

ANALISIS KEHILANGAN AIR DENGAN METODE NERACA AIR DAN *INFRASTRUCTURE LEAKAGE INDEX* PADA PDAM TIRTA TAMIANG

Fatimah, Sri Meutia* dan Suri Astika

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh Utara, Indonesia

* Email: srimeutia_mti@yahoo.co.id

Abstrak

Pengelolaan pelayanan air bersih untuk kebutuhan masyarakat Kota Kuala Simpang dilaksanakan oleh PDAM Tirta Tamiang yang merupakan perusahaan milik pemerintah Kota Kuala Simpang. Pada tahun 2017 perusahaan mengalami kebocoran air mencapai 41,3% yaitu sebesar 2,25 juta meter kubik air yang hilang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Neraca Air dan ILI (*Infrastructure Leakage Index*). Metode Neraca Air bertujuan mengidentifikasi kehilangan air yang terjadi dalam sistem pendistribusian. ILI bertujuan untuk mempertimbangkan pengelolaan jaringan dengan menggunakan skala. Penelitian dengan menggunakan metode Neraca Air, PDAM Tirta Tamiang mengalami kebocoran sebesar 38,5% setara dengan 394.680 m³/tahun. Dengan kerugian *financial* sebesar Rp. 1.737.128.799,-/tahun. Sedangkan dengan metode ILI, PDAM Tirta Tamiang masuk pada golongan D dengan nilai kebocoran >400 liter/sambungan/hari, yang artinya PDAM Tirta Tamiang tidak menggunakan sumber daya secara efisien dan hal ini harus segera ditangani.

Kata kunci : Infrastructure Lakeage Index (ILI), Kehilangan Air, Neraca Air

PENDAHULUAN

Kehadiran PDAM dimungkinkan melalui Undang-undang No. 5 tahun 1962 sebagai kesatuan usaha milik Pemda yang memberikan jasa pelayanan dan menyelenggarakan kemanfaatan umum di bidang air minum. PDAM dibutuhkan masyarakat perkotaan untuk mencukupi kebutuhan air bersih yang layak dikonsumsi. Pengelolaan pelayanan air bersih untuk kebutuhan masyarakat Kota Kuala Simpang dilaksanakan oleh PDAM Tirta Tamiang kota Kuala Simpang yang merupakan perusahaan milik pemerintah Kota Kuala Simpang. Sama dengan PDAM di kota-kota lain di Indonesia, PDAM kota Kuala Simpang juga mempunyai masalah yang sama dengan PDAM daerah di Indonesia yaitu tingkat kehilangan air yang tinggi.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Tamiang Kuala Simpang merupakan salah satu perusahaan yang mengalami tingkat kebocoran air. Pada tahun 2017 perusahaan mengalami kebocoran air mencapai 41,3% yaitu sebesar 2,25 juta meter kubik air yang hilang. PDAM Tirta Tamiang menggunakan perhitungan sederhana dengan membagi jumlah Selisih Dist-DRD (m³) dan Jumlah Distribusi (m³) pertahun. Perhitungan sederhana ini hanya dapat mengetahui total keseluruhan air yang hilang, namun tidak dapat mengetahui secara lebih rinci kemana saja air yang tidak tercatat dalam rekening. Dari permasalahan yang terjadi di PDAM Tirta Tamiang maka diperlukan "Analisis Kehilangan Air (*Water Losses*) menggunakan metode Neraca Air dan ILI (*Infrastructure Leakage Index*) di PDAM Tirta Tamiang, Aceh Tamiang."

LANDASAN TEORI

Kehilangan Air

Kehilangan air merupakan faktor yang dapat menyebabkan kerugian pada suatu sistem penyediaan air, baik terhadap PDAM maupun terhadap konsumen. Dengan adanya kehilangan air maka pihak PDAM akan menderita kerugian secara ekonomi dan finansial,

sedangkan kerugian yang diderita pihak konsumen adalah terganggunya kapasitas dan kontinuitas pelayanan [1].

Klasifikasi kehilangan air dibagi kedalam beberapa jenis, diantaranya [2]:

a. Kehilangan air yang tercatat

Kehilangan air yang tercatat meliputi: pemakaian air untuk pengurusan pipa, pemakaian fire hydrant, pemakaian air untuk fasilitas keindahan kota, pemakaian air untuk penggunaan sosial yang tidak terbayar dan lain-lain.

b. Kehilangan air yang tidak tercatat

Kehilangan air yang tidak tercatat meliputi: kebocoran air pada jaringan pipa distribusi, pemakaian air konsumen yang tidak tercatat oleh meteran karena meteran rusak atau tidak teliti, pembuatan rekening yang salah dan lain-lain. Berdasarkan Permen PU Nomor 20/PRT/M/2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum yaitu besarnya kehilangannya melebihi batas kewajaran (20 %).

Audit Air

Audit air adalah suatu rangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memperhitungkan air yang dimasukkan ke dalam sistem distribusi dan pendistribusiannya, baik yang dapat dilacak penggunaannya maupun yang hilang. Audit air sebaiknya dilakukan setiap tahun sekali.

Manfaat audit air antara lain :

- Untuk memahami ke mana saja perginya air yang disuplai ke dalam system jaringan distribusi
- Menghasilkan data-data yang handal untuk perhitungan keuangan/bisnis.

Neraca Air

Untuk mempermudah pelaksanaan audit air, diperlukan instrumen pembantu. Instrumen tersebut adalah neraca air. Neraca air merupakan kerangka untuk menilai kondisi kehilangan air di suatu PDAM. Perhitungan neraca air memiliki makna:

- Mengungkap ketersediaan data dan tingkat pemahaman terhadap situasi ART (air tidak berekening)
- Menciptakan kesadaran tentang adanya masalah ART (air tidak berekening)
- Petunjuk langsung menuju perbaikan.

Peristilahan neraca air yang saat ini baku telah banyak digunakan di negara-negara lain, telah juga diadopsi dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 18 tahun 2007. Penggunaan neraca air yang sudah dibakukan peristilahannya maupun perhitungannya, membuat kehilangan air pada suatu PDAM atau pengelola dibandingkan dengan PDAM atau pengelola lain, bahkan dari satu negara dengan negara lain bisa dibandingkan [3].

Tabel 1 Neraca Air

Volume Suplai Input ke dalam Sistem (1)	Konsumsi Resmi (2)	Konsumsi Resmi Berekening (4)	Konsumsi Bermeter Berekening (8)	Air Berekening (ABR) (17)
		Konsumsi Resmi Tak Berekening (5)	Konsumsi tak Bermeter Berekening (9)	
	Kehilangan Air (3)	Kehilangan Non-Teknis / Komersial (6)	Konsumsi Bermeter tak Berekening (10)	Air Tak Berekening (NRW) (18)
			Konsumsi tak Bermeter tak Berekening (11)	
		Kehilangan Fisik / Teknis (7)	Konsumsi Tak Resmi (12)	
			Ketidakakuratan Meter Pelanggan dan Kesalahan Penanganan Data (13)	
			Kebocoran Pada Pipa Transmisi dan Pipa Induk (14)	
			Kebocoran dan Limpahan pada Tangki Reservoar (15)	
Kebocoran pada Pipa Dinas hingga Meter Pelanggan (16)				

Infrastructure Leakage Index (ILI)

Indeks Kebocoran Infrastruktur (*Infrastructure Leakage Index/ILI*) merupakan satu indikator kehilangan fisik yang sangat baik, yang mempertimbangkan bagaimana jaringan dikelola. Dengan adanya ILI, dapat dilihat sejauh mana satu jaringan distribusi dikelola sebagai pengendalian kehilangan air. ILI merupakan perbandingan antara CAPL yang ada dalam volume tahunan kehilangan fisik terhadap MAAPL yang merupakan kehilangan fisik tahunan yang dicapai secara minimum [4].

Tabel 2 Matriks Target Kehilangan Fisik

		Kehilangan Fisik (liter/sambungan/hari)					
Katagori Kinerja Teknis	ILI	(keadaan sistem bertekanan pada tekanan rata-rata)					
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	
Negara-negara Maju	A	1-2	< 50	< 75	< 100	< 125	
	B	2-4	50-100	75-150	100-200	125-250	
	C	4-8	100-200	150-300	200-400	250-500	
	D	> 8	> 200	> 300	> 400	> 500	
Negara-negara berkembang	A	1-4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4-8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8-16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	

Dimana :

Kategori A – Dalam keadaan baik.

Kategori B – Berpotensi untuk menghasilkan perbaikan yang nyata.

Kategori C – Dalam keadaan lemah.

Kategori D – Dalam keadaan buruk.

Analisis dan Pembahasan

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi data yang ada pada PDAM Tirta Tamiang:

Tekanan

Pengukuran tekanan dilakukan ada di 3 titik yang berbeda, yaitu tekanan awal di nomor id 16456, tekanan tengah di nomor id 1286, dan tekanan akhir di nomor id 10785.

Tabel 3 Data Tekanan

Jam	Tek. Awal (atm)	Tek. Tengah (atm)	Tek. Akhir (atm)
08.00-09.00	1,5	1,4	1,28
09.00-10.00	1,5	1,4	1,28
10.00-11.00	1,35	1,3	1,13
11.00-12.00	1,45	1,4	1,23
12.00-13.00	1,4	1,3	1,18
13.00-14.00	1,2	1,1	0,98
14.00-15.00	1,4	1,3	1,18
15.00-16.00	1,3	1,2	1,08
16.00-17.00	1,6	1,5	1,38

17.00-18.00	1,6	1,5	1,38
18.00-19.00	1,65	1,6	1,45
19.00-20.00	1,7	1,6	1,48
20.00-21.00	2,1	2	1,88
21.00-22.00	2	1,9	1,78
22.00-23.00	2,1	2	1,88
23.00-24.00	1,9	1,8	1,68
00.00-01.00	1,7	1,6	1,48
jumlah rata-rata	1,51		

Akurasi Meter

Akurasi meter bertujuan untuk melihat ketelitian meter air pelanggan di Desa Payabedi. Dari hasil pengamatan pengukuran akurasi meter air selama 1 minggu, didapat selisih keakuratan meter sebesar 9,8.

Data Air yang Didistribusi

Jumlah air yang didistribusi selama tahun 2017 (Jan-Des) dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Jumlah Distribusi Air (2017)

No	Bulan	Air Yang Di Distribusikan (M ³ /Bulan)
1	Januari	84.903
2	Februari	81.285
3	Maret	88.923
4	April	86.054
5	Mei	88.923
6	Juni	85.277
7	Juli	91.601
8	Agustus	86.244
9	September	80.870
10	Oktober	88.923
11	November	80.870
12	Desember	80.888
rata-rata		85.396,75

Air Yang Tercatat Dalam Tagihan Rekening

Jumlah air di rekening tagihan (jumlah air yang terjual) pada tahun 2017 yang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Jumlah Air dalam Rekening Tagihan

No	Bulan	Air Tercatat Dim Rek Tagihan (M ³ /Bulan)
1	Januari	51.525
2	Februari	55.660
3	Maret	53.949
4	April	48.096
5	Mei	57.537

6	Juni	52.807
7	Juli	56.861
8	Agustus	49.942
9	September	49.479
10	Oktober	51.845
11	November	49.048
12	Desember	53.332
Rata-rata		52.506,75

Jumlah Sambungan Rumah Tangga

Jumlah sambungan pipa pelanggan PDAM Tirta Tamiang di Desa Payabedi adalah sebesar 316 sambungan.

Data Tarif

Tarif yang tercatat dalam meter rekening pelanggan untuk tahun 2017 dapat dilihat pada Table 6.

Tabel 6 Jumlah Tarif

No	Bulan	Tarif(Rp)
1	Januari	221.810.000
2	Februari	243.356.400
3	Maret	235.962.850
4	April	216.890.450
5	Mei	247.167.300
6	Juni	233.589.050
7	Juli	252.971.400
8	Agustus	222.010.850
9	September	220.622.200
10	Oktober	229.478.600
11	November	222.433.850
12	Desember	228.134.800
Jumlah		2.774.427.750
rata-rata		231.202.313

Panjang Pipa

Panjang pipa yang digunakan untuk masing-masing pelanggan sebesar 6 meter dengan jenis pipa PVC. Total panjang pipa keseluruhan adalah 436.080 meter untuk 316 pelanggan PDAM Tirta Tamiang di Desa Payabedi.

Perhitungan Kehilangan Air

Persentase Kehilangan Air (%)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang didistribusikan (m}^3\text{)} \\ &= 85.396,75 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan} \\ &= 1.024.761 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang tercatat di meter tagihan (m}^3\text{)} \\ &= 52.506,75 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan} \\ &= 630.081 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Sehingga didapat persen kehilangan air :

$$H = \frac{1.024.761 - 630.081}{1.024.761} \times 100\%$$

$$H = 38,5 \%$$

Persentase kehilangan air sebesar 38,5% dapat dilihat dalam m³yaitu:

Besar kehilangan air dalam m³= $H \times D$

$$\begin{aligned} &= 38,5\% \times 1.024.761 \\ &= 394.533 \text{ m}^3/\text{tahun} \\ &= 32.877,75 \text{ m}^3/\text{bulan} \\ &= 1.096 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Maka kehilangan air yang terjadi selama tahun 2017 adalah sebesar 1.096 m³/hari atau 394.533 m³/tahun.

Menghitung Besar Kehilangan Air dari Meter Pelanggan

$$\begin{aligned} \% \text{ Akurasi meter} &= \frac{\text{Total selisih angka meter air}}{\text{Jumlah Sampel}} \times 100\% \\ &= \frac{9,8}{316} \times 100\% \\ &= 3,1 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, kehilangan air dari meter pelanggan maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan dari meter} &= \% \text{ akurasi meter} \times \text{kehilangan air} \\ &= 3,1 \% \times 394.533 \text{ m}^3/\text{tahun} \\ &= 12.235 \text{ m}^3/\text{tahun}. \end{aligned}$$

Menghitung Kehilangan Air Dalam Rupiah

Jumlah air pada rekening yang ditagih pada tahun 2017 yang dirata-ratakan didapat sebesar Rp 231.202.313,-. Berdasarkan jumlah kehilangan air yang terjadi, maka perhitungan kehilangan air dalam rupiah :

$$\begin{aligned} \text{Tarif} &= \text{Rp } 231.202.313,- / \text{bulan} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 2.774.427.750,- / \text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang terjual} &= 52.506,75 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan} \\ &= 630.081 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Maka, tariff air rata-rata adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Harga tarif rata-rata} &= \frac{\text{Tarif Air}}{\text{Jumlah air yang terjual}} \\ &= \frac{2.774.427.750}{630.081} \\ &= \text{Rp. } 4.403,- / \text{m}^3 \end{aligned}$$

Jumlah kehilangan air dalam rupiah adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan air dalam rupiah} &= \text{kehilangan air dalam tahun} \times \text{tarif} \\ &= 394.533 \text{ m}^3/\text{tahun} \times \text{Rp. } 4.403,- / \text{m}^3 \\ &= \text{Rp. } 1.737.128.799,- / \text{tahun} \\ &= \text{Rp. } 144.760.733,- / \text{bulan} \\ &= \text{Rp. } 4.825.358,- / \text{hari} \end{aligned}$$

Untuk tahun 2017, PDAM Tirta Tamiang mengalami kerugian finansial sebesar Rp, 4.825.358- /hari atau Rp 1.737.128.799,- /tahun.

Penyusunan Neraca Air

Volume input sistem

$$\begin{aligned} \text{Volume Input Sistem} &= \text{Jumlah air yang didistribusikan} \times 12 \\ &= 85.396,75 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 12 \text{ bulan} \\ &= 1.024.761 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Konsumsi Resmi

Jumlah air yang tercatat dalam rekening tagihan untuk tahun 2017, yaitu sebesar 52.506,75 m³/bulan x 12 bulan atau 630.081 m³/tahun

Kehilangan Air

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan Air} &= \text{Volume input sistem} - \text{konsumsi resmi} \\ &= 1.024.761 \text{ m}^3/\text{tahun} - 630.081 \text{ m}^3/\text{tahun} \\ &= 394.680 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, maka nilai tiap komponen yang dimasukkan kedalam neraca air, susunan tersebut ditampilkan dalam Tabel 7 .

Tabel 7 Neraca Air

Volume Suplai Input ke dalam Sistem (1) 1.024.761 m ³ /tahun	Konsumsi Resmi (2) 630.081 m ³ /tahun	Konsumsi Resmi Berekening (4) 630.081 m ³ /tahun	Konsumsi Bermeter Berekening (8) 630.081 m ³ /tahun	Air Berekening (ABR) (17) 630.081 m ³ /tahun	
			Konsumsi tak Bermeter Berekening (9) (estimasi meter pelanggan rusak)		
	Kehilangan Air (3) 394.680 m ³ /tahun	Konsumsi Resmi tak Berekening (5)		Konsumsi Bermeter tak Berekening (10) (pemakaian pada instansi tertentu dan unit pengolahan)	Air Tak Berekening (NRW) (18) 394.680 m ³ /tahun
				Konsumsi tak Bermeter tak Berekening (11) (penggunaan air oleh pemadam kebakaran dan pencucian pipa)	
		Kehilangan Non-Teknis / Komersial (6) 12.235 m ³ /tahun		Konsumsi Tak Resmi (12) (pemakaian illegal)	
				Ketidakkuratan Meter Pelanggan dan Kesalahan Penanganan Data (13) 12.235 m ³ /tahun	
		Kehilangan Fisik / Teknis (7) 382.440 m ³ /tahun		Kebocoran Pada Pipa Transmisi dan Pipa Induk (14) 370.205 m ³ /tahun	
				Kebocoran dan Limpahan pada Tangki Reservoir (15) 38.244 m ³ /tahun	
		Kebocoran pada Pipa Dinas hingga Meter Pelanggan (16) 38.244 m ³ /tahun			

Perhitungan Indeks Kebocoran (*Infrstruktur Leakage Index/ILI*)

Menghitung MAAPL

$$\text{MAAPL (liter/hari)} = [18 \times Lm + (0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \times P]$$

Diketahui :

- Lm = panjang pipa utama (km) = 436,080 m = 436,1 km
- Nc = Jumlah sambungan pelanggan = 316 SR
- Lp = panjang rata-rata pipa dinas = 6 m = 0,006 x 316 SR = 1,896 km
- P = tekanan rata-rata (m) = 1,51 atm = 15,1 m

Maka,

$$\begin{aligned} \text{MAAPL (liter/hari)} &= [18 \times Lm + (0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \times P] \\ &= [18 \times 436,1 + (0,8 \times 316 + 25 \times 1,896)] \times 15,1 \\ &= 12.382,82 \text{ l/hari} \\ &= 371.484,6 \text{ l/bulan} \\ &= 4.457.815,2 \text{ l/tahun} \end{aligned}$$

Menghitung CAPL

$$\begin{aligned} \text{CAPL (liter/tahun)} &= \text{Kehilangan Fisik} \\ &= 382.440 \text{ m}^3/\text{tahun} \\ &= 382.440.000 \text{ l/tahun} \end{aligned}$$

Menghitung ILI

$$ILI = \frac{CAPL}{MAAPL}$$

Diketahui :

MAAPL = 4.457.815,2 l/tahun

CAPL = 382.440.000 l/tahun

Maka,

$$ILI = \frac{CAPL}{MAAPL} = \frac{382.440.000 \text{ l/tahun}}{4.457.815,2 \text{ l/tahun}} = 85,7$$

Nilai ILI dari hasil perhitungan didapat adalah 85,7 dan dengan nilai tekanan rata-rata sebesar 15,1 dimana mendekati nilai rata-rata tekanan pada tabel matriks target kehilangan fisik yaitu 20m.

Tabel 8 Matriks Target Kehilangan Air

		Kehilangan Fisik (liter/sambungan/hari)					
Katagori Kinerja Teknis		ILI	(keadaan sistem bertekanan pada tekanan rata-rata)				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Negara-negara Berkembang	A	1-2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2-4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4-8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Negara-negara Berkembang	A	1-4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4-8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8-16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	

Dari tabel diatas, nilai ILI masuk pada golongan D yaitu didapatkan nilai kebocoran >400 liter/sambungan/hari. Ini berarti bahwa PDAM berada dalam keadaan buruk. Perusahaan air minum menggunakan sumber daya secara tidak efisien dan program-program pengurangan kehilangan air merupakan keharusan.

KESIMPULAN

Perhitungan neraca air untuk melihat kehilangan air, diperoleh kehilangan air sama dengan catatan kehilangan air di PDAM tirta TamiangJika, persentase mendapatkan nilai yang sama yaitu sebesar 38,5%. Namun pada nilai kehilangan terdapat hasil yang berbeda, pada data PDAM Tirta Tamiang nilai kehilangan air sebesar 394.511 m³/tahun sedangkan pada hasil penelitian dengan metode Neraca Air terdapat nilai kehilangan air sebesar 394.680 m³/tahun. Untuk kerugian *finansial*, PDAM Tirta Tamiang tidak dapat mengetahui berapakah kerugian yang ditimbulkan akibat kehilangan sebesar 38,5% namun dengan metode Neraca Air dapat mengetahui kerugian *finansial* dari 38,5% air yang hilang adalah sebesar Rp. 1.737.128.799,-/tahun. Menggunakan metode ILI (*Infrastructure Leakage Index*) dapat diketahui bahwa PDAM Tirta Tamiang masuk dalam golongan D dengan nilai kebocoran >400 liter/sambungan/hari, yang artinya PDAM Tirta Tamiang tidak menggunakan sumber daya secara efisien dan hal ini harus segera ditangani. Jika tidak dilakukan upaya penurunan untuk kehilangan air, maka setiap tahun PDAM Tirta Tamiang akan mengalami kerugian *finansial* semakin besar. Saran yang dapat diberikan adalah perusahaan perlu menggunakan metode Neraca Air dan ILI (*Infrastructure Leakage Index*) setiap tahunnya untuk dapat mengetahui kemana saja

kehilangan air yang terjadi pada PDAM Tirta Tamiang tersebut. Dengan mengetahui kehilangan air, maka pihak

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Rizki Sya'ban. (2016). *Penerapan Jaringan Distribusi Sistem Distric Meter Area (Dma) Dalam Optimalisasi Penurunan Kehilangan Air Fisik Ditinjau Dari Aspek Teknis Dan Finansial (Studi Kasus : Wilayah Layanan Ipa Bengkuring Pdam Tirta Kencana Kota Samarinda*. No : 024/S2-PIAS/2016. ITB, Bandung.
- [2] Akatirta, 2010, *Modul Pelatihan Distribusi, Topik Kehilangan Air Fisik*, Yayasan Pendidikan Tirta Dharma, Magelang.
- [3] Sutjahjo, B. (2014). *Penurunan Air Tak Berekening (Non Revenue Water)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum
- [4] Farley et al., (2008). *Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer - Panduan untuk Memahami Kehilangan Air*.