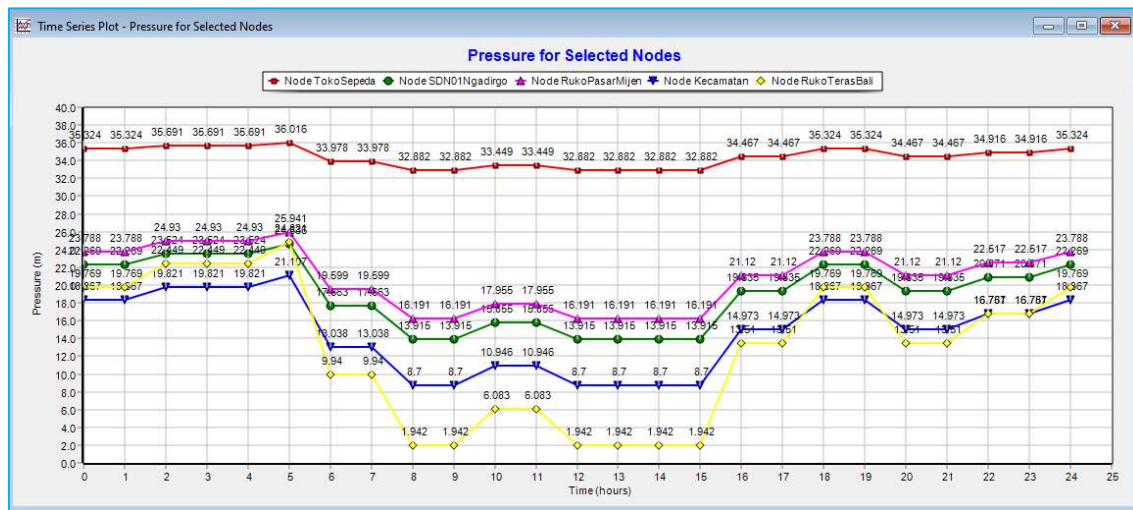
Gambar 13. Contoh *input* nilai C modifikasi di model pipa pvc $\phi 315$ mm



Property	Value
*Pipe ID	58
*Start Node	2
*End Node	3
Description	
Tag	
*Length	720.42
*Diameter	600
*Roughness	87

Gambar 14. Contoh Input Nilai C Modifikasi di model Pipa Baja $\phi 600$ mm

Maka selanjutnya dari hasil *Run Analysis* EPANET dengan nilai C pipa modifikasi sesuai umur, diperoleh grafik tinggi tekan simulasi selama 24 jam di 5 Node pelanggan di gambar 15 dibawah ini



Gambar 15. Grafik Simulasi Tinggi tekan 24 jam Nilai C Modifikasi

Dari hasil simulasi program Epanet (gambar 15) dan observasi lapangan dapat disimpulkan bahwa pada seluruh node tinggi tekan tertinggi terjadi di jam 05.00 yaitu pada jam sepi pemakaian air, dan tinggi tekan terendah berada di jam 08.00-15.00 pada jam sibuk kehidupan (pemakaian air puncak). Artinya semakin besar pemakaian air/ *tapping demand* maka semakin kecil nilai tinggi tekan. Demikian pula sebaliknya semakin kecil *demand* pemakaian air, semakin besar tinggi tekan yang terjadi.

Nilai rerata tinggi tekan (m) tiap node pelanggan baik hasil simulasi Epanet maupun hasil pengukuran lapangan dengan nilai C modifikasi Hazen-William ditampilkan dalam tabel 6 di bawah ini. Dari hasil kalibrasi model Epanet diperoleh rerata tinggi tekan model simulasi: 20.92 m dan rerata tinggi tekan aktual sebesar 18.94 m.

Tabel 6. Hasil rata-rata tinggi tekan (m) di 5 node simulasi nilai c modifikasi – observasi

Node	Simulasi	Observasi
Toko Sepeda	33.43	31.14
SDN 01	18.65	19.43
Pasar Mijen	20.33	19.42

Node	Simulasi	Observasi
Kantor		
Kecamatan	14.89	12.86
Ruko Teras Bali	17.28	11.86

Hasil tinggi tekan simulasi vs tinggi tekan observasi, selanjutnya dilakukan uji korelasi *product momen* untuk melihat sebesar apa hubungan kedua hasil tinggi tekan. Analisa korelasi digunakan untuk menganalisa hubungan antara 2 variabel atau lebih yang bersifat kuantitatif.

Dari hasil kalibrasi (tabel 7) diperoleh hubungan yang kuat antara nilai tinggi tekan simulasi vs observasi sebesar nilai $R = 0.955$.

Tabel 7. Nilai korelasi antar rerata tinggi simulasi vs observasi actual

Paired Samples Correlations			
		N	Correlation
Pair 1	Observasi & Simulasi	5	.955
			Sig. .011

Selanjutnya dilakukan uji beda 2 rata-rata berpasangan (*paired sample test T*), dengan hasil sebagai berikut di tabel 8:

Diperoleh nilai signifikansi model (koefisien kekasaran pipa menggunakan nilai C modifikasi) terhadap observasi sebesar 0.124, artinya $>$ dari 0.05, maka

dapat dikatakan kedua hasil tinggi tekan rerata simulasi vs observasi tidak memiliki beda yang nyata. Dengan kata lain model Epanet yang dibuat dengan memodifikasi angka C pipa sesuai umur pipa sudah sesuai dengan kondisi existing lapangan/ sudah valid.

Tabel 8. Uji Paired Sample Test Rerata Tinggi Tekan Simulasi – Observasi Dengan Nilai C Model Modifikasi

Paired Differences						
Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	Sig. (2-tailed)
			Lower	Upper		
-1.97400	2.27456	1.01721	-4.79824	0.85024	-4.141	0.124

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kalibrasi model Epanet terhadap jaringan pipa aktual dilakukan dengan mengubah nilai C kekasaran pipa sesuai umur pipa terpasang. Pipa steel dari nilai C: 150 menjadi 87, pipa PVC dan HDPE dari nilai C: 140 menjadi 100.
2. Hasil kalibrasi tinggi tekan rerata model Epanet menggunakan nilai C modifikasi terhadap observasi tinggi tekan aktual lapangan adalah valid dengan uji *paired sample test* diperoleh angka signifikansi 0,124 (artinya $> 0,05$) atau signifikansi $> 5\%$, dan besar korelasi $r = 0,955$, hubungan yang sangat kuat antara kedua sampel.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengukuran nilai C terhadap pipa dengan berbagai macam ukuran dan material lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak Perumda Air Minum Tirta Moedal yang telah mendukung selama penulis melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- <https://semarangkota.bps.go.id/publication> (diakses pada 1 Agustus 2021)
- Agboka, M., Mayabi, A., and Cheruiyot, A. (2019). *Pressure Performance Assessment of Juja water Distribution Network using EPANET model*. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) p.1.
- Divisi Litbang. (2020). *Data Produksi Air Wilayah Barat*. Perumda Tirta Moedal. Semarang.
- Hidayah, Indarto, and Novita. (2016). *Mapping and Technical Evaluation of Water Distribution Network at Kemuning Lor Village*. Agricultural Engineering. Universitas Jember. Jember.
- Hossain, Hewa, Chow and Cook. (2021). *Modelling and Incorporating the Variable Demand Patterns to the Calibration of Water Distribution System Hydraulic Model*. South Australia Water Network. Adelaide.
- Ismiyati. (2011). *Statistik dan Probabilitas Untuk Teknik*. Magister Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Kementerian Dalam Negeri RI. (1999). *Keputusan Mendagri No. 47 Tahun 1999 tentang Pedoman Penilaian Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum*. Kemendagri. Jakarta.
- Mays, Larry W. (1999). *Water Distribution Systems Handbook*. McGraw Hill Company. Arizona. USA.
- Nugroho, Widiatmoko, Suripin and Sriyana. (2020). *Optimization of Water Networks at Graha Jangli Indah Semarang Using EPANET*. International Journal Of Advanced Research in Engineering & Management (IJAREM).
- Nugroho, Jati. (2015). *Analisa Kepuasan Pelanggan Air Bersih*

- PDAM Tirta Moedal Kota Semarang di Kecamatan Genuk”, Tesis Magister Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang
- Potter, Wiggett, and Ramadan. (2017). *Mechanics of Fluids*. Cengage Learning. Natick, Massachusetts, USA.
- Rossman, Lewis. (2004). *Epanet 2 User's Manual*. Water Supply Water Resources Division. National Risk Management Research. Cincinnati Ohio. USA.
- Sugiyono. (2014). *Statistika Untuk Penelitian*. Penerbit Alfa Beta. Bandung.
- Suripin. (2018). *Mekanika Fluida dan Hidraulika Saluran Terbuka Untuk Teknik Sipil*. Penerbit Andi. Jogjakarta.



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)