

# Perencanaan Alternatif Sistem Pengoperasian Pompa Banjir dan Pompa Lumpur di Saluran Kalidami dan Saluran Kalibokor Kota Surabaya

Nuri Triainni Pristaloka, dan Eddy Setiadi Soedjono

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

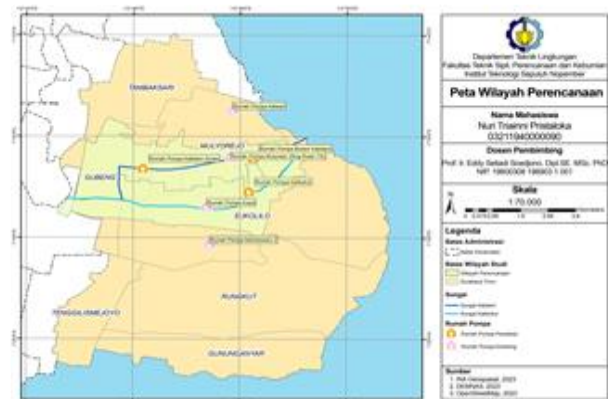
e-mail: eddysoedjono@gmail.com

**Abstrak**—Saluran Kalidami dan Saluran Kalibokor merupakan saluran pematuan primer di Surabaya Timur. Fungsi awal saluran untuk mengalirkan limpasan air hujan. Akan tetapi, saat musim kemarau, saluran juga menampung debit air limbah permukiman. Akibatnya terjadi penambahan beban saluran yang berpotensi menimbulkan banjir/genangan. Untuk mengendalikan banjir tersebut perlu dilakukan perencanaan alternatif sistem pengoperasian pompa baik pompa banjir maupun pompa lumpur di Rumah Pompa Kalibokor, Rumah Pompa Kalidami *Screw*, dan Rumah Pompa Bozem Kalidami. Perencanaan alternatif diawali dengan perhitungan debit banjir rencana yang mencakup debit limpasan air hujan, debit air limbah permukiman, dan debit pintu air. Selanjutnya ditawarkan alternatif operasional pompa pada saat musim penghujan dan kemarau hingga dihitung biaya operasionalnya meliputi biaya listrik (PLN atau genset) serta biaya pemeliharaan dan perawatan pompa. Berdasarkan alternatif yang ditawarkan, jumlah pompa yang digunakan sama dengan jumlah pompa eksisting. Saat musim penghujan, semua pompa akan dioperasikan secara maksimal, sedangkan saat kemarau dinyalakan 2 pompa lumpur 0,25 m<sup>3</sup>/detik dan 1 pompa banjir 3 m<sup>3</sup>/detik untuk menurunkan elevasi muka air saluran. Saat musim hujan di Rumah Pompa Kalibokor dioperasikan 3 pompa banjir berkapasitas 3 m<sup>3</sup>/detik dan 2 pompa lumpur berkapasitas 0,25 m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan saat kemarau, pompa dioperasikan selama 5,7 jam perhari. Biaya operasional yang dikeluarkan sebesar Rp 1.057.075.502/tahun. Lalu, di Rumah Pompa Kalidami *Screw*, pengoperasian pompa memanfaatkan polder sebagai kontrol elevasi. Lima *screw pump* 1,3 m<sup>3</sup>/detik, 1 pompa banjir 3 m<sup>3</sup>/detik, dan 2 pompa lumpur 0,25 m<sup>3</sup>/detik dioperasikan saat musim hujan. Pompa dioperasikan selama 9,53 jam perhari saat kemarau. Total biaya operasionalnya yaitu Rp 1.478.955.547/tahun. Kemudian sistem pengoperasian pompa di Rumah Pompa Bozem Kalidami memanfaatkan Bozem Kalidami sebagai tempat penampungan air sementara. Jumlah pompa sebanyak 7 pompa banjir 3 m<sup>3</sup>/detik dan 2 pompa lumpur 0,25 m<sup>3</sup>/detik akan dioperasikan semuanya saat musim hujan, sedangkan saat kemarau dinyalakan selama 5,4 jam perhari. Biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 1.615.109.563/tahun.

**Kata Kunci**—Alternatif Operasional Pemompaan, Biaya Operasional Pompa, Saluran Kalibokor, dan Saluran Kalidami.

## I. PENDAHULUAN

**S**ALURAN Kalidami dan Saluran Kalibokor Surabaya merupakan saluran yang termasuk ke dalam Rayon Gubeng dalam pelayanannya. Bentuk kedua saluran berupa saluran pematuan primer dari sistem drainase dimana air dialirkan secepatnya ke badan air. Akibatnya lama-kelamaan saluran menerima beban yang melampaui kapasitasnya [1]. Saluran tersebut menerima beban dari air hujan serta air limbah permukiman secara bersamaan. Perencanaan Saluran Kalidami dan Kalibokor awalnya difungsikan untuk menyalurkan debit limpasan air hujan dari suatu wilayah.



Gambar 1. Wilayah perencanaan.

Namun di musim kemarau, saluran juga berisi *grey water* dengan debit yang relatif kecil. Adanya penambahan debit dari *grey water* tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya banjir di sekeliling wilayah *catchment area* tersebut [2].

Kasus banjir sering terjadi di sekitar wilayah yang dilewati oleh Saluran Kalidami dan Saluran Kalibokor yaitu di kawasan Kertajaya, Dharmahasada, Manyar, dan lainnya. Wilayah-wilayah tersebut cukup rawan terjadinya banjir karena kondisi topografi yang landau dan daerah yang padat penduduk [3]. Untuk mengatasi genangan air tersebut maka Pemerintah Kota Surabaya mulai melakukan normalisasi saluran dengan melakukan pengerukan saluran di Bozem Kalidami serta perbaikan rumah pompa eksisting yang ada di Surabaya.

Pada Saluran Kalidami dan Kalibokor terdapat tiga rumah pompa yang digunakan sebagai pengendali banjir. Rumah pompa tersebut yaitu Rumah Pompa Kalidami *Screw*, Rumah Pompa Bozem Kalidami, dan Rumah Pompa Kalibokor. Kinerja rumah pompa tersebut kurang baik dalam penanganan air hujan dan air limbah permukiman. Hal itu dibuktikan dengan berita di Jawa Pos yang menyatakan bahwa kapasitas pompa di Bozem Kalidami masih belum mampu menanggung beban air dari Saluran Kalidami. Akibatnya diperlukan adanya pergantian pompa dengan pompa berkapasitas lebih besar. Dalam perbaikan atau penambahan kapasitas pompa di rumah pompa pastinya membutuhkan biaya yang cukup besar yaitu sebesar 15,8 miliar. Biaya operasional rumah pompa yang diperhitungkan meliputi biaya tetap, biaya tidak tetap (konsumsi listrik atau penggunaan genset, biaya pemeliharaan dan perbaikan pompa) serta biaya investasi [4].

Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan direncanakan alternatif sistem pengoperasian pompa pada rumah pompa yang diteliti melalui pengaturan pompa. Tujuan dilaksanakannya penelitian yaitu untuk merencanakan sistem

Tabel 4.  
Reduce variate ( $Y_t$ )

Periode Ulang	Reduced Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019

Tabel 5.  
Reduce mean ( $Y_n$ )

n	10	20	30	40	50
0	0,4952	0,5236	0,5363	0,5463	0,5485
1	0,4996	0,5252	0,5371	0,5422	0,5489
2	0,5035	0,5268	0,538	0,5448	0,5493
3	0,507	0,5283	0,5388	0,5453	0,5497
4	0,51	0,5296	0,5396	0,5458	0,5501
5	0,5128	0,53	0,54	0,5468	0,5504
6	0,5157	0,582	0,541	0,5468	0,5508
7	0,5181	0,5882	0,5418	0,5473	0,5511
8	0,5202	0,5343	0,5424	0,5477	0,5515
9	0,522	0,5353	0,543	0,5481	0,5518

Tabel 6.  
Reduce standard deviasi ( $S_n$ )

n	10	20	30	40	50
0	0,9496	1,0628	1,1124	1,1413	1,1607
1	0,9676	1,0696	1,1159	1,1436	1,1623
2	0,9833	1,0754	1,1193	1,1458	1,1638
3	0,9971	1,0811	1,226	1,148	1,1658
4	1,0095	1,0864	1,1255	1,1499	1,1667
5	1,0206	1,0915	1,1285	1,1519	1,1681
6	1,0316	1,0961	1,1313	1,1538	1,1696
7	1,0411	1,1004	1,1339	1,1557	1,1708
8	1,0493	1,1047	1,1363	1,1574	1,1721
9	1,0565	1,108	1,1388	1,159	1,1734

pengoperasian pompa yang tepat pada saat musim penghujan dan kemarau hingga diperhitungkan biaya operasionalnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Daerah Aliran Sungai (DAS) Kalidami dan Kalibokor Kota Surabaya

Pada DAS terdapat dua saluran primer Saluran Kalidami dan Saluran Kalibokor. Saluran Kalidami memanjang dari Jalan Karang Menur hingga pintu air di Rumah Pompa Bozem Kalidami dengan luas *catchment area* sebesar 1.151 ha. Sedangkan Saluran Kalibokor memiliki panjang 10.617,03 m yang membentang melewati 4 kecamatan.

### B. Operasional Rumah Pompa

Pengoperasian pompa di tiap rumah pompa berbeda pada saat musim penghujan dan musim kemarau. Perbedaan tersebut disesuaikan dengan spesifikasi pompa serta SOP pengoperasian pompa eksisting. Secara umum, pada saat musim penghujan akan dioperasikan pompa banjir dan pompa lumpur, sedangkan saat musim kemarau dinyalakan pompa lumpur atau pintu air yang memanfaatkan pasang surut air laut. Dalam pengoperasiannya, dibutuhkan fasilitas penunjang lain antara lain *panel control*, genset, tanda level muka air, dan *bar screen/mechanical screen*.

### C. Analisis Hidrologi

Perhitungan analisis hidrologi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti curah hujan, perubahan tata guna lahan, kondisi

Tabel 1.  
Koefisien pengaliran

Kondisi Daerah	Koefisien Pengaliran	
Permukiman	Rumah tinggal	0,3 – 0,5
	Rumah tinggal terpecah	0,4 – 0,6
	Kompleks perumahan	0,25 – 0,4
Jalan	Pemukiman (sub urban)	0,5 – 0,7
	Aspal	0,7 – 0,95
	Beton	0,8 – 0,95
Lapangan rumput, tanah berpasir	Jalan raya dan trotoar	0,7 – 0,85
	Atap	0,75 – 0,95
	Kemiringan 2%	0,05 – 0,1
Lapangan rumput, tanah keras	Rata-rata 2 – 7%	0,1 – 0,15
	Curam 7%	0,15 – 0,2
	Kemiringan 2%	0,13 – 0,17
	Rata-rata 2 – 7%	0,18 – 0,22
	Curam 7%	0,25 – 0,35

Tabel 2.  
Curah hujan harian maksimum

No	Tahun	Stasiun				Rata-Rata Pertahun
		1	2	3	4	
1	2013	80	99	87	85	87,75
2	2014	134	109	83	100	106,5
3	2015	84	61	63	109	79,25
4	2016	164	98	108	121	122,75
5	2017	124	116	114	122	119
6	2018	49	65	73	85	68
7	2019	50	76	76	66	67
8	2020	102	102	107	97	102
9	2021	73	110	70	97,5	87,625
10	2022	88	126	56	71	85,25
	Jumlah	948	962	837	953,5	925,125
	Rata-rata	94,8	96,2	83,7	95,35	92,51

Keterangan :  
1 = Stasiun Hujan Keputih  
2 = Stasiun Hujan Gubeng  
3 = Stasiun Hujan Wonokromo  
4 = Stasiun Hujan Wonorejo

Tabel 3.  
Debit air limbah permukiman

DAS	$Q_{ave}$ ( $m^3/detik$ )	$Q_{ave Grey}$ ( $m^3/detik$ )	$f_{peak}$	$Q_{peak}$
Kalidami	0,435	0,326	3,05	0,994
Kalibokor	0,149	0,112	3,1	0,347
Total		0,438		1,341

drainase dan infrastruktur air lainnya. Aspek hidrologi yang dianalisis meliputi:

#### 1) Data Curah Hujan

Data curah hujan didapatkan dari alat penakar hujan yang berada di stasiun curah hujan di suatu wilayah.

#### 2) Uji Konsentrasi

Uji ini bertujuan untuk menguji apakah data curah hujan konsisten atau tidak dengan menggunakan kurva massa ganda. Dari grafik tersebut terdapat persamaan regresi dan nilai korelasi ( $R^2$ ) dimana apabila korelasi mendekati 1 maka data sudah konsisten.

#### 3) Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk melihat kehomogenan persebaran data. Dalam uji ini digunakan grafik *Gumble's Extreme Probability Paper* dan grafik homogenitas. Data dikatakan homogen apabila titik H ( $N, T_R$ ) berada pada lengkung homogenitas.

Tabel 7.  
Debit air limbah permukiman

DAS	Musim	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Total
Kalidami	Penghujan	0,48	84,68	0,994	86,16
	Kemarau	0,48	84,68	0,994	1,47
Kalibokor	Penghujan	0,48	37,84	0,347	38,67
	Kemarau	0,48	37,84	0,347	0,83

Keterangan :  
 Q<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>/detik) = Debit di pintu air  
 Q<sub>1</sub> (m<sup>3</sup>/detik) = Debit limpasan air hujan  
 Q<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>/detik) = Debit air limbah permukiman

Tabel 8.  
Kontrol elevasi pompa di rumah pompa kalibokor

Musim	Jenis Pompa	Operasi	Elevasi
Hujan	Pompa Banjir	Mulai Operasi	-0,7
		Berhenti Operasi	-1,9
	Pompa Lumpur	Mulai Operasi	-1,9
		Berhenti Operasi	-2,2
Kemarau	Pompa Lumpur	Mulai Operasi	-1,9
		Berhenti Operasi	-2,2

Tabel 9.  
Kontrol elevasi pompa di rumah pompa kalidami screw

Musim	Jenis Pompa	Operasi	Elevasi
Hujan	Screw Pump	Mulai Operasi	-1,4
		Berhenti Operasi	-2,3
	Pompa Banjir	Mulai Operasi	-2,4
		Berhenti Operasi	-2,8
	Pompa Lumpur	Mulai Operasi	-2,9
		Berhenti Operasi	-3,4
Kemarau	Pompa Lumpur	Mulai Operasi	-2,9
		Berhenti Operasi	-3,4

4) Analisis Curah Hujan Rata-Rata

Curah hujan rata-rata dihitung dengan metode aritmatik. Metode ini merupakan metode sederhana dimana diasumsikan bahwa stasiun curah hujan memiliki pengaruh daerah yang setara. Selain dengan metode aritmatik, curah hujan rata-rata dapat dihitung menggunakan metode poligon Thiessen dan Isohyet.

5) Analisis Frekuensi Curah Hujan Maksimum

Analisis ini digunakan untuk menentukan debit maksimum pada saat perencanaan banjir dalam jangka panjang (sesuai dengan PUH yang digunakan). Curah hujan harian maksimum dapat dihitung dengan metode berikut:

a. Metode Gumbel

Metode Gumbel merupakan metode berdasarkan pada distribusi harga ekstrim atau distribusi normal dengan persamaan sebagai berikut:

$$x_t = x + k \cdot S_x \tag{1}$$

Dimana :

- x<sub>t</sub> : Curah hujan dalam periode ulang t tahun (mm/hari)
- x : Curah hujan rata-rata (mm)
- S<sub>x</sub> : Standart deviasi
- k : Faktor frekuensi nilai ekstrim

Perhitungan k bergantung pada nilai Y<sub>t</sub> pada Tabel 1, Y<sub>n</sub> pada Tabel 2, dan S<sub>n</sub> pada Tabel 3 [5].

b. Metode Log Pearson III

Metode ini cocok digunakan apabila variabel hidrologinya memiliki nilai varian yang minimum. Kelebihan metode ini yaitu lebih fleksibel karena nilai koefisien skewness dan koefisien kurtosis tidak ada batasan. Perhitungan seperti berikut:

Tabel 10.  
Kontrol elevasi pompa di rumah pompa bozem kalidami

Musim	Jenis Pompa	Operasi	Elevasi
Hujan	Pompa Banjir	Mulai Operasi	-0,75
		Berhenti Operasi	-2,25
Kemarau	Pompa Lumpur	Mulai Operasi	-2,25
		Berhenti Operasi	-2,75

Tabel 11.  
Perbandingan biaya operasional

Rumah Pompa	Biaya Operasional Eksisting	Biaya Operasional Rencana
Kalibokor	Rp 2.123.860.136	Rp 1.057.075.502
Kalidami Screw	Rp 22.253.741	Rp 1.478.955.547
Bozem Kalidami	Rp 2.235.783.496	Rp 1.615.109.563

$$\log Y = \log x + k \cdot S \tag{2}$$

$$X_t = 10^{(\log Y)} \tag{3}$$

Dimana :

- X<sub>t</sub> : Curah hujan dalam periode ulang t tahun (mm/hari)
- k : Nilai berdasarkan C<sub>s</sub>
- S : Standart deviasi

Perhitungan curah hujan dengan cara antilog log Y [5].

c. Metode Iway Kadoya

Metode ini memiliki prinsip yaitu perubahan variabel x dari curah hujan harian maksimum menjadi log x.

6) Analisis Distribusi Intensitas Curah Hujan

Analisis ini menunjukkan jumlah curah hujan yang turun pada periode tertentu. Penentuan analisis ini dapat dilakukan dengan metode, yaitu:

a. Metode Van Breen

Metode van breen adalah metode yang memperhitungkan waktu durasi hujan harian dalam 4 jam dari hujan yang turun selama 24 jam dengan hujan efektif sebesar 90%. Persamaannya adalah [6]:

$$I_T = \frac{54R_t \times 0,007R_t^2}{tc + 0,3R_t} \tag{4}$$

Dimana :

- I<sub>T</sub> : Intensitas hujan pada PUH T
- R<sub>t</sub> : Curah hujan harian maksimum pada PUH T (mm/hari)
- t : durasi hujan

b. Metode Hesper Der Weduwen

Metode ini didasarkan pada curah hujan harian yang cenderung memiliki waktu atau durasi hujan (t) lebih kecil dari 1 jam atau lebih dari 1 jam sampai 24 jam. Persamaan yang digunakan yaitu:

$$R = \sqrt{\frac{11300}{t+3,12}} \left[ \frac{R_i}{100} \right], \quad (0 < t < 1 \text{ jam}) \tag{5}$$

$$R = \sqrt{\frac{11300 t}{t+3,12}} \left[ \frac{X_i}{100} \right], \quad (0 < t < 24 \text{ jam}) \tag{6}$$

Perhitungan intensitas hujan menggunakan rumus berikut:

$$I = \frac{R}{t} \tag{7}$$

c. Metode Bell

Perhitungan dengan metode Bell bertujuan untuk menentukan besarnya intensitas hujan selama 1 jam (60

menit) dengan periode ulang 10 tahun sebagai dasar. Persamaannya yaitu:

$$R_T^t = (0,21L_n(T) + 0,52)(0,54t^{0,25} - 0,5)R_{10}^{60 \text{ menit}} \quad (8)$$

$$I_T^t = \frac{60}{t} R_T^t \left( \frac{mm}{jam} \right) \quad (9)$$

Dari ketiga metode di atas, dipilihlah metode dengan intensitas hujan yang paling tinggi. Hal tersebut dipilih dengan pertimbangan bahwa dengan intensitas hujan yang tinggi akan menghasilkan debit rencana maksimum yang dapat ditampung oleh saluran drainase [7].

#### 7) Analisis Lengkungan Intensitas Hujan

Penentuannya dapat dilakukan dengan metode berikut:

Persamaan *Talbot* :

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (10)$$

Persamaan *Sherman* :

$$I = \frac{a}{t^b} \quad (11)$$

Persamaan *Ishiguro* :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (12)$$

Setelah dilakukan perhitungan maka dilanjutkan dengan menentukan deviasi rata-rata terkecil dari ketiga persamaan intensitas hujan yang dihitung dengan durasi dan periode ulang hujan yang sama. Hasil tersebut nantinya akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya [7].

#### D. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana merupakan penjumlahan dari debit limpasan air hujan dengan debit air limbah permukiman. Penjabarannya sebagai berikut:

##### a. Koefisien Pengaliran

Perhitungan koefisien pengaliran berdasarkan tata guna lahan. Nilai koefisien pengaliran seperti pada Tabel 4.

##### b. Perhitungan Debit Limpasan Air Hujan

Untuk menghitung debit limpasan air hujan menggunakan metode rasional. Namun apabila luas daerah pelayanan >80 ha maka digunakan metode rasional modifikasi dengan rumus untuk keduanya yaitu:

$$Q = 0,278 C.I.A \quad , \quad A < 80 \text{ ha} \quad (13)$$

$$Q = 0,278 C.I.A.C_s \quad , \quad A > 80 \text{ ha} \quad (14)$$

##### c. Perhitungan Debit Air Limbah Permukiman

Dalam perhitungan debit air limbah permukiman diawali dengan proyeksi penduduk serta proyeksi fasilitas di wilayah studi sehingga didapatkan persamaan debit air limbah permukiman:

$$Q(L/hari) = \text{jumlah penduduk} \times 80\% \times \text{tingkat pemakaian air bersih} (L/hari \cdot jiwa) \quad (15)$$

#### E. Biaya Operasional Rumah Pompa

Biaya-biaya yang diperhitungkan dalam biaya operasional pompa antara lain biaya tetap meliputi biaya penyusutan alat; biaya variabel seperti biaya pemakaian listrik, pemeliharaan pompa, dan gaji operator [4]. Rumus yang digunakan dalam menghitung kebutuhan listrik baik dari PLN atau genset yaitu:

$$W = P(\text{watt}) \times t(\text{jam}) \quad (16)$$

$$W = kW \times \text{jam} \quad (17)$$

Sehingga biaya listriknya:

$$\text{Tarif / kWh} \times \text{konsumsi listrik} = \text{biaya listrik / jam} \quad (18)$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Ide Perencanaan

Ide perencanaan berasal dari *gap* antara kondisi eksisting dengan kondisi ideal dimana secara eksisting sistem pengoperasian pompa belum mampu mengatasi banjir di Kota Surabaya serta biaya operasional yang dikeluarkan cukup besar.

#### B. Observasi Lapangan Awal

Observasi berupa survey saluran, survei pintu air serta pendataan rumah pompa di wilayah studi sehingga didapatkan wilayah perencanaan seperti pada Gambar 1.

#### C. Pengumpulan Data

Untuk menunjang perencanaan maka diperlukan data baik primer maupun sekunder. Data primer yang dibutuhkan yaitu debit pintu air menggunakan *current meter*, spesifikasi dan kapasitas pompa eksisting serta sistem pengoperasian pompa eksisting. Data sekunder yang diperlukan antara lain peta pendukung seperti peta jaringan drainase, peta topografi dan tata guna lahan wilayah studi, data jumlah penduduk, data hidrologi dan klimatologi Kota Surabaya, data kapasitas saluran eksisting, spesifikasi pompa dan rumus biaya operasional pompa.

#### D. Pengolahan Data

Data yang diperoleh kemudian diolah langkah-langkah yang dilakukan yaitu:

1. Menganalisis hidrologi menggunakan PUH 10 tahun. Data yang dibutuhkan adalah data curah hujan 10 tahun terakhir yaitu tahun 2013-2022 pada stasiun hujan yang berpengaruh.
2. Memperhitungkan debit banjir rencana. Debit banjir rencana didapatkan dari penjumlahan debit limpasan air hujan, debit air limbah permukiman, dan debit pintu air di hulu Saluran Kalibokor.
3. Merencanakan alternatif pemompaan.
4. Membandingkan biaya operasional.
5. Menghasilkan kesimpulan dan saran.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisis Hidrologi

Sebelum dilakukan evaluasi sistem pengoperasian pompa maka perlu dilakukan analisis hidrologi mulai dari data curah hujan, uji konsistensi, uji homogenitas, dan curah hujan rata-rata. Selanjutnya, dilakukan analisis perhitungan hujan harian maksimum (HHM). Perhitungan menggunakan tiga metode antara lain Metode Gumbel, Log Pearson III, dan Iway Kadoya. Metode yang terpilih adalah metode dengan nilai terbesar yaitu Metode Gumbel. Alasannya karena dianggap mampu mewakili nilai hujan harian maksimum dibandingkan

metode lainnya. Besarnya curah hujan maksimum ditunjukkan pada Tabel 5.

Selanjutnya dihitung distribusi intensitas hujan dan lengkung intensitas hujannya hingga terpilih Persamaan Talbot. Prinsip penentuan persamaan tersebut yakni mencari delta intensitas hujan terkecil diantara ketiga metode.

### B. Debit Banjir Rencana

Pada perencanaan ini, debit banjir rencana juga dijumlahkan dengan debit pintu air di hulu Saluran Kalibokor. Perhitungan debit banjir rencana dibedakan pada saat musim penghujan dan kemarau. Pada musim hujan, tiga debit dijumlahkan, sedangkan saat kemarau hanya dijumlahkan antara debit pintu air dengan debit air limbah permukiman. Penjelasan perhitungan tiap debit yaitu:

#### 1) Debit Limpasan Air Hujan

Perhitungan debit limpasan air hujan mempertimbangkan intensitas hujan, luas area pelayanan, dan tata guna lahan wilayah perencanaan. Luas area pelayanan dibagi menjadi 2 blok yaitu blok Kalidami dan blok Kalibokor. Blok Kalidami memiliki luas area sekitar 1.596 ha, sedangkan Blok Kalibokor sebesar 1.261 ha.

Koefisien aliran merupakan perbandingan besarnya aliran air dengan curah hujan. Nilai koefisien aliran bergantung pada tata guna lahan wilayah. Penggunaan lahan di wilayah studi berupa area permukiman, jalan aspal, dan area persawahan. Contoh perhitungan koefisien aliran sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Saluran Primer Kalibokor} & : \\ \text{Luas DAS} & = 25,39 \text{ ha} \\ \text{Jalan Aspal} & : \\ C & = 0,7 \\ \% \text{ fungsi lahan} & = 20\% \\ \text{Luas lahan} & = \% \text{ fungsi lahan} \times \text{luas DAS} \\ & = 20\% \times 25,30 \text{ ha} = 5,08 \text{ ha} \\ C \times A & = 0,7 \times 5,08 \text{ ha} = 3,55 \\ \text{Area permukiman} & : \\ C & = 0,6 \\ \% \text{ fungsi lahan} & = 21\% \\ \text{Luas lahan} & = \% \text{ fungsi lahan} \times \text{luas DAS} \\ & = 21\% \times 25,39 \text{ ha} = 5,33 \text{ ha} \\ C \times A & = 0,6 \times 5,33 \text{ ha} = 3,2 \\ \text{Area Persawahan} & : \\ C & = 0,45 \\ \% \text{ fungsi lahan} & = 20\% \\ \text{Luas lahan} & = \% \text{ fungsi lahan} \times \text{luas DAS} \\ & = 20\% \times 25,39 \text{ ha} = 5,08 \text{ ha} \\ C \times A & = 0,45 \times 5,08 \text{ ha} = 2,29 \\ \text{Sehingga nilai } C & : C_r = \frac{\sum(C \times A)}{\sum A} = 0,58 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung waktu konsentrasi dengan hasil 109,15 menit. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan intensitas hujan menggunakan persamaan talbot hingga didapatkan nilai sebesar 64,17 mm/jam. Perhitungan debit limpasan air hujan menggunakan metode rasional atau rasional modifikasi dengan contoh perhitungan untuk Saluran Primer Kalibokor I sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A & = 0,15 \text{ km}^2 \\ Q & = 0,278 C . I . A = 0,278 \times 0,06 \text{ m/jam} \times 0,15 \text{ km}^2 \\ & = 0,45 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

#### 2) Debit Air Limbah Permukiman

Debit air limbah permukiman berdasarkan pada kebutuhan air bersih masyarakat di wilayah perencanaan. Perhitungan diawali dengan melakukan proyeksi penduduk dengan 3 metode selama 10 tahun ke depan, mulai dari tahun 2022 sampai tahun 2032. Metode yang terpilih adalah metode Least Square karena memiliki nilai korelasi ( $R^2$ ) yang mendekati 1.

Perhitungan debit air limbah permukiman dibedakan menjadi kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non-domestik. Debit air limbah yang dihasilkan diasumsikan sebesar 80% dari konsumsi air bersih yang digunakan. Selain itu, air limbah hanya berfokus pada *grey water* dengan persentase pada air limbah sebesar 50-80%. Persentase *grey water* yang digunakan yaitu 75%.

##### a. Kebutuhan Air Domestik

Tingkat pemakaian air minum di Kota Surabaya sebesar 195 L/orang.hari. Adapun perhitungannya untuk Kelurahan Keputih yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah penduduk 2023} & = 19.293 \text{ jiwa} \\ \text{Persentase pelayanan} & = 31\% \\ \text{Penduduk terlayani (pt)} & = 6.069 \text{ jiwa} \\ \text{Kebutuhan air domestic} & = 80\% \times (pt) \times \text{tingkat pemakaian} \\ & \text{air} \\ & = 80\% \times 6.069 \text{ jiwa} \times \\ & 195 \text{ L/hari} \\ & = 0,011 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

##### b. Kebutuhan Air Non-Domestik

Diasumsikan bahwa persentase kebutuhan non-domestik sebesar 20% dari kebutuhan air domestik sehingga perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air non-domestik} & = \% \text{ kebutuhan air non-} \\ & \text{domestik} \times Q \text{ air domestik} \\ & = 20\% \times 0,011 \text{ m}^3/\text{detik} \\ & = 0,0022 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Hasil debit air limbah permukiman untuk DAS Kalidami dan Kalibokor dapat dilihat pada Tabel 6 dan debit banjir rencana pada Tabel 7.

### C. Alternatif Sistem Pengoperasian Pompa

Alternatif pemompaan tersebut berupa pola operasional pompa meliputi lama pemompaan yang tepat, penentuan jenis pompa yang digunakan, kontrol elevasi, dan perhitungan biaya operasionalnya dalam satu tahun. Pertimbangan dalam penentuan alternatif yaitu:

1. Kondisi eksisting rumah pompa berupa sistem operasional sertas fasilitas eksisting yang ada.
2. Penempatan sensor muka air yang dipasang sebelum pemompaan dilakukan.
3. Tinggi muka air ini direncanakan pada titik muka air tertentu, pompa akan bekerja otomatis. Tinggi muka air tersebut adalah:(a)Pompa lumpur minimal 10 cm;(b)Pompa banjir minimal 50 cm;(c)*Screw pump* minimal 100 cm
4. Lama pemompaan yang disesuaikan dengan hasil perhitungan.
5. Biaya operasional pompa meliputi biaya pemakaian listrik dari PLN atau genset serta biaya pemeliharaan dan perawatan pompa. Biaya ini nantinya dibandingkan antara biaya eksisting dengan biaya rencana.

Alternatif pengoperasian pompa di tiap rumah pompa dibedakan saat musim penghujan dan kemarau. Alasan dibedakan adalah karena jumlah pompa, jenis pompa yang dinyalakan berbeda serta tinggi muka air agar pompa beroperasi berbeda. Maka alternatif operasional pompa dalam 1 hari di tiap rumah pompa sebagai berikut:

### 1) Rumah Pompa Kalibokor

Jumlah pompa di rumah pompa ini sebanyak 3 pompa banjir berkapasitas 3 m<sup>3</sup>/detik dan 2 pompa lumpur berkapasitas 0,25 m<sup>3</sup>/detik. Pengoperasian pompa berdasarkan level muka air di Saluran Kalibokor sebagai kontrol elevasi. Tinggi air di saluran dijaga sebesar 0,3 m. Kontrol elevasi pengoperasian pompa dapat dilihat pada Tabel 8.

Jumlah pompa yang digunakan sama dengan jumlah pompa eksisting. Pengoperasian pompa secara bertahap. Maka alternatif pengoperasiannya dibagi antara saat musim hujan dan musim kemarau.

#### a. Musim Hujan

Lama intensitas hujan Kota Surabaya = 10 menit = 600 detik (DSDABM, 2015).

Lama Pemompaannya :

$$\begin{aligned} Q \text{ banjir rencana} &= 37,84 \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Volume banjir} &= 37,84 \text{ m}^3/\text{detik} \times 6000 \text{ detik} \\ &= 22.704 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\text{Lama pemompaan} = \frac{V_{\text{banjir}}}{\text{kapasitas pompa}} = \frac{22.704 \text{ m}^3}{9,5 \text{ m}^3/\text{detik}} = 0,66 \text{ jam}$$

Pompa Banjir :

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi listrik} &= 250 \text{ kW} \times 3 \text{ pompa} = 750 \text{ kW} \\ \text{Konsumsi listrik selama 0,66 jam} &= 750 \text{ kW} \times 0,66 \text{ jam} \\ &= 495 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= \text{Rp } 1.700/\text{kWh} \\ \text{Biaya listrik} &= 495 \text{ kW} \times \text{Rp } 1.700/\text{kWh} \times 183 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 153.994.500 \end{aligned}$$

Pemeliharaan dan perbaikan pompa :

$$\text{Biaya pompa tahunan} = \frac{\text{harga pompa}}{\text{umur pompa}} = \frac{\text{Rp } 770.000.000}{16} = \text{Rp } 48.125.000$$

Jumlah pompa 3 maka totalnya Rp 144.375.000.

Pompa Lumpur :

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi listrik} &= 58,5 \text{ kW} \times 2 \text{ pompa} = 117 \text{ kW} \\ \text{Konsumsi listrik selama 0,66 jam} &= 117 \text{ kW} \times 0,66 \text{ jam} \\ &= 77,22 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= \text{Rp } 1.700/\text{kWh} \\ \text{Biaya listrik} &= 77,22 \text{ kW} \times \text{Rp } 1.700/\text{kWh} \times 183 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 24.032.142 \end{aligned}$$

Pemeliharaan dan perbaikan pompa :

$$\text{Biaya pompa tahunan} = \frac{\text{harga pompa}}{\text{umur pompa}} = \frac{\text{Rp } 70.000.000}{10} = \text{Rp } 7.000.000$$

Jumlah pompa 2 maka totalnya Rp 14.000.000.

#### b. Musim Kemarau

Debit yang masuk pada saat musim kemarau adalah debit air limbah permukiman dan debit pintu air di hulu sungai sebesar 0,83 m<sup>3</sup>/detik.

Lama Pemompaan :

$$Q \text{ masuk} = 0,83 \text{ m}^3/\text{detik} = 71.712 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Lama pemompaan} = \frac{V_{\text{masuk}}}{\text{debit pompa}} = \frac{71.712 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,5 \text{ m}^3/\text{detik}} = 39,84 \text{ jam}$$

Karena lama pemompaan dengan 2 pompa lumpur terlalu lama maka dioperasikan pula pompa banjir untuk menurunkan level muka air di saluran sehingga lama pemompaan (1 pompa banjir dan 2 pompa lumpur) beroperasi sebesar 5,7 jam.

Lalu, dihitung konsumsi listrik pada pompa lumpur dan pompa banjir selama 5,7 jam dikali dengan 182 hari sehingga didapatkan total sebesar Rp 647.233.860. Biaya pemeliharaan dan perawatan pompa saat kemarau sudah *include* ke dalam perhitungan pada musim penghujan. Selain listrik dari PLN, dihitung pula sumber listrik dari genset. Rata-rata intensitas listrik padam pada tahun 2021 yaitu 6 jam per pelanggan per tahun. Maka perhitungan biayanya:

$$\text{Daya genset} = 10.000 \text{ kVA} = 8.000 \text{ kW}$$

$$\text{Konsumsi BBM (1)} = 0,21 \times P \times t = 0,21 \times 8.000 \text{ kW} \times 6 \text{ jam} = 10.800 \text{ L}$$

$$\text{Biaya solar} = \text{Rp } 6.800 / \text{L}$$

$$\text{Biaya genset} = 10.800 \text{ L} \times 6.800 / \text{L} = \text{Rp } 73.440.000$$

Maka total biaya operasional di Rumah Pompa Kalibokor sebesar Rp 1.057.075.502 /tahun.

### 2) Rumah Pompa Kalidami Screw

Pompa yang ada di rumah pompa ini terdiri dari 5 *screw pump* berkapasitas 1,3 m<sup>3</sup>/detik, 1 pompa banjir berkapasitas 3 m<sup>3</sup>/detik, dan 2 pompa lumpur berkapasitas 0,25 m<sup>3</sup>/detik. Kontrol elevasi di rumah pompa ini memanfaatkan polder sebesar 15 x 10,8 x 4,4 m. Di dalam polder direncanakan masih terdapat air sedalam 1 m. Kontrol elevasi yang direncanakan yaitu jumlah pompa yang digunakan sama dengan jumlah eksisting. Perhitungan lama pemompaan sama dengan perhitungan di Rumah Pompa Kalibokor namun berbeda dalam hal debit banjir rencana dan daya pada *screw pump* dapat dilihat pada Tabel 9.

#### a. Musim Hujan

$$Q \text{ banjir rencana} = 34,79 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Volume banjir} = 20.874 \text{ m}^3$$

$$\text{Lama pemompaan} = 0,57 \text{ jam}$$

*Screw Pump* :

$$\text{Konsumsi listrik} = 19,8 \text{ kW} \times 5 \text{ pompa} = 99 \text{ kW}$$

$$\text{Konsumsi listrik selama 0,57 jam} = 99 \text{ kW} \times 0,57 \text{ jam} = 56,43 \text{ kW}$$

$$\text{Biaya listrik} = \text{Rp } 1.700/\text{kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= 56,43 \text{ kW} \times \text{Rp } 1.700/\text{kWh} \times 183 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 17.555.373 \end{aligned}$$

Pemeliharaan dan perbaikan pompa :

$$\text{Biaya pompa tahunan} = \frac{\text{harga pompa}}{\text{umur pompa}} = \frac{\text{Rp } 500.000.000}{10} = \text{Rp } 50.000.000$$

Jumlah pompa 5 maka totalnya Rp 250.000.000.

Rekap perhitungan biaya listrik untuk pompa banjir dan pompa lumpur adalah:

Pompa Banjir :

$$\text{Konsumsi listrik} = \text{Rp } 44.331.750$$

$$\text{Pemeliharaan pompa} = \text{Rp } 48.125.000$$

Pompa Lumpur :

$$\text{Konsumsi listrik} = \text{Rp } 15.959.430$$

$$\text{Pemeliharaan pompa} = \text{Rp } 14.000.000$$

#### b. Musim Kemarau

Debit masuk saat kemarau sebesar 1,39 m<sup>3</sup>/detik dengan volume masuk 120.096 m<sup>3</sup>. Lama pemompaannya didapatkan sebesar 66,72 jam. Untuk menurunkan level muka air maka dioperasikan 1 pompa banjir hingga lama

pemompaannya menjadi 9,53 jam perhari. Setelah itu, perhitungan biayanya dikalikan 182 hari (musim kemarau). Hasil perhitungan biayanya yaitu:

Pompa Banjir :  
 Kebutuhan listrik = Rp 737.145.500  
 Pompa Lumpur :  
 Kebutuhan listrik = Rp 344.984.094  
 Pemanfaatan genset saat kemarau juga diperlukan apabila listrik padam dengan biaya yang dikeluarkan yaitu:  
 Daya genset =  $1.000 \text{ kVA} = 800 \text{ kW}$   
 Konsumsi BBM (1) =  $1.008 \text{ L}$   
 Biaya pemakaian genset = Rp 6.854.400  
 Maka total biaya operasional di Rumah Kalidami Screw sebesar Rp 1.478.955.547 /tahun

### 3) Rumah Pompa Bozem Kalidami

Jumlah pompa eksisting di rumah pompa ini yaitu 7 pompa banjir berkapasitas  $3 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan 2 pompa lumpur berkapasitas  $0,25 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Perencanaan kontrol elevasi untuk ON/OFF pompa berdasarkan elevasi air minimum pada Bozem Kalidami seperti pada Tabel 10.

Jumlah pompa yang digunakan yaitu 7 pompa banjir  $3 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan 2 pompa lumpur  $0,25 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Langkah perhitungan saat musim hujan sama dengan sebelumnya.

#### a. Musim Hujan

$$Q \text{ banjir rencana} = 49,89 \text{ m}^3/\text{detik} = 29.934 \text{ m}^3$$

$$\text{Lama pemompaan} = 0,39 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan biaya operasional untuk pompa banjir dan pompa lumpur adalah:

Pompa Banjir :  
 Konsumsi listrik = Rp 212.325.750  
 Pemeliharaan pompa = Rp 336.875.000  
 Pompa Lumpur :  
 Konsumsi listrik = Rp 14.195.493  
 Pemeliharaan pompa = Rp 14.000.000

#### b. Musim Kemarau

Debit masuk saat kemarau sebesar  $1,47 \text{ m}^3/\text{detik}$  dengan volume masuk  $127.008 \text{ m}^3$ . Lama pemompaannya didapatkan sebesar 70,56 jam. Untuk menurunkan level muka air maka dioperasikan 1 pompa banjir hingga lama pemompaannya menjadi 5,4 jam perhari. Setelah itu, perhitungan biayanya dikalikan 182 hari (musim kemarau). Hasil perhitungan biayanya yaitu:

Pompa Banjir :  
 Kebutuhan listrik = Rp 195.478.920  
 Pompa Lumpur :  
 Kebutuhan listrik = Rp 835.380.000  
 Pemanfaatan genset saat kemarau juga diperlukan apabila listrik padam dengan biaya yang dikeluarkan yaitu:  
 Daya genset =  $1.000 \text{ kVA} = 800 \text{ kW}$   
 Konsumsi BBM (1) =  $1.008 \text{ L}$   
 Biaya pemakaian genset = Rp 6.854.400

Maka total biaya operasional di Rumah Kalidami Screw sebesar Rp 1.615.109.563 /tahun.

### D. Perbandingan Biaya Operasional

Berdasarkan biaya operasional rencana dibandingkan

dengan biaya operasional eksisting sebagai mana yang ditunjukkan pada Tabel 11, biaya operasional rencana di Rumah Pompa Kalibokor dan Rumah Pompa Bozem Kalidami lebih sedikit dari biaya eksisting sehingga dikatakan bahwa rencana operasional dapat menekan biaya operasional. Akan tetapi untuk *case* Rumah Pompa Kalidami Screw berbeda dikarenakan pada tahun 2022 hanya dihitung biaya *screw pump* dan biaya pemeliharaan genset. Hal itu terjadi karena pada tahun 2022 terjadi perbaikan di rumah pompa.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perencanaan maka dapat disimpulkan bahwa pengoperasian pompa dibedakan saat musim penghujan dan kemarau. Saat musim hujan semua pompa dinyalakan, sedangkan saat musim kemarau, satu pompa banjir dioperasikan untuk membantu menurunkan level muka air saluran. Di Rumah Pompa Kalibokor, saat musim hujan dinyalakan selama 120,78 jam/musim dan saat kemarau selama 5,7 jam/hari. Saat musim hujan di Rumah Pompa Kalidami Screw, pompa dinyalakan selama 104,31 jam/musim, sedangkan 9,53 jam/hari saat kemarau. Lalu, lama pemompaan di Rumah Pompa Bozem Kalidami saat hujan dan kemarau berturut-turut yaitu 71,37 jam/musim dan 5,4 jam/hari.

Biaya operasional yang diperhitungkan meliputi biaya listrik dari PLN atau genset, biaya pemeliharaan dan perawatan pompa. Total biaya operasional yang dikeluarkan Rumah Pompa Kalibokor adalah Rp 1.057.075.502/tahun. Biaya operasional Rumah Pompa Kalidami Screw yaitu Rp 1.478.955.547/tahun. Dan biaya yang dikeluarkan oleh Rumah Pompa Bozem Kalidami sebesar Rp 1.615.109.563/tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rahmawati and A. Damayanti, "Evaluasi Sistem Drainase Terhadap Penanggulangan Genangan di Kota Sidoarjo, Brantas Catchment Area," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, Jun. 2015.
- [2] R. A. Aulia and E. S. Soedjono, "Perencanaan sistem penyaluran air limbah permukiman dengan sistem open sewer untuk saluran Kalidami Surabaya," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [3] R. L. Sari, T. U. Lasminto, and N. F. Margini, "Perencanaan jaringan drainase sub sistem Kalidami Surabaya," *Jurnal Teknik Hidroteknik*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [4] M. Z. Ikhwan and A. P. Yanwar, "Komparasi biaya operasional pompa air bahan bakar listrik pada lahan irigasi Desa Mulyorejo Bojonegoro," *Teknika*, vol. 17, no. 1, p. 35, Mar. 2022, doi: 10.26623/teknika.v17i1.4310.
- [5] F. Lubis, "Analisa frekuensi curah hujan terhadap kemampuan drainase pemukiman di Kecamatan Kandis," *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, vol. 2, no. 1, pp. 34–46, 2016.
- [6] A. Hendri, "Analisis Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar Kabupaten Kampar," in *Annual Civil Engineering Seminar*, pp. 297–304, 2015.
- [7] J. C. Putranto and M. A. Mardiyanto, "Evaluasi timbulnya genangan pada catchment area sistem pematasan greges yang dilayani rumah pompa greges di Rayon Genteng Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.17444.