

Boezem, Pompa, dan Pintu Air sebagai Pengendali Banjir di Kali Balong Kecamatan Tandes Kota Surabaya

Dwi Indriyani^{1*}, S. Kamilia Aziz¹, Putra Mu'min Mubarak¹

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: d.indriyani@ce.its.ac.id

Info Artikel		Abstract (font: Times New Roman 9 pt, bold)
Diajukan	27 Juni 2019	<i>Balong river is primary channel at Gunungsari drainage system with flood duration between 2-3 hours and flood elevation between 30-50 cm. Suspected cause of inundation due to poor drainage system and the backwater effect from sea. This needs to be done a study to solve the problem. To overcome it need to be taken into account several aspects of the hydrology, hydraulics and alternative problem solving. Calculation of flood discharge plan using rational method with flood discharge plan period Q_{5th} for secondary channel and flood discharge plan period Q_{10th} for primary channel. Based on the calculation of discharge in Balong Canal channel outlet of 65,66 m³/s. From the calculation results there are some channels that overbank including secondary channels Balongsari, Lontar, Darmo Indah, Darmo Satelit, The Main Channel Gunungsari and Balong Canal. To overcome it done redesign by increasing the width and height of the channel. Since the outlet of Balong canal primary channel ends to the madura sea is reckoned backwater due fluctuation sea water. From the results of backwater effect along 1.494,85 m. To overcome the backwater then planned boezem equipped with pumps and gate. From the calculations required Boezem area of 26.000 m² with a pump as much as 9 pieces of capacity of 2,5 m²/sec and water gate as much as 6 pieces with a width of 1,5 m high as 4,00 m.</i>
Diperbaiki	26 Juli 2019	
Disetujui	31 Juli 2019	

Keywords: Balong canal, boezem, water pump.

Abstrak

Saluran Primer Kali Balong merupakan sistem Gunungsari yang banjirnya cukup tinggi dengan lama genangan antara 2–3 jam dan tinggi genangan antara 30–50 cm. Diduga penyebab genangan akibat buruknya sistem drainase yang ada ditambah dengan adanya pengaruh *backwater*. Hal ini perlu dilakukan kajian untuk menanggulangi permasalahan tersebut. Untuk menanggulangnya perlu diperhitungkan beberapa aspek yaitu aspek hidrologi, hidrolika dan alternatif pemecahan masalah. Perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional dengan debit Q_5 untuk saluran sekunder dan Q_{10} untuk saluran primer. Berdasarkan hasil perhitungan debit di *outlet* saluran Kali Balong sebesar 65,66 m³/det. Dari hasil perhitungan terdapat beberapa saluran yang meluber diantaranya saluran sekunder Balongsari, Lontar, Darmo Indah, Darmo Satelit, saluran primer Gunungsari dan Kali Balong. Untuk menanggulangnya dilakukan *redesign* dengan menambah lebar dan tinggi saluran. *Outlet* saluran primer Kali Balong bemuara ke Selat Madura maka diperhitungkan *backwater* akibat pasang surut air laut. Hasil perhitungan panjang pengaruh sepanjang 1.494,85 m dan untuk mengatasi *backwater* maka direncanakan boezem yang dilengkapi pompa dan pintu. Dari hasil perhitungan dibutuhkan Boezem seluas 26.000 m² dengan pompa sebanyak 9 buah kapasitas 2,50 m²/detik dan pintu air sebanyak 6 buah dengan lebar 1,50 setinggi 4,00 m untuk mengatasi banjir.

Kata kunci: Kali Balong, boezem, pompa air

1. Pendahuluan

Saluran primer Kali Balong merupakan sistem Gunung-sari yang berada di wilayah Surabaya Barat. *Catchment area* saluran primer Kali Balong meliputi Kecamatan Tandes, dan Benowo. Debit air yang mengalir di saluran Kali Balong berasal dari Saluran Primer Gunungsari dan Saluran Sekunder Balongsari. Berdasarkan info dari media elektronik harian Surabaya, apabila terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi seringkali menimbulkan banjir di *catchment area* saluran sekunder Balongsari dan Saluran Primer Kali Balong.

Ketinggian air mulai 30 - 50 cm. Penyebabnya diduga akibat buruknya sistem drainase dikawasan tersebut. Saluran Primer Gunungsari yang relatif datar ditambah dengan pengaruh *backwater* mengakibatkan permasalahan banjir dan perlu dikaji dengan mencari solusi terbaik. Perencanaan Boezem dilengkapi pompa dan pintu air di wilayah Kali Balong memungkinkan untuk dikaji di kawasan tersebut. Oleh karena itu, Studi ini membahas tentang Perencanaan pintu air dilengkapi pompa dan boezem di wilayah Kali Balong.

2. Metode

Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

A. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi di lapangan dengan meninjau saluran tersier, sekunder, letak boezem, pompa dan pintu air. dari hasil survei ini dipergunakan sebagai pertimbangan analisis perencanaan boezem, pompa dan pintu air di Kali Balong Kecamatan Tandes kota Surabaya.

B. Analisis Hidrologi

Kajian hidrologi berkaitan dengan data hidrologi yang telah didapat sebelumnya. Data-data hidologi tersebut digunakan untuk merencanakan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu.

C. Analisis Hidrolika

Kajian hidrolika perencanaan dimensi saluran meliputi:

1. Perhitungan kapasitas saluran.
2. Perbandingan kapasitas saluran dengan debit rencana.
3. Perhitungan pengaruh *backwater*.

D. Pemecahan Masalah

Setelah membandingkan debit banjir dengan kapasitas saluran, kita dapat memperkirakan solusi apa yang dapat digunakan untuk menanggulangi banjir. Beberapa solusi yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

a. Pelebaran kapasitas saluran

Pelebaran kapasitas saluran dilakukan pada saluran-saluran yang belum mampu menampung debit rencana, baik itu saluran tersier, sekunder maupun primer.

b. Evaluasi kapasitas pompa

Pada bagian hilir sudah ada 8 pompa dengan kapasitas masing-masing 2 m³/detik, sehingga total 16 m³/detik. Kapasitas akan dievaluasi apakah sudah cukup atau perlu ditambah kapasitasnya.

c. Pembangunan boezem

Pada dataran rendah dengan pengaruh *backwater* pasang surut air laut, air sangat sulit dapat mengalir secara gravitasi ke bagian hilir (laut) pada saat banjir terjadi bersama pasang air laut [1]. Berdasarkan data pasang surut [2] untuk Kali Balong pasang tertinggi berada di atas muka air tertinggi saluran, sehingga tidak mungkin untuk mengalirkan secara gravitasi. Oleh karena itu perlu dibantu dengan keberadaan boezem untuk menampung air sementara, kemudian dipompa ke laut.

d. Evaluasi Pintu

Bagian hilir sudah ada pintu selebar 1,50 m berjumlah 6 buah. Keberadaan pintu ini akan dievaluasi apakah masih cukup atau perlu ditambah. Demikian juga dengan lokasinya,

apakah tetap di lokasi awal atau perlu dipindah ke lokasi yang lain.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan untuk mengetahui debit banjir rencana pada saluran yang ditinjau. Pada perencanaan ini debit banjir rencana dihitung menggunakan metode rasional.

1. Analisis Curah Hujan Rata-rata Wilayah

Dalam merencanakan boezem, pompa dan pintu air di Kali Balong, sebagai langkah awal yang dilakukan adalah pengumpulan data curah hujan di stasiun penangkar hujan [3][4]. Pada kawasan ini hanya ada satu alat penangkar hujan yang berpengaruh yaitu Stasiun Kandangan. Sehingga perlu mengambil data hujan yang diperoleh dari Stasiun Kandangan tersebut. Pada **Tabel 1** disajikan data curah hujan pada stasiun pengamat sejak tahun 2000 sampai 2014 [5].

Tabel 1. Perhitungan curah hujan maksimum stasiun Kandangan.

Tahun	Stasiun			Curah Hujan Wilayah
	Bulan	Tanggal	Kandangan	
2000	Jan	14	110	110
2001	Jan	15	124	124
2002	Jan	30	105	105
2003	Des	3	117	117
2004	Feb	10	90	90
2005	Feb	10	90	90
2006	Jan	14	130	130
2007	Mar	8	97	97
2008	Des	13	120	120
2009	Mar	6	78	78
2010	Des	3	127	127
2011	Nop	9	79	79
2012	Jan	30	82	82
2013	Jan	15	65	65
2014	Mar	5	81	81

Sumber: Hasil analisis

2. Perhitungan Parameter Statistik

Sebelum dilakukan perhitungan distribusi probabilitas dari data yang tersedia, dilakukan uji parameter statistik terlebih dahulu terhadap data yang ada, sebab masing-masing distribusi (Distribusi Normal, Gumbel dan Log Person Type III) memiliki sifat-sifat khas, sehingga setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistiknya [6].

Pemilihan distribusi yang tidak tepat dapat menyebabkan kesalahan perkiraan yang mungkin cukup besar baik *over estimate* maupun *under estimate* yang keduanya tidak diinginkan. Hasil perhitungan awal parameter statistik dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perhitungan Parameter Statistik

Distribusi	Parameter Statistik	Hasil	Status
Normal	Cs = 0	CS= 0.03	tidak
	Ck = 3	CK= 2.26	memenuhi
Gumbel	Cs = 1.14	CS= 0.03	Tidak
	Ck = 5.4	CK= 2.26	memenuhi
Log Pearson Type III	Cs = Fleksibel	CS= -0.2	OK
	Ck = Fleksibel	CK= 2.54	

Sumber: Hasil analisis

3. Uji Kecocokan Distribusi

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat mewakili distribusi frekuensi tersebut. Ada 2 jenis uji kecocokan yaitu uji kecocokan Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov [3],[4].

a. Uji Chi Kuadrat

Parameter yang digunakan dalam pengambilan keputusan Chi-Kuadrat adalah χ^2 . Perhitungan parameter χ^2 disajikan sebagai berikut:

Perhitungan jumlah sub-group

Diketahui:

$n = 15$

$G = 1+1,33 \ln n$

$G = 1+1,33 \ln 15$

$= 4.907 \approx 5$ group

Hasil uji Chi-Kuadrat pada distribusi Log Pearson Type III dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perhitungan Chi-Kuadrat

NO	Nilai Batas	Oi	Ei	$(O_i - E_i)^2$	χ^2
1	X $\leq 1,911$	4	3	1,000	0,33
2	1,911 < X $\leq 1,965$	3	3	0,000	0,00
3	1,965 < X $\leq 2,013$	1	3	4,000	1,33
4	2,013 < X $\leq 2,068$	3	3	0,000	0,00
5	X $> 2,068$	4	3	1,000	0,33
Jumlah		15	15		1,67

Sumber: Hasil analisis

Dari hasil perhitungan akan diterima apabila nilai Chi-Kuadrat teoritis $>$ nilai Chi-Kuadrat hitung. Dari perhitungan di atas diperoleh nilai $5,991 > 1,67$, sehingga distribusi teoritis dapat diterima.

b. Uji Smirnov- Kolmogorov

Uji Smirnov- Kolmogorov dilakukan dengan maksud untuk menyaring metode distribusi yang lolos dari uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan metode Chi- Kuadrat. Hasil Uji Smirnov- Kolmogorov dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perhitungan Smirnov Kolmogorov

m	Log Xi	P(R)	P(X <)	f(t)	P'(X)	P'(X<)	D
1	2,11	0,06	0,94	1,34	0,090	0,910	-0,028
2	2,10	0,13	0,88	1,23	0,109	0,891	0,016
3	2,09	0,19	0,81	1,12	0,131	0,869	0,056
4	2,08	0,25	0,75	0,96	0,169	0,832	0,082
5	2,07	0,31	0,69	0,85	0,198	0,802	0,115
6	2,04	0,38	0,63	0,56	0,288	0,712	0,087
7	2,02	0,44	0,56	0,34	0,367	0,633	0,071
8	1,99	0,50	0,50	-0,03	0,512	0,488	-0,012
9	1,95	0,56	0,44	-0,38	0,648	0,352	-0,086
10	1,95	0,63	0,38	-0,38	0,648	0,352	-0,023
11	1,91	0,69	0,31	-0,81	0,791	0,209	-0,104
12	1,91	0,75	0,25	-0,87	0,808	0,192	-0,058
13	1,90	0,81	0,19	-0,99	0,839	0,161	-0,026
14	1,89	0,88	0,13	-1,05	0,854	0,146	0,0210
15	1,81	0,94	0,06	-1,90	0,971	0,029	-0,034
Jumlah	29,84					Dmax = 0,115	

Sumber: Hasil analisis

Dari perhitungan di atas didapatkan Dmaksimum = 0,115, sedangkan harga Do = 0,34 didapatkan dari tabel Nilai Kritis. Karena nilai Dmax lebih kecil dari nilai Do ($0,34 > 0,115$). Maka persamaan distribusi Log-Person III yang diperoleh dapat diterima.

4. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Hujan rencana adalah hujan tahunan terbesar dengan peluang tertentu yang mungkin terjadi di suatu daerah [3],[4]. Dari hasil uji kecocokan distribusi yang digunakan, maka untuk menghitung curah hujan rencana menggunakan Metode Log-Pearson Type III, dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perhitungan Curah hujan rencana

Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan Maksimum (mm)
2	98,28
5	117,08
10	127,78

Sumber: Hasil analisis

5. Perhitungan Debit Rencana

Perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional [7]. Berikut ini adalah contoh perhitungan debit banjir rencana saluran tersier saluran sekunder Manukan Kulon:

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot 0,400 \cdot 75,47 \cdot 0,47$$

$$Q = 4,07 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Keterangan:

Q = Debit rencana (m³/s)

C = Koefisien Pengaliran

I = Intensitas Hujan Periode (mm /jam)

A = Luas DAS (km²)

Hasil debit rencana dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Perhitungan debit rencana

Nama Saluran	C	I (mm/jam)	A (Km)	Qr (m ³ /det)
Sal. Manukan Kulon	0,400	75,47	0,50	4,21
Sal. Balongsari	0,400	60,47	3,92	26,37
Sal. Lontar	0,345	120,60	1,57	18,19
Sal. Gadelsari	0,415	148,58	0,57	9,69
Sal. Tubanan	0,400	107,71	0,74	8,84
Sal. Darmo Indah	0,385	86,99	1,25	11,67
Sal. Darmo Satelit	0,435	88,03	0,87	9,22
Sal. Primer Gunungsari A	0,400	68,50	1,09	8,28
Sal. Primer Gunungsari B	0,400	65,99	6,74	49,45
Sal. Margomulyo	0,465	47,98	4,60	28,55
Sal. Primer Kali Balong	0,480	37,53	13,11	65,66

Sumber: Hasil analisis

B. Analisis Hidrolika

Analisis Hidrolika dimaksudkan untuk menghitung kapasitas saluran sekunder dan primer dengan tujuan untuk mengetahui kapasitas saluran yang akan menampung debit rencana. Perhitungan kapasitas saluran ini berdasarkan pada kondisi existing saluran yang ada di lokasi studi.

1. Perhitungan debit kapasitas saluran [7]

- Hasil *survey* Saluran Sekunder Manukan Kulon

Bentuk penampang persegi:

$$b = 2,20 \text{ m}$$

$$n = 0,021$$

$$h = H \text{ existing} - \text{tinggi jagaan (W)}$$

$$= 2,10 \text{ m} - 0,20 \text{ m}$$

$$= 1,90$$

- Perhitungan luas penampang saluran

$$A = b \times h$$

$$A = 2,20 \times 1,90$$

$$A = 4,18 \text{ m}^2$$

- Perhitungan keliling penampang saluran

$$P = b + 2xH$$

$$P = 2,20 + 2 \times 1,90$$

$$P = 6,00 \text{ m}$$

- Perhitungan jari-jari hidrolis

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{4,18}{6,00}$$

$$R = 0,70 \text{ m}$$

- Perhitungan kecepatan saluran

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0,021} \times (0,70^{2/3}) \times (0,0015^{1/2})$$

$$V = 1,43 \text{ m / detik}$$

- Perhitungan debit kapasitas saluran

$$Q = A \times V$$

$$Q = 4,18 \text{ m}^2 \times 1,43 \text{ m/det}$$

$$Q = 5,99 \text{ m}^3/\text{det}$$

2. Perhitungan Tinggi Muka Air

Perhitungan tinggi muka air saluran dari debit rencana dengan asumsi bahwa lebar saluran tetap. Perhitungan tinggi muka air ini menggunakan menu *goal seek* pada *Microsoft excel*. Jika tinggi muka air dari debit rencana lebih besar dari tinggi saluran (h) existing maka akan terjadi banjir di saluran tersebut, sehingga perlu dilakukan desain ulang saluran [1]. Adapun perhitungan tinggi muka air dapat dilihat pada **Tabel 7**.

3. Perhitungan desain ulang saluran

Untuk menanggulangi saluran yang meluber perlu dilakukan pemecahan masalah agar saluran dapat menerima debit rencana secara aman dan tidak mengakibatkan banjir. Pemecahan masalah yang sesuai dengan kondisi di lapangan adalah dengan mendesain ulang saluran *existing* yang meluber, sehingga mampu mengalirkan debit banjir. Alternatif ini dipilih karena di lapangan masih ada lahan yang dapat dipakai untuk melebarkan saluran. Adapun perhitungan desain ulang saluran **Tabel 8**.

4. Perhitungan tinggi muka air setelah desain ulang saluran

Perhitungan tinggi muka air saluran dari debit rencana dengan asumsi bahwa lebar saluran tetap. Perhitungan tinggi muka air ini menggunakan menu *goal seek* pada *Microsoft excel*. Jika tinggi muka air dari debit rencana lebih besar dari tinggi saluran (h) rencana maka akan terjadi banjir di saluran

tersebut sehingga perlu dilakukan desain ulang saluran. Adapun Perhitungan tinggi muka air setelah desain ulang saluran dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 7. Perhitungan Tinggi Muka Air

Nama Saluran	h exs (m)	Q renc (m ³ /dk)	h banjir (m)	$\Delta h = h$ exs - h banjir (m)
Sal. Sekunder Manukan Kulon 1-43	1,90	4,21	1,34	0,56
Sal. Sekunder Lontar 6-7	1,90	18,19	1,77	0,13
Sal. Sekunder Lontar 7-10	1,60	18,19	1,78	-0,18
Sal. Sekunder Balong Sari 8-9	1,70	26,37	2,37	-0,67
Sal. Sekunder Balong Sari 9-10	1,70	26,37	2,42	-0,72
Sal. Sekunder Balong Sari 10-11	1,80	26,37	2,35	-0,55
Sal. Sekunder Balong Sari 11-12	1,90	26,37	2,17	-0,27
Sal. Sekunder Balong Sari 12-13	1,90	26,37	2,14	-0,24
Sal. Sekunder Balong Sari 13-14	1,90	26,37	2,14	-0,24
Sal. Sekunder Balong Sari 14-18	1,90	26,37	2,17	-0,27
Sal. Sekunder Gadelsari 15-16	1,90	9,69	0,94	0,96
Sal. Sekunder Gadelsari 16-17	2,00	9,69	1,32	0,68
Sal. Sekunder Gadelsari 17-18	2,00	9,69	1,32	0,68
Sal. Sekunder Balong Sari 18-19	1,90	26,37	1,93	-0,03
Sal. Sekunder Balong Sari 19-20	2,00	26,37	1,86	0,14
Sal. Sekunder Balong Sari 20-39	2,00	26,37	1,94	0,06
Sal. Sekunder Tubanan 21-22	1,16	8,84	0,99	0,17
Sal. Sekunder Tubanan 22-23	1,20	8,84	0,93	0,27
Sal. Sekunder Tubanan 23-35	1,20	8,84	0,93	0,27
Sal. Sekunder Darmo Indah 24-25	1,10	11,64	1,54	-0,44
Sal. Sekunder Darmo Indah 25-26	1,10	11,64	1,53	-0,43
Sal. Sekunder Darmo Indah 26-28	1,20	11,64	1,54	-0,34
Sal. Sekunder Darmo Harapan 27-28	1,68	2,19	0,64	1,05
Sal. Sekunder Darmo Indah 28-33	1,30	11,64	1,22	0,08
Sal. Darmo Satelit 29-30	1,10	9,22	1,68	-0,58
Sal. Darmo Satelit 30-31	1,20	9,22	1,63	-0,43
Sal. Darmo Satelit 31-32	1,25	9,22	1,23	0,02
Sal. Primer Gunungsari 35-36	3,60	49,45	1,49	2,11
Sal. Primer Gunungsari 36-37	3,60	49,45	1,49	2,11
Sal. Primer Gunungsari 37-38	3,60	49,45	1,49	2,11
Sal. Primer Gunungsari 38-39	3,60	49,45	1,49	2,11
Sal. Primer Gunungsari 39-40	3,60	49,45	1,49	2,11
Sal. Primer Gunungsari 41-40	3,10	8,28	0,67	2,43
Sal. Primer Gunungsari 42-41	3,10	8,28	0,67	2,43
Sal. Primer Gunungsari 43-42	1,50	8,28	2,22	-0,72
Sal. Primer Kali Balong 40-44	2,45	65,66	3,28	-0,83
Sal. Primer Kali Balong 44-45	2,45	65,66	3,21	-0,76
Sal. Primer Margomulyo 36-46	1,60	28,55	1,59	0,01
Sal. Primer Margomulyo 46-47	1,60	28,55	1,58	0,02
Sal. Primer Margomulyo 47-48	1,60	28,55	1,60	0,00
Sal. Primer Margomulyo 48-49	1,60	28,55	1,60	0,00
Sal. Primer Margomulyo 49-50	1,70	28,55	1,54	0,16
Sal. Primer Margomulyo 50-51	1,70	28,55	1,52	0,18
Sal. Primer Margomulyo 51-52	1,70	28,55	1,52	0,18
Sal. Primer Kali Balong 45-52	2,50	65,66	2,96	-0,46
Sal. Primer Kali Balong 52-53	2,60	65,66	2,91	-0,31

Sumber: Hasil analisis

5. Perhitungan Pengaruh Backwater

Perhitungan *backwater* dimaksudkan untuk mengetahui jarak pengaruh pasang surut air laut terhadap saluran. Hal ini perlu diperhatikan karena outlet saluran Primer Kali Balong berada di tepi laut. Perhitungan *backwater* ini menggunakan metode tahapan langsung (*direct step method*) [7] [8], yaitu dengan memperhitungkan jarak pengaruh yang ditimbulkan akibat pasang surut air laut yang tertinggi terhadap Saluran Primer Kali Balong. Adapun perhitungan pengaruh

backwater dapat dilihat pada **Tabel 10** dengan menggunakan Metode Tahapan Langsung [7].

Pada **Tabel 10** panjang pengaruh *backwater* sebesar 1.494,85 m.

Tabel 8. Perhitungan desain ulang saluran

Nama Saluran	h exs (m)	b exs (m)	h renc (m)	b renc (m)	Q fc. renc (m ³ /det)
Sal. Sekunder Lontar 7-10	1,60	2,10	2,06	2,10	25,51
Sal. Sekunder Balong Sari 8-9	1,70	3,90	2,00	4,90	29,64
Sal. Sekunder Balong Sari 9-10	1,70	3,80	2,00	4,90	29,72
Sal. Sekunder Balong Sari 10-11	1,80	3,80	2,00	4,90	29,96
Sal. Sekunder Balong Sari 11-12	1,90	3,80	2,00	4,20	27,01
Sal. Sekunder Balong Sari 12-13	1,90	3,90	2,00	4,20	26,90
Sal. Sekunder Balong Sari 13-14	1,90	3,90	2,00	4,20	26,90
Sal. Sekunder Balong Sari 14-18	1,90	4,00	2,00	4,20	25,72
Sal. Sekunder Darmo Indah 24-25	1,10	4,00	1,30	4,80	12,22
Sal. Sekunder Darmo Indah 25-26	1,10	4,00	1,30	4,80	12,68
Sal. Sekunder Darmo Indah 26-28	1,20	3,50	1,30	4,10	11,71
Sal. Darmo Satelit 29-30	1,10	4,20	1,30	5,40	10,12
Sal. Darmo Satelit 30-31	1,20	4,20	1,30	5,40	9,78
Sal. Primer Gunungsari 43-42	1,50	5,20	1,70	7,00	8,83
Sal. Primer Kali Balong 40-44	2,45	12,00	2,70	14,20	66,98
Sal. Primer Kali Balong 44-45	2,45	12,00	2,70	14,20	68,02
Sal. Primer Kali Balong 45-52	2,50	13,00	2,70	14,50	69,33
Sal. Primer Kali Balong 52-53	2,60	13,00	2,70	14,50	69,33

Sumber: Hasil analisis

Tabel 9. Perhitungan tinggi muka air setelah desain ulang saluran

Nama Saluran	h renc (m)	Q renc (m ³ /det)	h muka air redesain (m)	$\Delta h = h$ renc - h muka air (m)
Sal. Sekunder Lontar 7-10	1,80	18,19	1,62	1,08
Sal. Sekunder Balong Sari 8-9	1,80	26,37	1,80	0,20
Sal. Sekunder Balong Sari 9-10	1,80	26,37	1,80	0,20
Sal. Sekunder Balong Sari 10-11	1,80	26,37	1,79	0,21
Sal. Sekunder Balong Sari 11-12	1,80	26,37	1,96	0,04
Sal. Sekunder Balong Sari 12-13	1,80	26,37	1,97	0,03
Sal. Sekunder Balong Sari 13-14	1,80	26,37	1,97	0,03
Sal. Sekunder Balong Sari 14-18	1,80	26,37	1,99	0,01
Sal. Sekunder Darmo Indah 24-25	1,10	11,64	1,22	0,08
Sal. Sekunder Darmo Indah 25-26	1,10	11,64	1,20	0,10
Sal. Sekunder Darmo Indah 26-28	1,10	11,64	1,29	0,01
Sal. Darmo Satelit 29-30	1,10	9,22	1,22	0,08
Sal. Darmo Satelit 30-31	1,10	9,22	1,28	0,02
Sal. Primer Gunungsari 43-42	1,30	8,54	1,66	0,04
Sal. Primer Kali Balong 40-44	2,30	66,65	2,69	0,01
Sal. Primer Kali Balong 44-45	2,30	66,65	2,66	0,04
Sal. Primer Kali Balong 45-52	2,30	66,65	2,70	0,00
Sal. Primer Kali Balong 52-53	2,30	66,65	2,70	0,00

Sumber: Hasil analisis

Tabel 10. Perhitungan pengaruh *backwater*

H	A	P	R	V	$\propto \frac{v^2}{2g}$	E	DE	Sf	Sfrata ²	So-Sfrata ²	X	DX
M	m ²	M	M	m/det	M	M	M				m	M
3,98	65,65	23,40	2,80	1,00	0,05	4,03		0,000048				
							0,18		0,00008	0,00090	195,71	195,71
3,80	62,32	23,00	2,71	1,05	0,06	3,86		0,000061				
							0,10		0,00010	0,00088	109,89	305,60
3,70	60,50	22,77	2,66	1,09	0,06	3,76		0,000071				
							0,10		0,00011	0,00086	111,39	417,00
3,60	58,68	22,55	2,60	1,12	0,06	3,66		0,000081				
							0,10		0,00009	0,00089	108,07	525,07
3,50	56,88	22,33	2,55	1,15	0,07	3,57		0,000094				
							0,10		0,00010	0,00087	109,39	634,46
3,40	55,08	22,10	2,49	1,19	0,07	3,47		0,000110				
							0,10		0,00012	0,00086	111,07	747,54
3,30	53,30	21,88	2,44	1,23	0,08	3,38		0,000129				
							0,10		0,00014	0,00084	113,23	858,77
3,20	51,52	21,66	2,38	1,27	0,08	3,28		0,000151				
							0,09		0,00016	0,00081	116,06	974,83
3,10	49,76	21,43	2,32	1,32	0,09	3,19		0,000179				
							0,09		0,00020	0,00078	119,82	1.094,65
3,00	48,00	21,21	2,26	1,37	0,10	3,10		0,000213				
							0,09		0,00023	0,00074	124,97	1.219,62
2,90	46,26	20,99	2,20	1,42	0,10	3,00		0,000255				
							0,09		0,00028	0,00069	132,24	1.351,86
2,80	44,52	20,76	2,14	1,48	0,11	2,91		0,000307				
							0,09		0,00034	0,00064	142,99	1.494,85
2,70	42,80	20,54	2,08	1,53	0,12	2,82		0,000372				

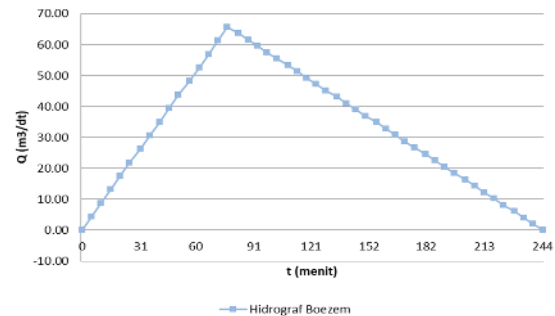
Sumber: Hasil analisis

6. Perhitungan *Boezem*

Perhitungan *boezem* direncanakan dengan tujuan menampung sementara debit limpasan sesuai kapasitas yang direncanakan [1],[8],[9]. Dalam perhitungan *boezem* menggunakan hidrograf rasional dengan rencana lama hujan 4 jam. Adapun perhitungan hidrograf rasional *boezem* dapat dilihat pada **Tabel 11**. Adapun grafik hidrograf *boezem* dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Perhitungan selanjutnya yaitu menentukan volume dan kedalaman *boezem*. Untuk perhitungan kedalaman diperoleh dari volume dibagi luas. Pada **Tabel 12** dihasilkan kedalaman yang terlalu tinggi (5,27 m), kedalaman ini tidak memungkinkan di lapangan, sehingga direncanakan kedalaman *boezem* setinggi 3,00 m saja. Dengan lahan yang tersedia direncanakan *boezem* seluas 26.000 m² ditambah

panjang *long storage* Saluran Kali Balong dan Margomulyo sebesar 16.8724,85 m². Lokasi perencanaan *boezem* dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Grafik Hidrograf *Boezem*

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 11. Perhitungan Hidrograf Rasional Boezem

Durasi hujan (t) (Menit)	Intensitas (I) (mm/jam)	(C)	Luas (A) km ²	Debit (Q) (m ³ /dt)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,19	37,53	0,48	13,11	4,38
10,37	37,53	0,48	13,11	8,75
15,56	37,53	0,48	13,11	13,14
20,74	37,53	0,48	13,11	17,51
25,93	37,53	0,48	13,11	21,89
31,11	37,53	0,48	13,11	26,26
36,30	37,53	0,48	13,11	30,64
41,48	37,53	0,48	13,11	35,02
46,67	37,53	0,48	13,11	39,40
51,85	37,53	0,48	13,11	43,77
57,04	37,53	0,48	13,11	48,15
62,22	37,53	0,48	13,11	52,52
67,41	37,53	0,48	13,11	56,91
72,59	37,53	0,48	13,11	61,28
77,78	37,53	0,48	13,11	65,66
83,00	37,53	0,48	13,11	63,61
88,21	37,53	0,48	13,11	61,56
93,43	37,53	0,48	13,11	59,50
98,65	37,53	0,48	13,11	57,45
103,87	37,53	0,48	13,11	55,40
109,08	37,53	0,48	13,11	53,35
114,30	37,53	0,48	13,11	51,30
119,52	37,53	0,48	13,11	49,24
124,74	37,53	0,48	13,11	47,19
129,95	37,53	0,48	13,11	45,14
135,17	37,53	0,48	13,11	43,09
140,39	37,53	0,48	13,11	41,04
145,61	37,53	0,48	13,11	38,99
150,82	37,53	0,48	13,11	36,93
156,04	37,53	0,48	13,11	34,88
161,26	37,53	0,48	13,11	32,83
166,48	37,53	0,48	13,11	30,78
171,69	37,53	0,48	13,11	28,73
176,91	37,53	0,48	13,11	26,67
182,13	37,53	0,48	13,11	24,62
187,35	37,53	0,48	13,11	22,57
192,56	37,53	0,48	13,11	20,52
197,78	37,53	0,48	13,11	18,47
203,00	37,53	0,48	13,11	16,41
208,21	37,53	0,48	13,11	14,36
213,43	37,53	0,48	13,11	12,31
218,65	37,53	0,48	13,11	10,26
223,87	37,53	0,48	13,11	8,21
229,08	37,53	0,48	13,11	6,16
234,30	37,53	0,48	13,11	4,10
239,52	37,53	0,48	13,11	2,05
244,74	37,53	0,48	13,11	0,00

Sumber: Hasil analisis

7. Perhitungan Pompa

Direncanakan pompa sebanyak 8 unit dengan kapasitas 2,50 m³/dt yang bekerja dengan waktu tertentu. Adapun perhitungan *inflow* pada boezem dapat dilihat pada **Tabel 13.** Dan perhitungan *Outflow* pompa dapat dilihat pada **Tabel 14.**

Dari Hasil perhitungan dengan adanya kinerja pompa maka volume tampungan akhir *boezem* yang dibutuhkan sebesar 237.608,47 m³. Sedangkan tampungan *boezem* yang memungkinkan dilapangan sebesar 78.000 m³. ditambah panjang *long storage* Saluran Kali Balong dan Margomulyo sebesar 168.724,85 m³. Jadi keberadaan boezem dan tampungan alami sungai sudah mencukupi kebutuhan akan tampungan selama hujan. Adapun grafik hubungan hidrograf *boezem* dengan debit *outflow* pompa dapat dilihat pada **Gambar 3.**

Tabel 12. Perhitungan volume dan kedalaman boezem

t	Kolam			Tinggi air m
	Q _{in} m ³ /dt	Vol _{in} m ³	Vol _{in} kumulatif m ³	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,19	4,38	682,16	682,16	0,01
10,37	8,75	2041,24	2723,40	0,03
15,56	13,14	3408,19	6131,59	0,07
20,74	17,51	4762,01	10893,61	0,12
25,93	21,89	6134,22	17027,83	0,19
31,11	26,26	7482,79	24510,62	0,27
36,30	30,64	8860,25	33370,86	0,36
41,48	35,02	10203,56	43574,43	0,48
46,67	39,40	11586,28	55160,70	0,60
51,85	43,77	12924,34	68085,04	0,74
57,04	48,15	14312,30	82397,35	0,90
62,22	52,52	15645,11	98042,46	1,07
67,41	56,91	17038,33	115080,79	1,26
72,59	61,28	18365,89	133446,68	1,46
77,78	65,66	19764,36	153211,04	1,67
83,00	63,61	20243,39	173454,43	1,90
88,21	61,56	19563,19	193017,62	2,11
93,43	59,50	18958,09	211975,72	2,32
98,65	57,45	18315,45	230291,16	2,52
103,87	55,40	17672,80	247963,96	2,71
109,08	53,35	16997,53	264961,49	2,90
114,30	51,30	16387,50	281349,00	3,07
119,52	49,24	15744,86	297093,85	3,25
124,74	47,19	15102,21	312196,06	3,41
129,95	45,14	14431,86	326627,93	3,57
135,17	43,09	13816,92	340444,84	3,72
140,39	41,04	13174,27	353619,11	3,86
145,61	38,99	12531,62	366150,73	4,00
150,82	36,93	11866,20	378016,93	4,13
156,04	34,88	11246,33	389263,26	4,25
161,26	32,83	10603,68	399866,94	4,37
166,48	30,78	9961,03	409827,97	4,48
171,69	28,73	9300,53	419128,50	4,58
176,91	26,67	8675,74	427804,24	4,67
182,13	24,62	8033,09	435837,33	4,76
187,35	22,57	7390,44	443227,78	4,84
192,56	20,52	6734,87	449962,65	4,92
197,78	18,47	6105,15	456067,79	4,98
203,00	16,41	5462,50	461530,30	5,04
208,21	14,36	4810,62	466340,92	5,10
213,43	12,31	4177,21	470518,12	5,14
218,65	10,26	3534,56	474052,68	5,18
223,87	8,21	2891,91	476944,60	5,21
229,08	6,16	2244,96	479189,55	5,24
234,30	4,10	1606,62	480796,17	5,25
239,52	2,05	963,97	481760,14	5,26
244,74	0,00	321,32	482081,47	5,27

Sumber: Hasil analisis

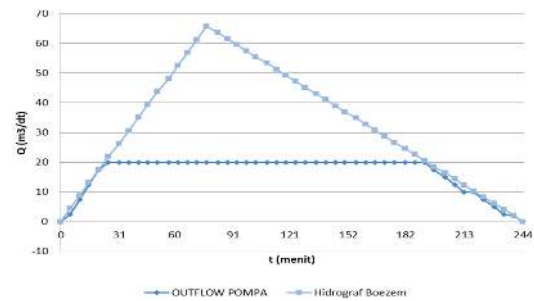


Gambar 2. Lokasi Boezem

Tabel 13. Perhitungan inflow pada boezem

T (min)	Kolam		
	Q in (m ³ /dt)	Vol in (m ³)	Vol in komulatif (m ³)
0,00	0,00	0,00	0,00
5,19	4,38	682,16	682,16
10,37	8,75	2.041,24	2.723,40
15,56	13,14	3.408,19	6.131,59
20,74	17,51	4.762,01	10.893,61
25,93	21,89	6.134,22	17.027,83
31,11	26,26	7.482,79	24.510,62
36,30	30,64	8.860,25	33.370,86
41,48	35,02	10.203,56	43.574,43
46,67	39,40	11.586,28	55.160,70
51,85	43,77	12.924,34	68.085,04
57,04	48,15	14.312,30	82.397,35
62,22	52,52	15.645,11	98.042,46
67,41	56,91	17.038,33	115.080,79
72,59	61,28	18.365,89	133.446,68
77,78	65,66	19.764,36	153.211,04
83,00	63,61	20.243,39	173.454,43
88,21	61,56	19.563,19	193.017,62
93,43	59,50	18.958,09	211.975,72
98,65	57,45	18.315,45	230.291,16
103,87	55,40	17.672,80	247.963,96
109,08	53,35	16.997,53	264.961,49
114,30	51,30	16.387,50	281.349,00
119,52	49,24	15.744,86	297.093,85
124,74	47,19	15.102,21	312.196,06
129,95	45,14	14.431,86	326.627,93
135,17	43,09	13.816,92	340.444,84
140,39	41,04	13.174,27	353.619,11
145,61	38,99	12.531,62	366.150,73
150,82	36,93	11.866,20	378.016,93
156,04	34,88	11.246,33	389.263,26
161,26	32,83	10.603,68	399.866,94
166,48	30,78	9.961,03	409.827,97
171,69	28,73	9.300,53	419.128,50
176,91	26,67	8.675,74	427.804,24
182,13	24,62	8.033,09	435.837,33
187,35	22,57	7.390,44	443.227,78
192,56	20,52	6.734,87	449.962,65
197,78	18,47	6.105,15	456.067,79
203,00	16,41	5.462,50	461.530,30
208,21	14,36	4.810,62	466.340,92
213,43	12,31	4.177,21	470.518,12
218,65	10,26	3.534,56	474.052,68
223,87	8,21	2.891,91	476.944,60
229,08	6,16	2.244,96	479.189,55
234,30	4,10	1.606,62	480.796,17
239,52	2,05	963,97	481.760,14
244,74	0,00	321,32	482.081,47

Sumber: Hasil analisis

Gambar 3. Debit *Outflow* Pompa

8. Perhitungan Pintu Air

Pada perencanaan *boezem* ini direncanakan pintu air hidrolik yang terbuat dari profil baja. Pintu air direncanakan dengan lebar 1,50 m dan tinggi 4,00 m sebanyak 6 unit. Pengoperasian pintu air ini ditutup ketika terjadi pasang surut air laut dan dibuka ketika tidak terjadi pasang surut air laut.

- Tebal Pelat yang Diperlukan

Perhitungan untuk tebal pelat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{1}{2} * K * \left[\frac{a^2}{a^2 + b^2} \right] * \left[\frac{b}{t} \right] * q$$

Keterangan:

α = Tegangan yang diijinkan = 1.400 kg/cm²

k = Koefisien (diambil 0,8)

a = Lebar pelat

b = Panjang pelat

t = Tebal pelat

q = Beban merata

Maka:

$$1400 \frac{kg}{cm^2} = \frac{1}{2} * 0,8 * \left[\frac{1,5^2 m}{1,50^2 m + 4,00^2 m} \right] * \left[\frac{1,50 m}{t} \right] * 4050 kg/m$$

$$1400 \frac{kg}{cm^2} = 399,45 * \left[\frac{1,50 m}{t} \right]$$

$$t = 2.036 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm}$$

9. Pengoperasian pompa dan Pintu

Pengoperasian pompa dan pintu berdasarkan batas *peilschaal* yang berada di hilir Kali Balong. Adapun gambar *peilschaal* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Pengoperasian pompa dan pintu air dapat dilihat di bawah ini:

- Keadaan 1 (Kondisi Hulu)

- Apabila muka air hulu berada dibatas siaga (warna kuning) sedangkan muka air hilir berada dibatas aman (warna hijau) maka pintu air dibuka dan pompa dimatikan.

- Apabila muka air hulu berada dibatas siaga (warna kuning) sedangkan muka air hilir berada lebih tinggi

dari hulu dibatas siaga (warna kuning) maka pompa dioperasikan dan pintu ditutup.

- Apabila muka air hulu berada di batas aman (warna hijau) dan muka air hilir berada dibatas waspada (warna merah) maka pompa dimatikan dan pintu ditutup.

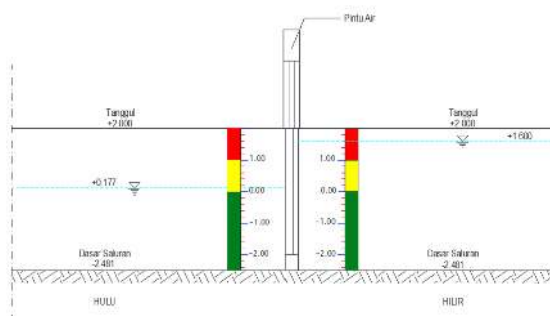
Tabel 14. Perhitungan *outflow* pompa

Pompa			Tampungan Akhir
Qout	Vol Out	Vol Out kumulatif	
(m ³ /dt)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
0,00	0	0,00	0
2,50	389	389,30	292,91
7,50	1.554	1.943,30	780,15
12,50	3.114	5.057,30	1.074,34
17,50	4.662	9.719,30	1.174,36
20,00	5.839	15.558,00	1.469,83
20,00	6.216	21.774,00	2.736,62
20,00	6.228	28.002,00	5.368,86
20,00	6.216	34.218,00	9.356,43
20,00	6.228	40.446,00	14.714,70
20,00	6.216	46.662,00	21.423,04
20,00	6.228	52.890,00	29.507,35
20,00	6.216	59.106,00	38.936,46
20,00	6.228	65.334,00	49.746,79
20,00	6.216	71.550,00	61.896,68
20,00	6.228	77.778,00	75.433,04
20,00	6.264	84.042,00	89.412,43
20,00	6.252	90.294,00	102.723,62
20,00	6.264	96.558,00	115.417,72
20,00	6.264	102.822,00	127.469,16
20,00	6.264	109.086,00	138.877,96
20,00	6.252	115.338,00	149.623,49
20,00	6.264	121.602,00	159.747,00
20,00	6.264	127.866,00	169.227,85
20,00	6.264	134.130,00	178.066,06
20,00	6.252	140.382,00	186.245,93
20,00	6.264	146.646,00	193.798,84
20,00	6.264	152.910,00	200.709,11
20,00	6.264	159.174,00	206.976,73
20,00	6.252	165.426,00	212.590,93
20,00	6.264	171.690,00	217.573,26
20,00	6.264	177.954,00	221.912,94
20,00	6.264	184.218,00	225.609,97
20,00	6.252	190.470,00	228.658,50
20,00	6.264	196.734,00	231.070,24
20,00	6.264	202.998,00	232.839,33
20,00	6.264	209.262,00	233.965,78
20,00	6.252	215.514,00	234.448,65
17,50	5.873	221.386,50	234.681,29
15,00	5.090	226.476,00	235.054,30
12,50	4.298	230.774,30	235.566,67
10,00	3.524	234.297,80	236.220,37
10,00	3.132	237.429,80	236.622,93
7,50	2.741	240.170,30	236.774,35
5,00	1.954	242.124,00	237.065,55
2,50	1.175	243.298,50	237.497,67
2,50	783	244.081,50	237.678,64
0,00	392	244.473,00	237.608,47

• Keadaan 2 (Kondisi Hilir)

- Apabila muka air hilir berada di batas aman (warna hijau) sedangkan muka air hulu berada dibatas waspada (warna merah) maka pintu air di buka dan pompa dimatikan.

- Apabila muka air hilir berada di batas siaga (warna kuning) sedangkan muka air hulu berada dibatas aman (warna hijau) maka pompa dioperasikan dan pintu ditutup.
- Apabila muka air hilir berada di batas waspada (warna merah) sedangkan muka air hulu berada dibatas waspada (warna merah) maka pintu ditutup dan pompa dioperasikan.



Gambar 4. Peilschaal

10. Waktu dan jumlah pengoperasian pompa

Direncanakan 8 unit pompa air dengan kapasitas 2,50 m³/detik. Adapun waktu dan jumlah pengoperasian pompa dapat dilihat di bawah ini:

- Pada menit ke 5,19 pompa air dioperasikan 1 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 10,37 pompa air dioperasikan 3 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 15,56 pompa air dioperasikan 5 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 20,74 pompa air dioperasikan 7 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 25,93 sampai 192,56 pompa air dioperasikan 8 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 197,78 pompa air dioperasikan 7 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 203,00 pompa air dioperasikan 6 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 208,21 pompa air dioperasikan 5 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 213,43 sampai 218,65 pompa air dioperasikan 4 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik
- Pada menit ke 223,87 pompa air dioperasikan 3 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 229,08 pompa air dioperasikan 2 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik.
- Pada menit ke 234,30 sampai 239,52 pompa air dioperasikan 1 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik

- Pada menit ke 244,74 pompa air dimatikan.

234,30 sampai 239,52 dioperasikan 1 unit dan menit ke 244,74 pompa air dimatikan.

4. Simpulan

Simpulan yang dapat diambil dari hasil studi ini antara lain adalah:

1. Curah hujan harian rencana untuk periode ulang 5 dan 10 tahun pada daerah studi adalah sebesar 117,09 mm dan 127,78 mm
2. Terdapat beberapa saluran yang meluber diantaranya Saluran Sekunder Lontar, Balongsari, Darmo Indah, Dar-mo Satelit, Saluran Primer Gunungsari, dan Kali Balong.
3. Pemecahan masalah untuk menanggulangi saluran yang meluber adalah dengan mendesain ulang saluran eksisting dengan merubah lebar dan tinggi saluran, karena pada lokasi studi memungkinkan untuk dilakukan desain ulang saluran.
4. Terdapat pengaruh *backwater* akibat pasang surut air laut. hasil perhitungan diketahui bahwa panjang pengaruhnya adalah sebesar 1494,85 m.
5. Selain mendesain ulang saluran alternatif pemecahan ma-salah yang lain yaitu merencanakan *boezem* yang dileng-kapi pompa dan pintu air.
6. Pada Perhitungan *boezem* direncanakan seluas 26.000 m² dengan tinggi 3 m sehingga volume tampungannya sebe-sar 78.000 m³ ditambah panjang *long storage* Saluran Kali Balong dan Margomulyo sebesar 168.724,85 m³.
7. Pada perhitungan pompa direncanakan pompa submer-sible sebanyak 8 unit dengan kapasitas 2,50 m³/detik. De-bit akhir *outflow* pada saat pompa dioperasikan sebesar 244.473 m³.
8. Pada perhitungan pintu air direncanakan selebar 1,50 m dan tinggi 4,00 m sebanyak 6 unit.
9. Dari gambar *peilschaal* diketahui apabila muka air hulu berada dibatas siaga (warna kuning) sedangkan muka air hilir berada dibatas aman (warna hijau) maka pintu air di-buka dan pompa dimatikan. Dan juga sebaliknya, apabila muka air hilir berada dibatas waspada (warna merah) se-dangkan muka air hulu berada dibatas waspada (warna merah) maka pintu ditutup dan pompa dioperasikan.
10. Pengoperasian pompa berdasarkan pada waktu. Pada menit ke 5,19 pompa air dioperasikan 1 unit, menit ke 10,37 dioperasikan 3 unit, menit ke 15,56 dioperasikan 5 unit, menit ke 20,74 dioperasikan 7 unit, menit ke 25,93 sampai 192,56 dioperasikan 8 unit, menit ke 197,78 di-operasikan 7 unit, menit ke 203 dioperasikan 6 unit, menit ke 208,21 dioperasikan 5 unit, menit ke 213,43 sampai 218,65 dioperasikan 4 unit, menit ke 223,87 dioperasikan 3 unit, menit ke 229,08 dioperasikan 2 unit, menit ke

Daftar Pustaka

- [1] S. K. Aziz, "Pola Pengendalian Banjir pada Bagian Hilir Saluran Primer Wonorejo Surabaya," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, p. 33, Aug. 2011.
- [2] BMKG, "Laporan Pasang Surut Air Laut Kali Balong Tahun 2017," Surabaya, 2017.
- [3] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*, Edisi 2. Yogyakarta: Beta Offset, 2008.
- [4] I. S. Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengairan*, Edisi 9. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1976.
- [5] P. Buntung Peketingan, "Laporan Data Hujan Stasiun hujan Kandangan," Surabaya, 2014.
- [6] Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung, 1995.
- [7] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Semarang: Andi Yogyakarta, 2003.
- [8] J. Loebis, *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1987.
- [9] Anggrahini, *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya: CV Citra Media, 1996.