

Peran Manajemen Aset Untuk Pendeteksian Kehilangan Air di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang

Adhisa Neela Noor Safira¹, Ali Masduqi²

^{1,2}Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

¹neelaadhisa@gmail.com, ²masduqi@its.ac.id

ABSTRACT

Sanitation and access to clean water are fundamental rights of every individual, therefore, it is important to ensure the provision of drinking water that meets three important factors: quality, sustainability and quantity (3K) to meet community needs (Department of Economic and Social Affairs-UN, 2015; Alshomali, 2020). Perumda Air Minum Tugu Tirta Malang City, as a water service provider in the area, faces challenges in maintaining the efficiency and sustainability of its services. Loss of water, pipes that have exceeded their useful life, and lack of maintenance and supervision of the pipe network are some of the problems they face. This condition not only results in increased operational costs, but also harms the efficiency and quality of water services, as well as the environment (Ministry of Public Works and Public Housing, 2016). This thesis aims to overcome this problem by examining the relationship between pipe asset management data and the level of water loss in the water distribution of Perumda Air Minum Tugu Tirta, Malang City. This research focuses on finding these correlations for water loss detection based on asset data. Through the analysis that has been carried out, it was found that there is a correlation between the type of pipe, age of the pipe, and asset management practices with the level of water loss. The equation found is $Y = 0,589 + 0,002 X_1 + 0,067 X_2 + 0,342 X_3$ with X_1 : pipe age; X_2 : pipe type; X_3 : leak point. The equation explains that the highest factor influencing water loss is the pipe leak point followed by pipe age and pipe type. These findings provide a basis for the Tugu Tirta Drinking Water Company, Malang City and other Perumda to find out effective pipe replacement times, so that water loss can be reduced. Apart from that, the results of this research have broader implications, namely providing guidance for PDAMs and other water service providers in increasing the efficiency of water distribution and maintaining the sustainability of clean water services.

Keywords: Asset Management, Piping, Water Loss, Drinking Water Distribution System, Water Loss Prediction.

ABSTRAK

Sanitasi dan akses terhadap air bersih merupakan hak fundamental setiap individu, oleh karena itu, penting untuk memastikan penyediaan air minum yang memenuhi tiga faktor penting: kualitas, kelangsungan, dan kuantitas (3K) demi memenuhi kebutuhan masyarakat (Department of Economic and Social Affairs- UN, 2015; Alshomali, 2020). Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang, sebagai penyedia layanan air di wilayah tersebut, menghadapi tantangan dalam mempertahankan efisiensi dan keberlanjutan layanannya. Kehilangan air, usia pipa yang sudah melebihi batas masa pakai, serta kurangnya pemeliharaan dan pengawasan terhadap jaringan pipa adalah beberapa permasalahan yang mereka hadapi. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada biaya operasional yang meningkat, tetapi juga merugikan efisiensi dan kualitas layanan air, serta lingkungan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016). Tesis ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dengan

mengkaji hubungan antara data manajemen aset pipa dengan tingkat kehilangan air dalam distribusi air Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. Penelitian ini terfokus pada mencari korelasi tersebut untuk pendeteksian kehilangan air berdasarkan data aset. Melalui analisis yang telah dilakukan ditemukan bahwa adanya korelasi antara jenis pipa, usia pipa, dan praktik manajemen aset dengan tingkat kehilangan air. Persamaan yang ditemukan yaitu $Y = 0,589 + 0,002 X_1 + 0,067 X_2 + 0,342 X_3$ dengan X_1 : usia pipa; X_2 : jenis pipa; X_3 : titik bocor. Persamaan menjelaskan bahwa faktor tertinggi yang mempengaruhi kehilangan air adalah titik bocor pipa diikuti dengan usia pipa dan jenis pipa. Temuan ini memberikan dasar bagi Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang dan juga Perumda lainnya untuk mengetahui waktu pergantian pipa yang efektif, sehingga bisa menurunkan kehilangan air. Selain itu, hasil penelitian ini memiliki implikasi yang lebih luas, yakni memberikan panduan bagi PDAM dan penyedia layanan air lainnya dalam meningkatkan efisiensi distribusi air dan menjaga keberlanjutan layanan air bersih.

Kata kunci: Manajemen Aset, Perpipaan, Kehilangan Air, Sistem Distribusi Air Minum, Prediksi Kehilangan Air.

PENDAHULUAN

Sanitasi dan kebersihan air adalah hak fundamental setiap individu, namun banyak orang di seluruh dunia masih menghadapi tantangan besar dalam mengakses layanan dasar tersebut, meskipun hanya itu yang mereka butuhkan (Department of Economic and Social Affairs- UN, 2015). Poin 6 dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) bertujuan untuk menyediakan akses yang adil dan berkelanjutan terhadap air bersih dan sanitasi bagi seluruh populasi. Permintaan akan air terus meningkat, sementara ketersediaannya semakin terbatas. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan penyediaan air minum guna memenuhi kebutuhan penduduk dengan memperhatikan tiga faktor utama, yaitu kualitas, kelangsungan, dan kuantitas (3K). Ketiga syarat tersebut harus dipenuhi agar penyediaan air minum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat (Alshomali, 2020). Upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan penyediaan air salah satunya dengan cara pengendalian kehilangan air. (Kementerian Pekerjaan umum Dan Perumahan Rakyat, 2016). Strategi pengendalian kehilangan air yang utama meliputi 4 aspek yaitu pengelolaan tekanan, kecepatan dan kualitas perbaikan, pengendalian kebocoran aktif, dan pengelolaan pipa dan manajemen aset (Farley, Wyeth, et al., 2008).

Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang dalam pengendalian kehilangan air sejauh ini hanya terfokus pada pengendalian kebocoran aktif. Perumda Tugu Tirta tidak mempertimbangkan kondisi aset perpipaan yang ada untuk melakukan penurunan kehilangan air, serta tidak ada pendeteksian mengenai kualitas pakai aset selama ini. Sedangkan aset yang buruk tentunya menjadi penyumbang kehilangan air yang cukup besar. Tidak ada program kerja di Perumda Tugu Tirta mengenai pemeliharaan dan pengawasan aset terhadap jaringan pipa. Selain itu pengendalian kehilangan air akan terdeteksi apabila ada keluhan dari warga dan terlihat kebocoran fisik di pipa.

Kondisi aset perpipaan cenderung diabaikan dalam pengelolaan penurunan kehilangan air, pada faktanya manajemen aset masuk ke dalam 4 strategi utama

pengendalian kehilangan air. Hal ini merupakan dasar pengambilan tesis ini diambil. Maka dari itu data tentang jenis, usia pipa, dan historis kebocoran pipa yang ada saat ini juga perlu dikumpulkan untuk menentukan prioritas penggantian dan perbaikan. Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang, seperti banyak PDAM menghadapi tantangan dalam menjaga keandalan dan efisiensi sistem distribusi air mereka. Pipa-pipa yang telah melewati masa pakainya cenderung mengalami kebocoran dan kerusakan yang dapat menyebabkan kehilangan air yang signifikan.

Kehilangan air yang tinggi memiliki konsekuensi yang serius, termasuk pemborosan sumber daya yang berharga, biaya operasional yang meningkat, penurunan kualitas layanan air yang diberikan, dan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, kebutuhan akan air bersih terus meningkat sementara ketersediaannya semakin terbatas. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengatasi masalah kehilangan air yang disebabkan oleh manajemen aset pipa yang sudah mencapai masa pakai, maupun jenis pipa yang digunakan.

Tesis ini akan memanfaatkan data aset perpipaan yang ada di Zona Pelayanan, data tersebut akan digunakan sebagai dasar dari peran manajemen aset dalam pendeteksian kehilangan air di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. Tesis ini akan mengkaji hubungan kuat antara jenis pipa, usia pipa, dan historis kebocoran pipa dengan tingkat kehilangan air.

METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang dilakukan yaitu digunakan metode kualitatif yang mencakup survei pengambilan data di lapangan dan studi literatur. Pendekatan kualitatif dipilih karena bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam tentang fenomena yang sedang diteliti dan memungkinkan eksplorasi yang menyeluruh terhadap permasalahan yang ada. Metode survei dilakukan untuk mengetahui kondisi aset perpipaan pada DMA terpilih di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. Studi literatur dilakukan untuk memperkuat pengetahuan yang digunakan sebagai dasar penelitian, serta Adapun pengambilan data sekunder dari Perumda Tugu Tirta Kota Malang berupa rekapitulasi kehilangan air, sistem peta jaringan distribusi, peta DMA (*District Metered Area*), data profil, serta data tentang aset perpipaan dan historisnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Zona Pelayanan

Zona prioritas di Perumda Kota Malang ditetapkan berdasarkan seringnya terjadi kebocoran dan keluhan pelanggan di zona tersebut. Dan akan menjadi zona yang akan dilakukan banyak perbaikan dalam tahun ini. Zona Wendit merupakan zona dengan DMA Prioritas paling banyak sejak bulan Januari hingga Juni. Banyaknya DMA yang ada di Zona Wendit berjumlah 7 DMA, dapat dilihat di Tabel 4.1

Tabel 4. 1 DMA Zona Wendit

No.	Location	Service DMA
1	Jl. Titan Asri	W1M
2	Perum Graha Kencana	W2S1
3	Jl. La Sucipto	W2N
4	Jl. Plaosan Barat	W2F
5	Jl. Batu Bara	W2N
6	Jl. Serayu	W2J2
7	Jl. Sanan	W2L

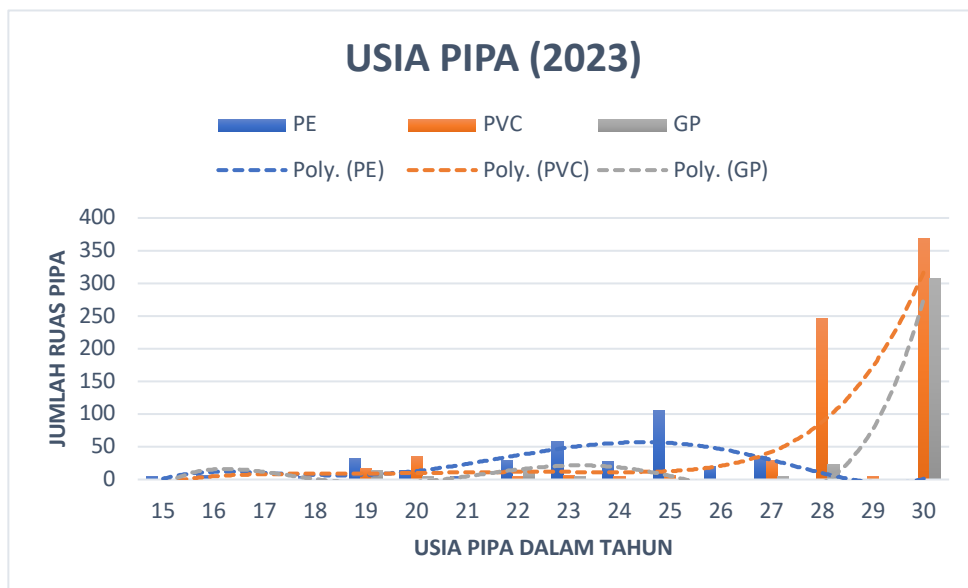
DMA yang ada pada Zona Wendit seluruhnya akan digunakan untuk mencari korelasi antara data manajemen aset dengan kehilangan air yang akan digunakan untuk prediksi kehilangan air. Data yang digunakan adalah data usia pipa, jenis pipa, dan jumlah titik kebocoran pipa.

Karakteristik Data Pipa pada DMA

Karakteristik data pipa meliputi usia pipa, jenis pipa, dan titik bocor pada pipa. Ketiga data akan di visualisasikan melalui diagram batang yang berisi informasi terhadap ke-3 variabel dalam seluruh DMA yang ada pada Zona Wendit sebagai zona terpilih.

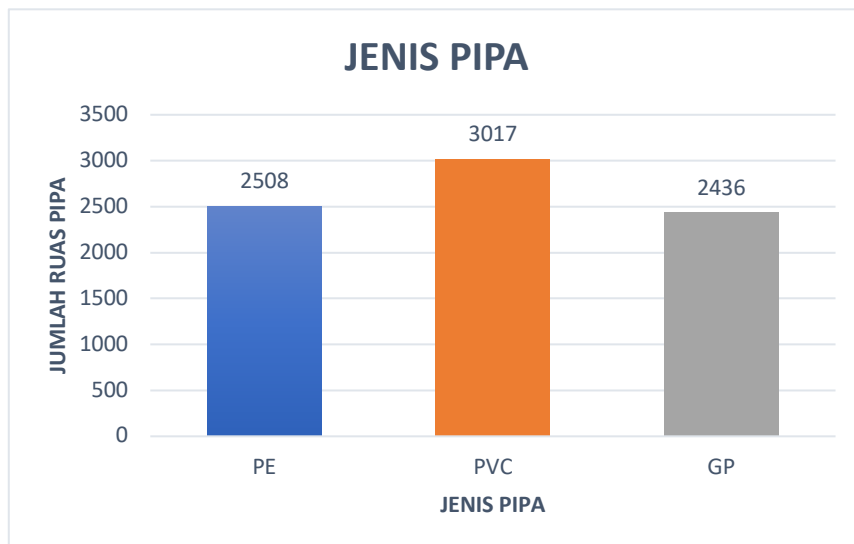
Usia Pipa

Data usia pipa menjabarkan berapa lama pipa digunakan sampai sekarang, pada Gambar 4.1 dapat diketahui tentang frekuensi usia pipa pada seluruh DMA yang ada pada Zona Wendit Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa pipa dengan usia 30 tahun merupakan yang paling banyak di dalam DMA pada Zona Wendit. Usia 30 tahun mendominasi secara signifikan



Jenis Pipa

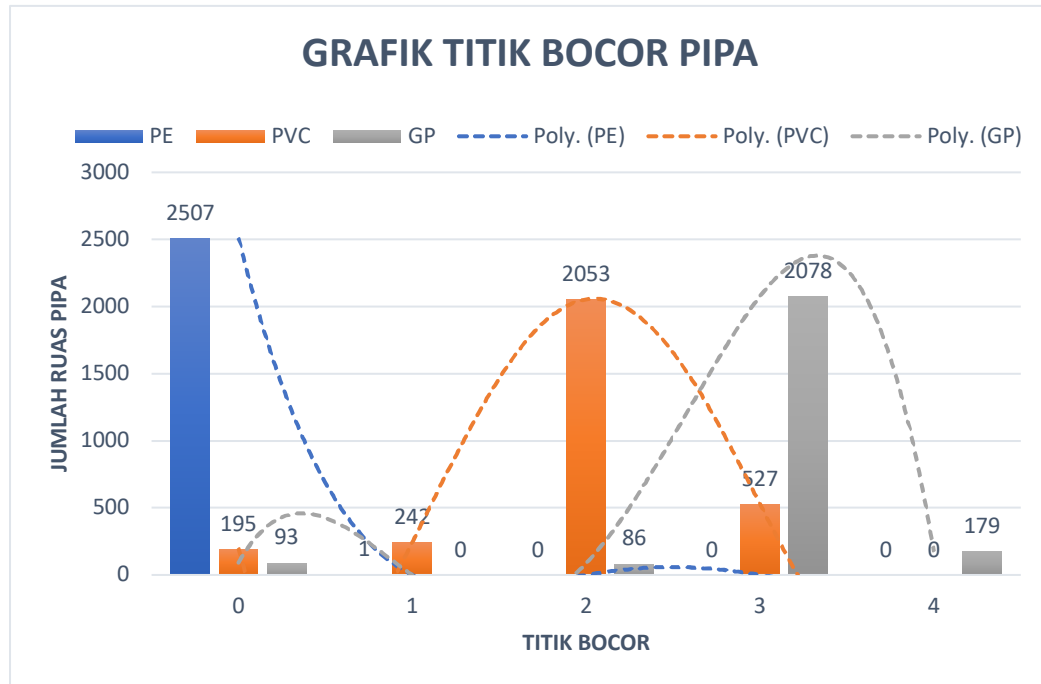
Data jenis pipa menjelaskan beberapa jenis pipa yang ada di dalam DMA di Zona Wendit. Terdapat 3 jenis pipa yaitu Pipa PE, PVC, dan GP. Jenis pipa terbanyak yaitu pipa PVC yang digunakan di Zona Wendit ini. Menurut (Galal-Gorchev, 1993) Pipa PVC memiliki berbagai kelebihan jika dibandingkan dengan pipa baja galvanis atau pipa GP untuk aplikasi perpipaan air minum. Pipa PVC jauh lebih ringan dan tidak mengalami masalah korosi, baik di bagian dalam maupun luar pipa. Namun apabila dibandingkan dengan pipa PE, dalam aplikasi air minum pipa PE menjadi pilihan terbaik, Menurut (Sharma et al., 2022) usia ketahanan pipa PE mencapai 100 tahun apabila digunakan dalam sistem air minum perkotaan. Pipa PE direkomendasikan karena pipa ini memiliki ketahanan yang kuat, sambungan yang bebas bocor, dan ketahanannya terhadap korosi, serta keefektivitasan biaya dalam jangka panjang. Dalam penelitian ini akan dilihat seberapa berpengaruh jenis pipa terhadap kebocoran pipa.



Titik Kebocoran

Data terkait jumlah titik kebocoran pipa dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah. Dari ke-3 jenis pipa yaitu GP, PVC, dan PE. Frekuensi bocor terbanyak yaitu pada pipa dengan jenis GP. Pipa jenis GP pernah mengalami bocor sekali dalam satu rute sejumlah 496 kali. Disusul dengan pipa jenis PVC yang pernah bocor 234 kali, dan pipa PE pernah bocor 107 kali.

Menurut (American Water Works Association., 2004) ketahanan Pipa GP atau Galvanis mencapai 20 hingga 50 tahun, hal ini juga dipengaruhi oleh lingkungan sekitar dan tergantung pada kualitas galvanisasi. Pipa besi galvanis lebih rentan terhadap korosi dibandingkan dengan beberapa pipa lainnya. Pipa PVC ketahanan yang dimiliki lebih lama daripada Pipa GP, yaitu mencapai 50 hingga 100 tahun, PVC memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan dapat bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan.



Uji Multikolinieritas

Multikolinieritas merujuk pada adanya hubungan linier antara variabel bebas menjelaskan bahwa uji multikolinieritas bertujuan untuk menentukan apakah terdapat korelasi yang tinggi atau sempurna di antara variabel independen dalam model regresi (Ghozali, 2017). Sebuah model regresi yang baik seharusnya tidak memiliki korelasi signifikan di antara variabel-variabelnya. Ketika korelasi yang tinggi terjadi di antara variabel bebas, maka hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dapat menjadi terganggu. (Ghozali, 2017) juga mengindikasikan bahwa dengan tingkat signifikansi 90%, adanya multikolinieritas antar variabel independen dapat diidentifikasi melalui analisis matriks korelasi. Adapun dalam penelitian ini terdapat 4 variabel yang berisi variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas meliputi: usia pipa, jenis pipa, dan jumlah titik bocor pipa. sedangkan variabel terikat yaitu kehilangan air. Dalam hal ini dilakukan uji multikolinieritas untuk variabel bebas.

Salah satu asumsi dari model regresi adalah tidak ada hubungan linier yang tepat antara prediktor (variabel bebas). Jika ada satu atau lebih hubungan tersebut antara prediktor maka disebut multikolinieritas atau kolinieritas. Ketika terdapat multikolinieritas pada variabel prediktor maka keputusan secara statistiknya menjadi lemah (Gujarati, 2015). Multikolinieritas dapat dideteksi apabila nilai VIF yang lebih dari 10. Pengujian multikolinieritas disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 menjelaskan bahwa tidak terjadi multikolinieritas antara variabel prediktor. Hal ini dapat dilihat dari nilai VIF pada tiap variabel prediktor tidak lebih dari 10, sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi kasus multikolinieritas. Oleh karena itu maka dapat dilakukan uji regresi untuk mengetahui hubungan antara variabel terikat dan bebas.

Tabel 4. 1 Hasil Uji Multikolinieritas

Model	Coefficients ^a						
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	.589	.020		28.828	.000		
usia_pipa	.002	.001	.039	2.450	.014	.342	2.924
jenis_pipa	.067	.005	.247	14.187	.000	.281	3.553
trans_titik_bocor	.342	.014	.532	23.777	.000	.170	5.876

a. *Dependent Variable:* trans_kehilangan_air

Regresi Linier Berganda

Analisis regresi merupakan metode analisis yang dapat digunakan untuk menganalisis data dan mengambil kesimpulan yang bermakna tentang hubungan ketergantungan variabel terhadap variabel lainnya. Hubungan yang didapat pada umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematika yang menyatakan hubungan antara variabel bebas (*independent variable*) dan variabel tak bebas (*dependent variable*) dalam bentuk persamaan sederhana (Drapper dan Smith, 1992). Pada kasus ini digunakan analisis regresi linier berganda untuk mengetahui adanya pengaruh usia pipa, jenis pipa dan jumlah titik kebocoran tiap pipa pada persentase kehilangan air tiap pipa.

Uji regresi linier berganda ini dilakukan karena regresi linier berganda adalah analisis tentang pengaruh linier antara dua atau lebih variabel *independent* dengan satu variabel *dependent*, sesuai dengan variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lebih dari 2 variabel.

Analisa Koefisien Determinasi

Dilakukan analisa terhadap hasil koefisien determinasi yang disajikan pada Tabel 4.2 berikut. Koefisien determinasi ini mengukur berapa persentase pengaruh variabel *independent* terhadap variabel dependent (Gujarati, 2013).

Tabel 4. 2 Hasil Koefisien Determinasi

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.989a	.979	.979	.22298

a. *Predictors:* (Constant), trans_titik_bocor, usia_pipa, jenis_pipa

b. *Dependent Variable*: trans_hilang_air

Dari Tabel 4.6 terlihat, $R = 0,989$ dan $R^2 = 0,979$. Hal ini berarti bahwa 97,9% varians variabel tak bebas mampu dijelaskan oleh variabel bebas. Juga dapat dikatakan bahwa 2,1% variabel bebas belum mampu menjelaskan varians variabel tak bebas.

Uji ANOVA

Uji ANOVA adalah metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel tidak bebas. Hasil uji ANOVA disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji ANOVA
ANOVA^b

Model	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Regression	18455.255	3	6151.752	1.237E5	.000a
Residual	395.628	7957	.050		
Total	18850.883	7960			

a. *Predictors*: (Constant), trans_titik_bocor, usia_pipa, jenis_pipa

b. *Dependent Variable*: trans_hilang_air

Dilakukan uji interaksi pada hubungan ketiga variabel bebas untuk mengetahui adanya keterkaitan antara variabel dependent.

Hipotesis :

$H_0 : \gamma_{ij} = 0$ (Tidak ada interaksi antar faktor)

$H_1 : \gamma_{ij} \neq 0$ (Ada interaksi antar faktor) Tingkat Signifikansi $\alpha = 5\%$

Uji Statistik

P-value = 0,00 Daerah Kritik

H_0 ditolak jika P-value $< \alpha$

Kesimpulan

Karena P-value (0,00) $< \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak

Jadi adanya interaksi antara faktor usia pipa, jenis pipa dan titik kebocoran pada tingkat signifikansi 5%. Hal ini menyatakan bahwa, secara serempak variabel bebas berpengaruh signifikan terhadap variabel tak bebas untuk taraf signifikansi 5%.

Dilakukan perhitungan F_{hitung} untuk mengetahui apakah model regresi linier berganda merupakan model yang telah sesuai dalam mengestimasi hubungan antar variabel *predictor* dengan persentase kehilangan air pada tiap pipa.

$$F_{hitung} = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(N-k-1)} \quad (4.1)$$

$$F_{hitung} = \frac{0.979/3}{(1-0.979)/(7961-3-1)}$$

$$F_{hitung} = 123.649,25$$

Untuk mengambil keputusan menerima atau menolak H_0 , nilai ini kita bandingkan dengan nilai Tabel F. Namun, kalau menggunakan SPSS, kita dimudahkan. Seperti pada tabel di atas, SPSS memberikan nilai $F=123.649,25$ dengan nilai $Sig.=0.000$. Cukup bukti untuk menolak H_0 . Sebagai gantinya, kita menerima hipotesis alternatif (H_a) bahwa paling tidak satu di antara koefisien variabel-variabel independen tidak sama dengan nol. Dengan kata lain, model adalah sesuai (*fit*) dan layak digunakan.

Uji Parsial

Uji parsial adalah metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara individual terhadap variabel. Selanjutnya dilakukan Uji Parsial untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel tak bebasnya secara parsial yang disajikan pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Uji-t Parsial

Model	Coefficients ^a						
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	.589	.020		28.828	.000		
usia_pipa	.002	.001	.039	2.450	.014	.342	2.924
jenis_pipa	.067	.005	.247	14.187	.000	.281	3.553
trans_titik _ bocor	.342	.014	.532	23.777	.000	.170	5.876

a. *Dependent Variable:* trans_kehilangan_air

Hipotesis uji dua arah adalah :

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0$$

Hipotesis uji satu arah untuk pengaruh positif adalah :

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i > 0$$

Hipotesis uji satu arah untuk pengaruh negatif adalah :

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i < 0$$

Dalam kasus ini dilakukan uji satu arah dengan hubungan positif pada tiap

variabel bebas terhadap variabel terikat.

$\beta_i = 0$; Usia pipa tidak berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

$\beta_i > 0$; Usia pipa berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

Uji Statistik

Thitung = 2,450 ; P-value = 0,14

Tingkat Signifikansi $\alpha = 5\%$ Daerah Kritik

H_0 ditolak jika Thitung > Ttabel dan P-value < α Kesimpulan

Karena Thitung > Ttabel dan P-value (0,00) < α (0,05) maka H_0 ditolak. Jadi, usia pipa berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

$\beta_j = 0$; Jenis pipa tidak berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

$\beta_j > 0$; Jenis pipa berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

Uji Statistik

Thitung = 14,187 ; P-value = 0,14

Tingkat Signifikansi $\alpha = 5\%$ Daerah Kritik

H_0 ditolak jika Thitung > Ttabel dan P-value < α Kesimpulan

Karena Thitung > Ttabel dan P-value (0,00) < α (0,05) maka H_0 ditolak. Jadi, jenis pipa berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

$\beta_k = 0$; Jumlah titik kebocoran pipa tidak berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

$\beta_k > 0$; Jumlah titik kebocoran pipa berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

Uji Statistik

Thitung = 23,777 ; P-value = 0,00

Tingkat Signifikansi $\alpha = 5\%$ Daerah Kritik

H_0 ditolak jika Thitung > Ttabel dan P-value < α Kesimpulan

Karena Thitung > Ttabel dan P-value (0,00) < α (0,05) maka H_0 ditolak. Jadi, jumlah titik kebocoran pipa berpengaruh positif terhadap persentase kehilangan air pada pipa.

Model Regresi

Model regresi secara umum dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut (Drapper dan Smith, 1992).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon ; j = 1, 2, 3, \dots, k.$$

dimana :

Y adalah variabel respon

X_j adalah variabel prediktor ε adalah residual

k adalah banyaknya variabel prediktor

β₀, β₁, β₂, ..., β_k adalah parameter model regresi.

Berdasarkan hasil yang didapat pada Tabel 4.4 maka dapat dibentuk suatu persamaan linier berganda yaitu :

$$Y = 0,589 + 0,002 X_1 + 0,067 X_2 + 0,342 X_3 \quad (4.2)$$

X₁ : usia pipa X₂ : jenis pipa X₃ : titik bocor

Jadi usia pipa berpengaruh sebesar 0,002 terhadap kenaikan persentase kehilangan air pada pipa, jenis pipa berpengaruh sebesar 0,67 terhadap kenaikan persentase kehilangan air pada pipa dan jumlah titik kebocoran pada pipa berpengaruh sebesar 0,342 terhadap kenaikan persentase kehilangan air pada pipa. Hasil *running* dalam Uji ANOVA dapat dilihat dari persamaan di atas, dijelaskan bahwa variabel yang paling berpengaruh yaitu variabel titik kebocoran, dan yang paling kecil pengaruhnya yaitu usia pipa.

- Usia pipa (X₁): Koefisien untuk usia pipa (0,002) mengatakan bahwa setiap tahun bertambahnya usia pipa, kita memperkirakan ada sedikit peningkatan dalam kehilangan air. Ini artinya, semakin tua pipa, ada kemungkinan kecil bahwa pipanya akan memiliki kebocoran kecil yang bertambah seiring waktu.
- Jenis pipa (X₂): Koefisien untuk jenis pipa (0,067) menunjukkan bahwa jenis pipa berpengaruh pada kehilangan air. Jadi, berdasarkan koefisien ini, perbedaan jenis pipa akan memiliki dampak yang lebih besar terhadap kehilangan air dibandingkan dengan usia pipa. Jika jenis pipa berubah dari satu tipe ke tipe lain, perubahan dalam kehilangan air diperkirakan akan lebih besar dibandingkan dengan usia pipa yang bertambah.
- Titik bocor (X₃): Koefisien untuk titik bocor (0,342) menunjukkan bahwa ini adalah variabel yang memiliki dampak terbesar terhadap kehilangan air dalam persamaan tersebut. Ini berarti, jika ada peningkatan dalam jumlah titik bocor di sistem pipa, kita memperkirakan bahwa kehilangan air akan bertambah cukup signifikan, lebih besar dibandingkan dengan faktor-faktor lainnya seperti usia pipa atau jenis pipa.

Menurut hasil persamaan di atas ketiga faktor ini, titik bocor (X₃) memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kehilangan air daripada usia pipa (X₁) dan jenis pipa (X₂). Rekomendasi sementara yang harus dilakukan adalah memperbaiki atau mengurangi jumlah titik bocor dengan cara melakukan *maintenance* termasuk pergantian pipa sebelum terjadi kebocoran. Guna melakukan pencegahan adanya kebocoran atau kehilangan air, maka dilakukan prediksi jenis pipa, prediksi adanya titik kebocoran dalam jangka waktu lama dalam penelitian ini.

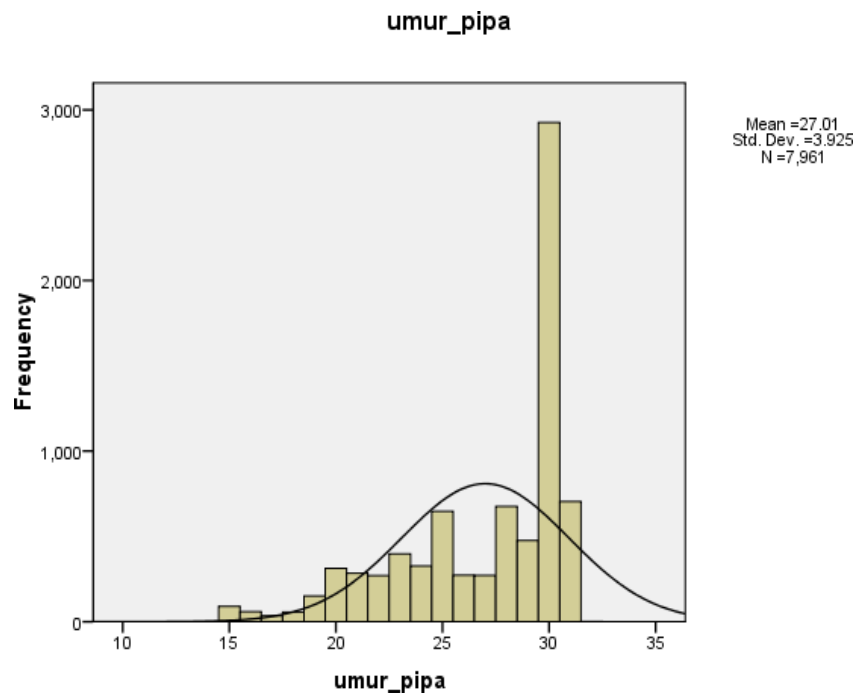
Uji Normalitas

Pengujian kenormalan digunakan untuk mengetahui apakah residual yang didapatkan dalam regresi linier berganda metode kuadrat terkecil mengikuti pola distribusi normal atau tidak. Uji yang dapat digunakan adalah uji Kolmogorov Smirnov (Daniel, 1989).

Tabel 4. 5 Hasil Uji Normalitas Residual dengan Kolmogorov-Smirnov One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		7964
Normal Parameters ^a	Mean	.0000000
	Std. Deviation	3.37098621
Most Extreme Differences	Absolute	.435
	Positive	.435
	Negative	-.378
Kolmogorov-Smirnov Z		38.795
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000
Test distribution is Normal.		

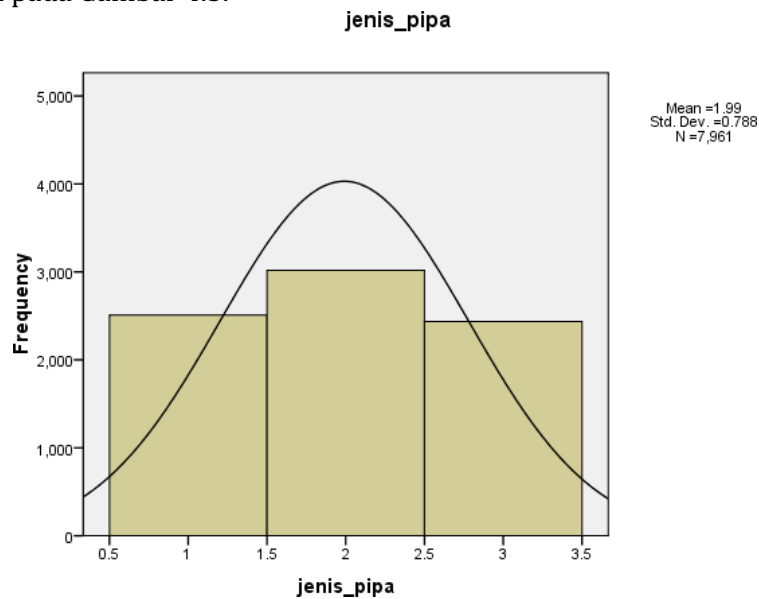
Data dikatakan berdistribusi normal jika nilai α K.S memiliki nilai lebih besar dari 0,05 (alpha : 5%). Dari tabel diatas diketahui data tidak berdistribusi normal maka harus dilakukan penanganan yaitu membuang data outlier. Selanjutnya dilakukan pengecekan bentuk kurva normalitas pada setiap variable untuk dilakukan transformasi menggunakan rumus yang sesuai dengan model kurva normalitas. Untuk variabel usia pipa disajikan pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Histogram dan Kurva Hasil Uji Normalitas

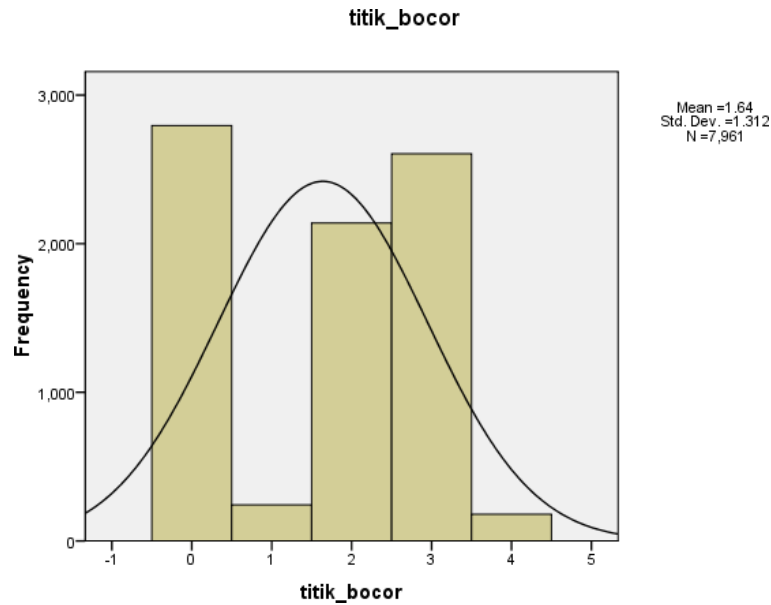
Variabel Usia Pipa Dari Gambar 4.4 dapat diketahui kurva memiliki model moderate negative skewness. Model ini dapat dilakukan tranformasi dengan rumus SQRT (k-x).

Dengan k adalah nilai tertinggi pada variable tersebut. Untuk variable jenis pipa disajikan pada Gambar 4.5.



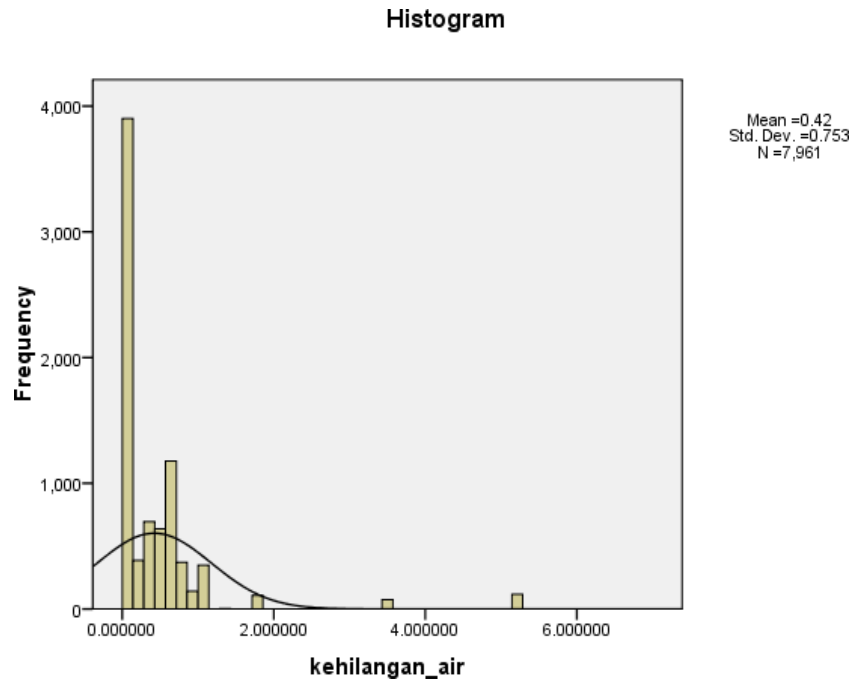
Gambar 4. 5 Histogram dan Kurva Hasil Uji Normalitas Variabel Jenis Pipa

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui kurva sudah menunjukkan model distribusi normal karena sesuai dengan kurva normalitas. Untuk variabel jumlah titik kebocoran disajikan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Histogram dan Kurva Hasil Uji Normalitas Variabel Titik Bocor

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui kurva memiliki model moderate positive skewness. Model ini dapat dilakukan tranformasi dengan rumus $\text{SQRT}(x)$. Untuk variabel persentase kehilangan air disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Histogram dan Kurva Hasil Uji Normalitas Variabel Persentase Kehilangan Air

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui kurva memiliki model substantial positive skewness dengan mengandung nilai 0. Model ini dapat dilakukan transformasi dengan rumus $\text{Log}_{10}(x+1)$. Selanjutnya dilakukan regresi biner kembali dan dilakukan uji normalitas pada residual yang dihasilkan.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Normalitas Residual dengan Kolmogorov-Smirnov One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		trans_hilang_air
N		7961
Normal Parameters ^a	Mean	2.0662
	Std. Deviation	1.53890
Most Extreme Differences	Absolute	.295
	Positive	.261
	Negative	-.295
Kolmogorov-Smirnov Z		26.360
Asymp. Sig. (2-tailed)		.052

a. Test distribution is Normal.

Data dikatakan berdistribusi normal jika nilai α K.S memiliki nilai lebih besar dari 0,05 (alpha : 5%). Dari tabel di atas diketahui α K.S (0,052) > α (0,05). Jadi dapat disimpulkan bahwa data sudah berdistribusi normal.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menyatakan bahwa pendeteksian kehilangan air dapat dilakukan dengan menggunakan data aset meliputi jenis pipa, usia pipa, dan titik kebocoran. Dari hasil uji memunculkan persamaan berikut:

$$Y = 0,589 + 0,002 X_1 + 0,067 X_2 + 0,342 X_3$$

Hasil *running* dalam uji statistika ditemukan variabel yang paling berpengaruh terhadap kehilangan air adalah variabel titik kebocoran, diikuti oleh jenis pipa, dan yang memiliki pengaruh paling kecil adalah usia pipa. Analisis ini mendukung bahwa perubahan dalam jumlah titik bocor di sistem pipa memiliki dampak yang lebih besar terhadap kehilangan air, lebih besar dibandingkan dengan faktor-faktor lain seperti usia pipa atau jenis pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, A. S., Bhaskoro, R. G. E., & Firdaus, N. A. (2018). Program Penurunan Tingkat Kehilangan Air Perum Muria Indah PDAM Kabupaten Kudus. *Journals.Unihaz.Ac.Id*, 62-73. <https://journals.unihaz.ac.id/index.php/georafflesia/article/view/589>
- Alvisi, S., & Franchini, M. (2014). A procedure for the design of district metered areas in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 70(December), 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.006>
- American Water Works Association. (2004). *Steel pipe : a guide for design and installation*. April, 241.
- Anisha, G., Kumar, A., Kumar, J., & Raju, P. (2016). Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET for Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4), 257682.
- Azwar, E., Irawan, D. S., & Naufal, M. (2021). Study of Physical Water Loss in Water Distribution Network using Step Test Method and Pressure Calibration. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 88-103. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2293>
- Badan Pusat Statistik. (2022). Kota Malang Dalam Angka 2022. *Badan Pusat Statistik*, 1-458. <https://malangkota.bps.go.id/publication/2022/02/25/f0956410736a31dde7f7af54/kota-malang-dalam-angka-2022.html> (Diakses: 10 Juli 2022)
- Baird, G. M. (2011). Navigating service level expectations: Asset management planning. *Journal / American Water Works Association*, 103(2), 38-41. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2011.tb11397.x>
- Bank, A. D. (2013). *Water Utility Asset Management: A Guide for Development Practitioners*. www.adb.org
- BPPSPAM. (2009). *Pedoman Penurunan Air Tak Berekening (Non Revenue Water)*. 68. <http://www.bppspam.com>
- Cavazzini, G., Pavesi, G., & Ardizzon, G. (2020). Optimal assets management of a water distribution network for leakage minimization based on an innovative index. *Sustainable Cities and Society*, 54(September 2019), 101890. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101890>
- Diasa, I. W., Soriarta, I. K., Bagus, I., & Suryawan, G. (2019). Analisa kehilangan Air (Non Revenued Water) Pada jaringan Sistem Penyediaan Air minum (SPAM) Studi Kasus: Kecamatan Mengwi. *Jurnal Gradien Fakultas Teknik UNR*, 11(2), 19 hal.

VISA: Journal of Visions and Ideas

Vol 4 No 1 (2024) 130 - 149 E-ISSN 2809-2058 P-ISSN 2809-2643

DOI: 47467/visa.v4i1.6078

- Drapper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. Penerbit: Wiley-Interscience.
- ESRI. (2018). MODUL PEMBELAJARAN ArcGIS. *Mata Kuliah Sistem Informasi Geografis*, 1-76.
- Farley, M., Gary, W., Zainuddin, Istandar, A., & Singh, S. (2008). *Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer, Panduan untuk Memahami Kehilangan Air*. 60 hal.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Singh, S. (2008). *Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer: Panduan untuk Memahami Kehilangan Air*.
- Frauendorfer, R., & Liemberger, R. (2010). The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water. In *Asian Development Bank* (Vol. 41, Issue September).
- Galal-Gorchev, H. (1993). WHO guidelines for drinking-water quality. *Water Supply*, 11(3-4), 1-16.
- Ghozali, I. (2017). *Uji Statistika*. Penerbit: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Gollobin, L. P. (1952). *A STUDY OF THE PRESSURE DROP ACCOMPANYING*. *Department of Chemical Engineering*.
- Gujarati, D. N. (2015). *Basic Econometrics*. Edisi ke-5. Penerbit: McGraw-Hill Education.
- James, F., & Baehr, J. M. (2021). Integrating Supply Management With Finance and Asset Management. *Journal - American Water Works Association*, 113(6), 56-66. <https://doi.org/10.1002/awwa.1748>
- Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries - How the private sector can help: A look at performance-based service contracting. *Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series*, 8, 1-52. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/385761468330326484/pdf/394050Reducing1e0water0WSS81PUBLIC1.pdf>
- Kusumajati, B., Solichin, & Koosdayani. (2016). Analisis distribusi air pada sistem penyediaan air minum Kampus Universitas Sebelas Maret dengan Epanet. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2(1), 806-813.
- Monsef, H., Naghashzadegan, M., Farmani, R., & Jamali, A. (2018). Pressure management in water distribution systems in order to reduce energy consumption and background leakage. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 67(4), 397-403. <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.002>

VISA: Journal of Visions and Ideas

Vol 4 No 1 (2024) 130 - 149 E-ISSN 2809-2058 P-ISSN 2809-2643

DOI: 47467/visa.v4i1.6078

- Naway, R., Halim, F., Jasin, M. I., & Kawet, L. (2013). Pengembangan Sistem Pelayanan Air Bersih. *Jurnal Sipil Statik*, 01(06), 444–451.
- Oluwadare Joshua Oyebode, & Igbi, A. E. (2006). Effect of pressure dependent analysis on water quality performance assessment of distribution network.',
- Pekerjaan Umum (Public Works). (2007). *Penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum*.
ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/permen/permen_18_2007.pdf
- Plastics Pipe Institute (PPI). (1950). Chapter 6 - Design of PE Piping Systems. pp. 119-127. *Journal of Water Resource Engineering and Management*, 5(2), 37–44.
- PPI Handbook of Polyethylene Pipe*, 155–264. papers2://publication/uuid/12B75292-B409-442B-ABA6-AC649D5239AA
- Rossmann, L. A. (2000). *EPANET 2 User's Manual Cincinnati, U.S.A* (Issue September).
http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1007WWU.PDF%5Chttp://www.image.u-nipd.it/salandin/IngAmbientale/Progetto_2/EPANET/EN2manual.pdf%5Chttp://sss.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0306312708089715
- Savić, D., & Ferrari, G. (2014). Design and performance of district metering areas in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 89, 1136–1143.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.236>
- Seo, H. C. (2020). New protection scheme in loop distribution system with distributed generation. *Energies*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/en13225897>
- Services, R. W. (n.d.). Non Revenue Water rate. *The International Benchmarking Network*, 68.
- Setiawan, K. (2019). Buku Ajar Metodologi Penelitian. *Jurusan Argonomi Dan Hortikultura Fakultas Pertanian Universitas Lampung*, 186.
www.penapersada.com
- Shah, S. M., & Purwanto, M. Y. J. (2016). Analisis Neraca Air dan Rancangan Konservasi Sumberdaya Air di Daerah Aliran Sungai (DAS) Prumpung, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 1(3), 111–124.
- Sharma, V., Tyagi, S., Rastogi, S., Kumar, K., Siddiqui, M. A., Kumar, M., & Supervisor, J. (2022). Comparison Review of Methods of Water Distribution System For Efficient Water Supply. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7(5), 974–5823.
- Sholikhati, I., Harisuseno, D., & Suhartanto, E. (2013). Studi identifikasi indeks kekeringan hidrologis pada Daerah Aliran Sungai (DAS) berbasis Sistem

VISA: Journal of Visions and Ideas

Vol 4 No 1 (2024) 130 - 149 E-ISSN 2809-2058 P-ISSN 2809-2643

DOI: 47467/visa.v4i1.6078

Informasi Geografis (SIG)(studi kasus pada DAS Brantas Hulu : sub DAS Upper Brantas, sub DAS Amprong dan Sub DAS Bangosari). *Jurnal Teknik Pengairan*, 4(2), 1–15.
<http://www.jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/194>

Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). *Water Loss Control, Second Edition*.

UNICEF Website, 1–60.
https://www.unicef.org/wash/files/UNICEF_Strategy_for_WASH_2016_2030.PDF

Unicef. (2009). *Technical Guidelines for the Construction and Management of Drinking Water Treatment Plant*. April, 1–67.

UNICEF. (2016). *Strategy for Water, Sanitation and Hygiene 2016-2030*.

Vilarinho, H., D’Inverno, G., Nóvoa, H., & Camanho, A. S. (2023). The measurement of asset management performance of water companies. *Socio- Economic Planning Sciences*, 87(February), 101545.
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101545>

World Health Organization, & World Plumbing Council. (2006). *Standards for materials u*