

Abstrak

Banjir adalah masalah yang setiap tahun melanda kota Surabaya. Banjir yang terjadi diakibatkan Minimnya daerah resapan air, saluran drainase yang buruk, pendangkalan saluran drainase akibat kebiasaan masyarakat membuang sampah di sungai. Banjir yang terjadi di daerah Mulyosari Surabaya diakibatkan elevasi ketinggian saluran drainase pada kawasan permukiman penduduk sama dengan sungai, sehingga air hujan tidak dapat dialirkan secara gravitasi menuju sungai. Untuk mengatasi masalah tersebut Pompa di bangun agar aliran didalam saluran drainase dapat dipercepat di buang ke sungai.

Dasar dari perancangan kapasitas pompa axial submersible adalah besarnya intensitas curah hujan maksimum dan luas wilayah yang akan dikeringkan pada daerah Mulyosari Surabaya. Setelah didapatkan kapasitas pompa, selanjutnya ditentukan head, daya pompa dan putaran motor. Kemudian dilakukan perancangan impeller pompa dengan metode perhitungan airfoil dan bagian pompa yang lain seperti sudu pengarah, poros, bearing, dan pasak.

Dari hasil perancangan yang dilakukan didapat suatu design pompa axial submersible dengan kapasitas sebesar $5 \text{ m}^3/\text{s}$, head sebesar 4,27 m dan daya pompa 147,56 HP. Impeller pompa dirancang menggunakan profil airfoil tipe gottingen 490, dengan diameter luar impeller sebesar 0,773m

Latar Belakang

Banjir adalah masalah yang setiap tahun melanda kota Surabaya. Setiap musim penghujan hampir semua daerah yang ada di Surabaya terendam banjir dan semakin lama daerah yang terendam banjir semakin meluas dan semakin dalam. Peningkatan jumlah penduduk yang pesat beserta penyebarannya dan juga pembangunan kota yang semakin luas mengakibatkan daerah terbuka sebagai resapan air hujan semakin berkurang. Selain alasan diatas banjir yang terjadi juga tidak lepas dari kebiasaan masyarakat membuang sampah di sungai maupun saluran drainase yang ada, sehingga mengendap di dasar sungai atau saluran drainase mengakibatkan ketinggian efektif yang telah direncanakan menjadi berkurang. Debit air hujan yang mampu ditampung oleh saluran drainase menjadi lebih kecil sehingga air hujan tidak mampu dialirkan oleh alur sungai.

Jenis banjir yang ditemukan di Surabaya Timur dapat dikategorikan sebagai banjir mikro yang umumnya disebabkan oleh penundaan pengalihan limpasan air hujan dari jalanan dan kawasan pemukiman menuju sungai. Penundaan pengalihan limpasan air hujan ini diakibatkan oleh terbatasnya kapasitas saluran pematusan pada sistem. Selain itu muara sungai juga terpengaruh oleh pasang surut air laut sehingga ketinggian level air sungai pada waktu musim hujan sering kali lebih tinggi dari kondisi saluran drainase. Sehingga mengakibatkan limpasan air hujan tidak dapat mengalir secara gravitasi menuju sungai. Bukan banjir makro, yang disebabkan oleh luapan air sungai akibat kiriman banjir dari daerah lain.

Banjir dapat diatasi dengan beberapa cara, antara lain dengan rehabilitasi saluran, pembangunan rumah pompa, pengalihan arus banjir ke saluran lintas dan sebagainya. Pembangunan pompa dapat digolongkan sebagai cara yang paling efektif untuk daerah Surabaya Timur, mengingat kurangnya ketersediaan lahan untuk rehabilitasi saluran ini. Pompa dibangun agar aliran di dalam saluran drainase dapat dipercepat di buang ke saluran yang lebih besar (misal saluran sekunder menuju saluran primer selanjutnya ke laut) sehingga kelebihan debit pada saat terjadi banjir dapat di kurangi dengan cepat.

Pada umumnya pompa banjir yang digunakan adalah pompa aksial. Pompa ini mampu menghasilkan kapasitas yang besar dengan head mampu mencapai 10m. Karena kapasitas yang dihasilkan pompa aliran aksial sangat besar maka pompa jenis ini sangat sesuai sebagai pompa pengendali banjir. Mengingat pentingnya pompa aksial dalam instalasi pengendalian banjir di kota-kota besar (Surabaya), maka dalam Tugas akhir ini dilakukan perancangan pompa banjir (pompa aksial).

PERMASALAHAN

Peningkatan pembangunan kota yang semakin meluas di wilayah Mulyosari Surabaya mengakibatkan daerah terbuka sebagai resapan air hujan semakin berkurang. Dengan terus berkurangnya daerah hijau sebagai resapan air hujan menyebabkan limpasan air hujan yang terjadi dari tahun ketahun semakin meningkat. Akibatnya dalam jangka waktu lima sampai dengan sepuluh tahun kedepan pompa pengendali banjir yang terpasang di Mulyosari ini tidak akan mampu lagi mengatasi kapasitas limpasan air hujan yang terjadi. Penambahan jumlah kapasitas pompa pengendali banjir perlu dilakukan agar limpasan air hujan dapat dibuang secara cepat menuju saluran utama.

Untuk mengatasi permasalahan diatas maka pada tugas akhir ini dilakukan perancangan pompa dengan kapasitas yang sesuai untuk lima tahun kedepan. Pompa yang dipilih adalah axial submersible karena memiliki kelebihan antara lain : dapat di kopel langsung dengan motor sehingga getaran pada motor menjadi lebih kecil, kehilangan daya akibat gesekan antara poros dengan bearing dapat dikurangi sehingga efisiensi lebih besar. Selain itu lebih tahan panas karena motor tercelup sehingga cocok untuk pengoperasian dalam waktu yang lama, serta minimum dalam perawatan. Pada perancangan pompa pengendali banjir ini (pompa *axial submersible*) permasalahan utama yang dihadapi adalah sebagai berikut:

- Mengetahui kapasitas pompa yang diperlukan, dalam hal ini menyangkut curah hujan, dan luas wilayah yang tergenang banjir.
- Mengetahui head total instalasi yang diperlukan untuk dapat mengalirkan air genangan menuju saluran primer atau sungai
- Bagaimana menentukan jenis pompa berdasarkan kecepatan spesifik.
- Bagaimana merancang dimensi utama pompa.

Perancangan Pompa

Kapasitas Pompa

Data - data yang diperlukan untuk menentukan kapasitas banjir adalah sebagai berikut:

- Luas area yang dikeringkan (A) = 720 Ha
- Intensitas curah hujan (I) = 120 mm/hari (5 mm/jam)
- Koefisien limpas tahun 2009 (C) = 0,3
- Koefisien limpas tahun 2016 (C) = 0,5

Maka besarnya kapasitas banjir adalah sebagai berikut:

- Kapasitas Banjir Tahun 2009

$$Q_{\text{banjir}} = C \times I \times A$$

$$\begin{aligned} &= 0,3 \times 5 \times 10^{-3} \frac{m}{jam} \times 149.019 hm^2 \times \frac{10^4 m^2}{1hm^2} = 10800 \frac{m^3}{jam} \\ &= 10800 \frac{m^3}{jam} \times \frac{1 jam}{3600 s} = 3 \frac{m^3}{s} \end{aligned}$$

- Perkiraan Kapasitas Banjir 2016

$$Q_{\text{banjir}} = C \times I \times A$$

$$\begin{aligned} &= 0,5 \times 5 \times 10^{-3} \frac{m}{jam} \times 149,019 hm^2 \times \frac{10^4 m^2}{1hm^2} = 18000 \frac{m^3}{jam} \\ &= 18000 \frac{m^3}{jam} \times \frac{1 jam}{3600 s} = 5 \frac{m^3}{s} \end{aligned}$$

Maka besarnya kapasitas pompa pengendali untuk 5 tahun ke depan sebesar $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Ada 3 buah pompa yang sudah dipasang pada instalasi pengendali banjir Mulyosari ITS dengan kapasitas per unit sebesar $1 \text{ m}^3/\text{s}$ sehingga kapasitas total pompa yang terpasang $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Maka untuk mengatasi kekurangan kapasitas tersebut dirancang 1 buah pompa dengan kapasitas $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Head Pompa

Head pompa dapat dicari dengan persamaan berikut:

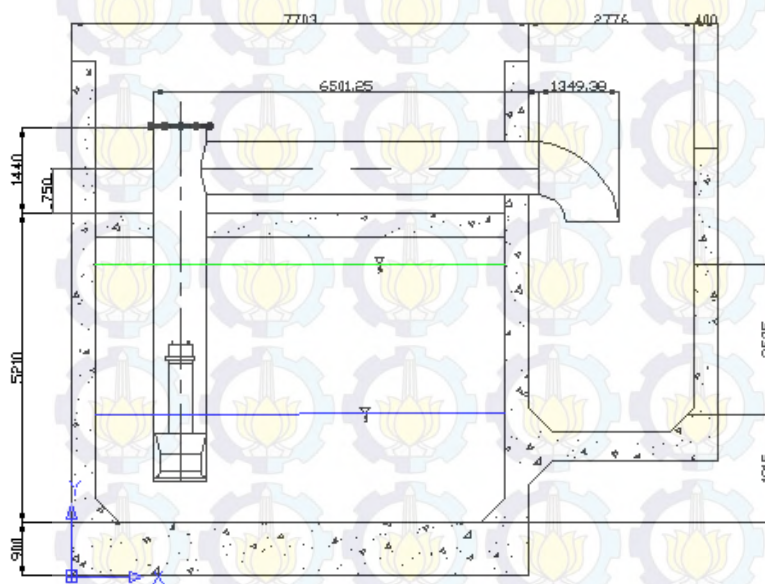
$$H = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) + H_{LT}$$

Dimana : $P_2 = P_1$

Maka nilai dari *head* pompa sama dengan besarnya *head loss* total (H_{LT}) yang terjadi pada pompa ditambah dengan *elevation head*.

$$H = (z_2 - z_1) + H_{LT}$$

Skema instalasi pengendali banjir ditunjukkan pada gambar 4.1. dibawah ini.



Gambar 4.1. Instalasi pompa pengendali banjir

Diameter Pipa

Diameter pipa dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Dimana : $V_{PIPA} = 1,5 \text{ m/s}$ (ditentukan)

Maka :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 2 \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi \times 1.5 \text{ m} / \text{s}}} = 1,3 \text{ m} = 51,3 \text{ in}$$

Diambil diameter pipa sebesar 51 in.

Head Loss

H_{LT} adalah *head loss* yang terjadi pada pompa yaitu meliputi *head loss mayor* yang diakibatkan gesekan pada pipa dan *head loss minor* yang diakibatkan oleh *fitting* perpipaan yang terjadi pada bagian *suction* maupun *discharge* pada pompa.

Head Loss Mayor

Untuk mengetahui besarnya *head loss mayor* yang terjadi maka diperlukan data – data sebagai berikut :

a. Panjang pipa discharge (L discharge)

$$= 4510 + 750 + 450 + 5600 + 675 \text{ (m)} = 11985 \text{ mm} = 12 \text{ m}$$

b. Bahan pipa

Galvanize iron ($e = 0,15 \text{ mm} = 0,15 \times 10^{-3} \text{ m}$)

c. Kecepatan aliran didalam pipa

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{2 \text{ m}^3 / \text{s}}{\frac{3,14}{4} \times (1,2954 \text{ m})^2} = 1,518 \text{ m} / \text{s}$$

$$\text{harga } \frac{e}{d} = \frac{0,15 \times 10^{-3} \text{ m}}{0,9 \text{ m}} = 1,1594 \times 10^{-4}$$

d. Reynolds number

$$Re = \frac{\rho \cdot \bar{V} \cdot d}{\mu} = \frac{999 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 1,518 \text{ m} / \text{s} \times 1,295 \text{ m}}{1,14 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2} = 1,72 \times 10^6$$

Dari moody diagram dengan nilai $\frac{e}{D} = 0,000115794$ dan $Re = 1723523$ didapatkan nilai koefisien gesek (f) sebesar 0,013. Besarnya *head loss* pada bagian *suction* dan *discharge* adalah sebagai berikut.

$$hl = \frac{f L \bar{V}^2}{2 D g} = \frac{0,013 \times 12 \text{ m} \times (1,518 \text{ m} / \text{s})^2}{2 \times 1,2954 \text{ m} \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2} = 0,01415 \text{ m}$$

Total *head loss mayor* adalah 0,01415 m

Head Loss Minor

Head loss minor terjadi akibat *fitting* perpipaan pada instalasi pompa yang meliputi bagian *suction* maupun *discharge*.

$$hl = (K_{Lbow} + K_{Lbow\ street} + K_{entrance}) \times \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

$$hl = \frac{(0,88 + 0,17 + 0,78)m \times (1,518\text{ m/s})^2}{2 \times 9,81\text{ m/s}^2} = 0,215\text{ m}$$

Perhitungan Head pompa :

$$H = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) + H_{LT}$$

Dimana :

$$P_2 = P_1$$

$$H_{st} = 450 + 750 + 4510 - 2300 + 500 = 3920\text{ mm} = 3,92\text{ m}$$

$$V_1 = 0$$

$$V_2 = \frac{2\text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 1,295\text{ m}^2} = 1,518\text{ m/s}$$

$$H = 0 + \left(\frac{(1,518\frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2 - 0^2}{2 \times 9,8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) + 3,920 + 0,229 = 4,267\text{ m}$$

Daya Air dan Daya Pompa

Besarnya daya air (*water horse power*) didapatkan dengan persamaan berikut:

$$WHP = \rho \times g \times Q \times H$$

dimana : $\rho = 999\text{ Kg/m}^3$
 $g = 9,81\text{ m/s}^2$

Sehingga :

$$WHP = 999\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 4,267\text{ m}$$

$$= 83627,9557\text{ W} \times \frac{1\text{ HP}}{745,7\text{ W}} = 112,147\text{ HP}$$

Menghitung Efisiensi Overall Pompa (η_{op})

Efisiensi Overall Pompa didapatkan dengan persamaan berikut:

$$A = \sqrt[3]{\frac{Q_{sl} \cdot n}{1000}}$$

Dimana : Q_{sl} = kapasitas discharge *impeller* pompa (liter/detik)

A = harga konstanta

n = putaran *impeller* pompa (rpm)

$$Q_{sl} = 2\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \left| \frac{1000\text{ liter}}{1\text{ m}^3} \right| = 2000\frac{\text{ liter}}{\text{ s}}$$

$$A = \sqrt[3]{\frac{Q_{SL} \times n}{1000}}$$

$$A = \sqrt[3]{\frac{2000 \frac{\text{liter}}{\text{s}} \times 720 \text{rpm}}{1000}}$$

$$A = 11,29$$

Tabel 4.1 Tabel efisiensi overall pompa (η_{op})⁶

A	5	10	15	20	30	40	80
η_{op}	0,65	0,75	0,785	0,82	0,86	0,88	0,9

Berdasarkan tabel diatas untuk harga A = 8,96 maka didapat harga efisiensi overall pompa (η_{op}) sebesar = 0,76 = 76 %. (batas harga η_{op} = 0,63 – 0,84)

$$BHP = \frac{Q \times \gamma \times H}{\eta_{op}} = \frac{WHP}{\eta_{op}} = \frac{112,147 HP}{0,76} = 147,562 HP$$

$$BHP \text{ saat start} = 147,562 \times 1,3 = 191,83 HP$$

4.1.4. Kecepatan Spesifik Pompa (n_s)

Kecepatan spesifik pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Dimana : H = 4,267 m

Q = 2 m³/s

n = 720 rpm

Maka :

$$n_s = 3,65 \times 720 \times \frac{\sqrt{2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}}{4,27^{\frac{3}{4}}} = 1251,916 \text{ rpm}$$

Setelah didapatkan nilai n_s maka didapatkan tipe *impeller* atau jenis pompa yang akan digunakan, yaitu *axial pump*.

4.1.5. Tinggi Hisap Pompa (z_s)

Data – data yang diperlukan dalam perhitungan tinggi hisap pompa adalah sebagai berikut:

- ❖ Tekanan atmosfer (Pa) = 1 atm
- ❖ Tekanan uap jenuh (Pv) = 1710 N/m²
- ❖ Kecepatan spesifik pompa (n_s) = 1251,916
- ❖ Faktor kavitasi (σ) = $\left(\frac{n_s}{560}\right)^{\frac{4}{3}}$

$$= \left(\frac{1251,916}{560} \right)^{\frac{4}{3}} = 2,923 \text{ m}$$

$$z_s = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \sigma H - h_{is}$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = \frac{1 \text{ atm}}{999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \times \frac{10^5 \text{ N/m}^2}{1 \text{ atm}} = 10,2 \text{ m}$$

$$\frac{P_v}{\gamma} = \frac{1710 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,174 \text{ m}$$

Maka besarnya tinggi hisap maksimum pompa adalah:

$$z_s = 10,2 - 0,174 - (2,923 \times 4,267) - 0 = -3,0976 \text{ m}$$

Perhitungan Profil Sudu Impeller

PERHITUNGAN IMPELLER

No	Perhitungan	Satuan	Potongan ke				
			1	2	3	4	5
1	$d_i = d_1 + (d_2 - d_1) \frac{(i-1)}{(x-1)}$	m	0,336836	0,4459135	0,55499	0,664069	0,773147
2	$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$	m/s	12,69197	16,802021	20,9121	25,02212	29,13216
3	$c_{u2} = \frac{g \times H_{th}}{u}$	m/s	3,546042	2,6786226	2,15217	1,79866	1,5449
4	$\omega^2_{\infty} = c_a^2 + \left(u - \frac{c_{u2}}{2} \right)^2$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	153,3909	273,26276	427,634	616,0762	838,4408
5	$\tan \beta_{\infty} = \frac{c_a}{u - \frac{c_{u2}}{2}}$		0,535334	0,3780247	0,29468	0,242314	0,206112
6	β_{ave}	deg	28,16166	20,70783	16,4192	13,62102	11,64627
7	λ diasumsikan	deg	1	1	1	1	1
8	$C_L \frac{l}{t} = \frac{2 \cdot g \cdot H_{th} \cdot c_a \cdot \cos \lambda}{\omega^2_{\infty} \cdot u \cdot \sin(\beta_{\infty} + \lambda)}$		0,554548	0,3097756	0,19651	0,135193	0,098376
9	$\frac{l}{t}$ diasumsikan		0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
10	$C_L = \left(C_L \times \frac{l}{t} \right) : \frac{l}{t}$		0,616165	0,3644419	0,24563	0,180257	0,140537
11	$t = \frac{\pi \cdot d_i}{Z}$	m	0,352555	0,4667228	0,58089	0,695059	0,809227
12	$l = t \times \frac{l}{t}$	m	0,317299	0,3967144	0,46471	0,521294	0,566459

Perhitungan Profil Sudu Terkoreksi

PERHITUNGAN PROFIL SUDU TERKOREKSI

No	Perhitungan	satuan	Potongan ke				
			1	2	3	4	5
1	Profil sudu		Profil 490	Profil 490	Profil 490	Profil 490	Profil 490
2	t	m	0,352555	0,4667228	0,58089	0,695059	0,809227
3	l (terkoreksi)	m	0,328333	0,3906166	0,4529	0,515183	0,577467
4	$C_L = \left(C_L \times \frac{l}{t} \right) \cdot \frac{l}{t}$		0,595458	0,3701311	0,25204	0,182395	0,137858
5	$Y_{max}l$	table	0,14	0,11	0,087	0,07	0,055
6	$Y_{max} = l \times \frac{Y_{max}}{l}$	m	0,045967	0,0429678	0,0394	0,036063	0,031761
7	Y_{max} koreksi	m	0,046221	0,0427308	0,03924	0,03575	0,032259
8	$Y_{max}l$ (setelah koreksi)		0,140775	0,1093931	0,08664	0,069392	0,055863
9	$\alpha_i = \frac{C_L - 4,4 \frac{Y_{max}}{l}}{0,092}$	deg	-0,26037	-1,208681	-1,40419	-1,33621	-1,17327
10	CD (dari grafik)		0,0102	0,0085	0,009	0,0105	0,0115
11	$\tan \lambda = \left(\frac{C_D}{C_L} \right)$		0,01713	0,0229648	0,03571	0,057567	0,083419
12	λ	deg	0,981362	1,3155571	2,04508	3,294734	4,768516



Sudu Impeller Pompa