

## ANALISIS KAVITASI PADA REDESAIN SISTEM PERPIPAAN POMPA SENTRIFUGAL DI GRAVING DOCK

Al Farrel Ghazali<sup>1</sup>, Emie Santoso<sup>1</sup>, Aminatus Sa'diyah<sup>1\*</sup>, Aura Desyandria Zahwa Imanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Jln Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya

E-mail: am.sadiyah@ppns.ac.id

### ABSTRAK

Kavitasi pada pompa sentrifugal yang berada di dok kolam terindikasi oleh suara bising dan munculnya gelembung uap di sekitar pompa tersebut. Hal ini dapat menyebabkan pompa mengalami kerusakan pada bagian impeller dan menyebabkan dayanya berkurang. Metode penelitian yang digunakan untuk mengatasi permasalahan ini yaitu dengan mengumpulkan, menghitung, dan menganalisis data. Perhitungan yang dianalisis adalah perhitungan kecepatan, faktor gesekan, head losses, head pompa, nilai NPSHA, dan NPSHR. Apabila nilai NPSHA kurang dari NPSHR, maka pompa mengalami kavitasi dan diperlukan modifikasi sistem perpipaan pada pompa agar masalah kavitasi dapat diatasi. Hasil perhitungan nilai NPSHA adalah 4,77 meter sedangkan NPSHR adalah 6 meter sehingga dapat disimpulkan bahwa pompa mengalami kavitasi. Berdasarkan perhitungan tersebut, maka diperlukan adanya modifikasi pada sistem perpipaan pompa sentrifugal. Pompa yang semula memiliki panjang pipa hisap 6 meter dipotong menjadi 5 meter. Posisi pompa diturunkan agar pipa hisap dapat menjangkau permukaan air terendah di dok kolam. Diameter pipa yang semula 0,3 meter juga dibuat menjadi 0,4 meter. Setelah modifikasi, nilai NPSHA melebihi NPSHR sebesar 0,7 meter sehingga pompa sentrifugal akan terhindar dari kavitasi.

**Kata Kunci:** Dok Kolam, Kavitasi, NPSH, Pompa Sentrifugal.

### ABSTRACT

Centrifugal pump at the graving dock experienced cavitation. It caused noise and a damage to its impeller as vapor bubbles appeared around it. This problem caused the centrifugal pump's power decreased. The research method to solve it is collecting, calculating, and analysing data. The calculations analysed are the calculation of velocity, friction factor, head losses, pump head, NPSHA and NPSHR values. If NPSHA value is less than NPSHR, the pump is cavitated and modification to the piping system is needed so that the cavitation problem can be overcome. The NPSHA calculation result is 4.77 m while the NPSHR is 6 m so that it can be concluded that the pump experienced cavitation. Based on these calculations, modification of its centrifugal pump piping system is required. The pump which was originally had a suction pipe length of 6 meters was shortened to 5 meters. The pump position was lowered so that the suction pipe could reach the lowest water level at the graving dock. The pipe diameter of 0.3 meters was enlarged to 0.4 meters. After modification, the NPSHA value exceeds the NPSHR by 0.7 meters so that the centrifugal pump will be safe from cavitation.

**Keyword :** Graving Dock, Cavitation, NPSH, Centrifugal Pump

### 1. PENDAHULUAN

Graving dock adalah fasilitas pendedokan kapal yang nantinya akan menjadi tempat masuknya kapal yang akan mengalami perbaikan. Graving dock memiliki bentuk yang menyerupai kolam yang dindingnya terbuat dari beton bertulang dan dasarnya dipancang paku bumi (*concrete pile*) dan pintu penutupnya terbuat dari plat baja yang dilengkapi tangki ballast yang dapat menenggelamkan dan mengapungkan saat waktu pendedokan.

Pompa adalah salah satu komponen yang ada di graving dock yang berfungsi untuk mengeluarkan air

laut yang berada di dalam graving dock. Pompa yang digunakan pada graving dock perusahaan adalah pompa sentrifugal yang berjumlah 7 pompa. Pompa sentrifugal adalah pompa yang memiliki elemen utama sebuah motor dengan sudu impeller berputar dengan kecepatan tinggi, fluida masuk dipercepat oleh impeller yang menaikkan kecepatan fluida maupun tekanannya dan mendorongnya keluar impeller [1].

Pompa sentrifugal yang terdapat pada graving dock milik perusahaan diprediksi telah mengalami penurunan kinerja karena disebabkan oleh kavitasi. Kavitasi terjadi ketika gelembung-gelembung udara

yang dihasilkan oleh aliran fluida di dalam pompa akibat terjadinya penurunan tekanan parsial dari cairan yang mengalir di dalam pompa tersebut [2]. Penurunan tekanan yang terjadi di dalam tersebut pompa mengubah cairan menjadi uap dan ketika *impeller* pompa berputar, gelembung udara tersebut akan bergerak dan tekanannya meningkat yang memicu terjadinya gelombang kejut di dalam pompa yang akan mengikis permukaan pada *impeller* atau komponen lainnya sehingga dapat menyebabkan terjadinya kerusakan yang signifikan khususnya pada *impeller* atau rumah pompa. Kerusakan ini menyebabkan penurunan kinerja yang ditandai munculnya kebisingan dan getaran berlebih pada pompa [3].

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu dilakukan analisis untuk mengetahui apakah pompa sentrifugal benar mengalami kavitasi atau tidak dengan melakukan perhitungan meliputi perhitungan *Net Positive Suction Head Available* (NPSHA) dan *Net Positive Suction Head Required* (NPSHR). Jika nilai  $NPSHA < NPSHR$ , maka pompa mengalami kavitasi dan perlu dilakukan modifikasi desain sistem perpipaan pada pompa agar terhindar dari kavitasi. Setelah modifikasi, akan dilakukan perhitungan ulang apakah modifikasi yang dilakukan berhasil mengatasi permasalahan kavitasi pada pompa sentrifugal *graving dock*.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memerlukan tahapan-tahapan dalam penyelesaiannya seperti mengidentifikasi masalah dan penetapan objek penelitian, survey lapangan dan studi literatur mengenai pompa sentrifugal di *graving dock*, melakukan pengumpulan data-data primer yang akan diperlukan meliputi data spesifikasi pengujian pompa sentrifugal *graving dock* berupa debit air, data inventaris pompa sentrifugal di *graving dock*, data dimensi *graving dock* dan data sekunder meliputi spesifikasi teknis pompa sentrifugal di *graving dock* serta buku dan jurnal yang dijadikan sumber acuan perhitungan dan analisis dalam penelitian ini. Kemudian dilakukan perhitungan data yang sudah dikumpulkan untuk menyelesaikan permasalahan apakah pompa mengalami kavitasi atau tidak. Jika terjadi kavitasi, maka diperlukan untuk modifikasi sistem perpipaan pada pompa sentrifugal di *graving dock* untuk mengatasi kavitasi yang terjadi pada pompa tersebut. Berikut ini adalah diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

### 2.1 Aliran Fluida

Aliran fluida dibedakan menjadi 3 tipe yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Tipe aliran ini didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh Osborne Reynold tahun 1883 yang mengklasifikasikan aliran menjadi 3 tipe. Berikut klasifikasinya :

#### a. Aliran Laminar

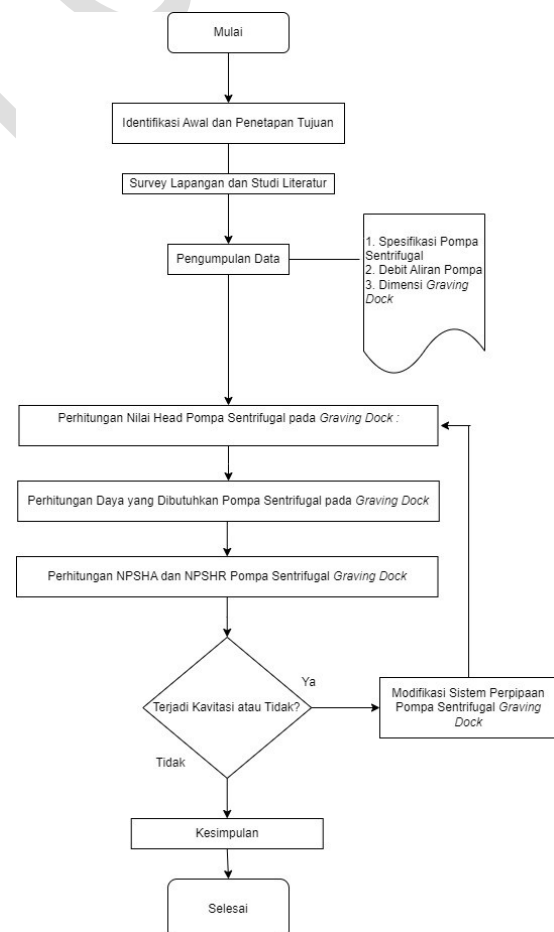
Aliran laminar adalah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lamina-lamina atau lapisan-lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldnya kurang dari 2000 ( $Re < 2000$ ).

#### b. Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Kondisi peralihan ini tergantung pada suatu viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldnya antara 2300 sampai dengan 4000 ( $2300 < Re < 4000$ ).

#### c. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran yang pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000 ( $Re > 4000$ ).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2.2 NPSH

NPSH adalah tinggi isap total dikurangi tekanan uap absolut (dalam tinggi kolom fluida yang dipompa) [4]. NPSH adalah kebutuhan minimum pompa untuk bekerja secara normal. NPSH menyangkut apa yang terjadi di bagian *suction* pompa, termasuk apa yang datang ke permukaan pendorong. NPSH dipengaruhi oleh pipa *suction* dan konektor-konektor, ketinggian dan tekanan fluida dalam pipa *suction*, kecepatan fluida dan temperatur. NPSH dinyatakan dalam satuan *feet*. NPSH dibagi menjadi 2 yaitu :

### a. Net Positive Suction Head Available (NPSHA)

NPSHA (dalam satuan meter kolom fluida) adalah head yang dimiliki oleh fluida pada sisi isap pompa dikurangi tekanan uap jenuh fluida ditempat tersebut. Rumus persamaan yang digunakan dalam menghitung NPSHA adalah sebagai berikut :

$$NPSHA = \frac{p}{\rho g} - h - H_{Lsuc} - \frac{p_{vp}}{\rho g} \quad (1)$$

### b. Net Positive Suction Head Required (NPSHR)

NPSHR adalah nilai head tekanan yang dibutuhkan oleh pompa sentrifugal yang menjadi syarat minimal besar nilai tekanan yang terdapat pada inlet pompa yang dikurangi penurunan tekanan. Nilai NPSHR dapat diperoleh dari manual book spesifikasi pompa. Tetapi untuk penaksiran secara kasar, NPSHR dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$H_{sv} = \sigma H \quad (2)$$

## 2.3 Kavitasi

Kavitasi adalah peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung uap di dalam cairan yang dipompa akibat turunnya tekanan cairan sampai di bawah tekanan uap jenuh [5]. Gejala terjadinya kavitasi disebabkan karena menguapnya zat cair yang sedang mengalir didalam pompa atau diluar pompa, karena tekanan yang terjadi berkurang mencapai dibawah tekanan uap jenuhnya [6]. ketika zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Bagian pompa yang sering terjadinya kavitasi ialah sisi isap pompa, dikarenakan tekanan pada sisi isap sering kali terlalu rendah hingga dibawah tekanan uap jenuhnya.

Saat pengoperasian pompa sentrifugal yang mengalami kavitasi akan menimbulkan kebisingan

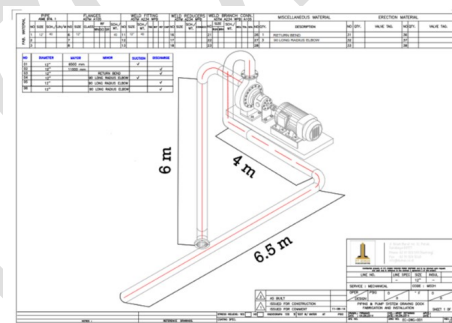
yang disebabkan gelembung uap yang pecah yang terus-menerus karena tekanan sekelilingnya akibat pecahan gelembung uap tersebut yang mengenai *casing* pompa yang akan berdampak terjadinya getaran dengan intensitas tinggi.

## 3. PEMBAHASAN

Penelitian dimulai dengan menghitung terlebih dahulu nilai laju aliran, nilai Reynolds, koefisien kerugian gesek, dan *major losses* serta *minor losses* untuk mendapatkan nilai *head losses* yang akan digunakan dalam perhitungan NPSHA. Seluruh data yang digunakan sebagai acuan perhitungan dapat dilihat melalui spesifikasi teknis pompa dan desain perpipaan lama.

### 3.1 Spesifikasi Teknis Desain Lama

Pompa sentrifugal yang digunakan perusahaan adalah pompa sentrifugal KSB tipe FGD 300 dengan desain gambar spesifikasi sistem seperti Gambar 2 di bawah ini.



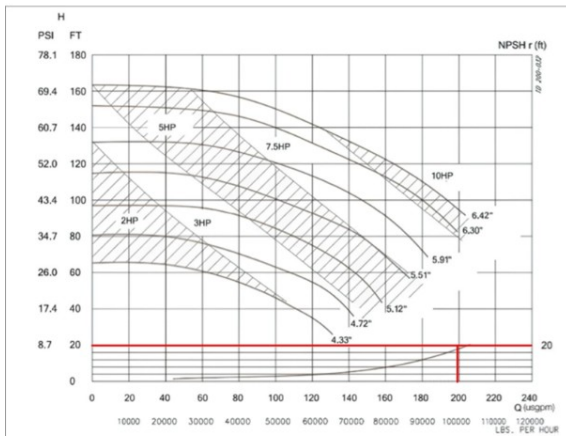
Gambar 2. Desain Lama Sistem Pompa Graving Dock

Mengacu pada spesifikasi teknis pompa, maka didapatkan perhitungan laju aliran, nilai Reynolds, koefisien kerugian gesek, dan *major losses* serta *minor losses* adalah seperti yang tercantum pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa dan Perhitungan Desain Lama

Spesifikasi	
Merk	KSB
Tipe	Merk
Rotasi	2945 rpm
Motor Output	60 KW
Engine Output	78 HP
Total Head	45 Meter
Debit Pompa	450 m <sup>3</sup> /h
Laju Aliran	1.77 m/s
Nilai Reynolds	6,923 x 10 <sup>5</sup>
Friction Losses	0,005
Head Losses	2.7 m

Nilai NPSHR dapat diketahui dengan membaca tabel yang terdapat pada *manual book* pompa KSB tipe FGD 300. Dari pembacaan kurva, diketahui nilai NPSHR adalah 6 meter. Gambar pembacaan kurva dapat dilihat di Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Kurva NPSHR Pompa KSB FGD

### 3.2 Perhitungan NPSHA

Besaran nilai NPSH yang tersedia (NPSHA) dihitung dengan melihat terlebih dahulu besaran nilai tekanan uap air sesuai temperatur pada tangki dan tekanan pada permukaan air tangki *suction*. Dikarenakan tangki tidak vakum sehingga tekanan permukaan air sama dengan tekanan atmosfer.

$$P_a = 101325 \text{ N/m}^2$$

$$P_{vp} = 4813.91 \text{ N/m}^2$$

$$NPSHA = \frac{P_a}{\rho g} - h - H_{Lsuc} - \frac{P_{vp}}{\rho g}$$

$$NPSHA = \frac{101325}{1025 \times 9.81} - 5 - 2.267 - \frac{4813.91}{1025 \times 9.81}$$

$$NPSHA = 5.3 \text{ m}$$

Jadi, Nilai NPSH yang tersedia adalah sebesar 5.3 meter. Mengacu pada nilai NPSHR dari *manual book* pompa yaitu sebesar 6 meter. Maka, nilai  $NPSHA < NPSHR$  sehingga pompa mengalami kavitasi dan perlu untuk melakukan modifikasi sistem perpipaan pompa sentrifugal untuk menghindarkan pompa dari kavitasi.

### 3.3 Modifikasi Sistem Perpipaan

Terdapat beberapa cara untuk mengatasi kavitasi yang terjadi pada pompa sentrifugal KSB tipe FGD dengan cara menaikkan nilai NPSHA sehingga lebih besar daripada NPSHR, yaitu :

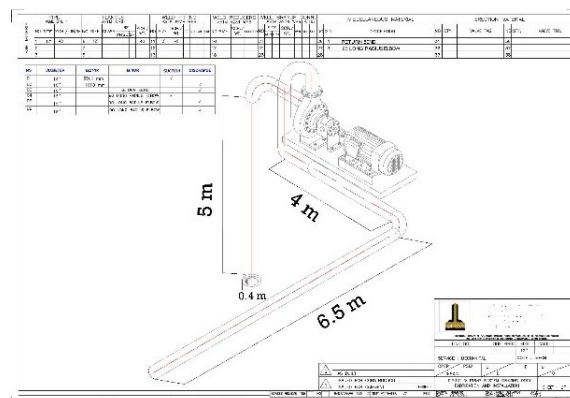
- Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head isap statis menjadi rendah juga.
- Pipa isap harus dibuat sependek mungkin. Jika terpaksa dipakai pipa isap yang panjang, sebaiknya diambil pipa yang berdiameter satu nomor lebih besar untuk mengurangi kerugian gesek.

- Sama sekali tidak dibenarkan untuk memperkecil laju aliran dengan menghambat aliran di sisi isap.
- Jika pompa mempunyai head total yang berlebihan, maka pompa akan bekerja dengan kapasitas aliran yang berlebihan pula, sehingga kemungkinan akan terjadi kavitasi menjadi lebih besar. Karena itu head total pompa harus ditentukan sedemikian rupa hingga sesuai yang diperlukan pada kondisi operasi yang sesungguhnya.

Kondisi *static suction lift* pada desain lama menjadi penyebab utama terjadinya kavitasi pada pompa sentrifugal *graving dock* dikarenakan menyebabkan tekanan di dalam pipa lebih rendah daripada tekanan uap jenuhnya.

Tetapi, dikarenakan tangki hisapnya berupa *graving dock*. Maka, perubahan letak ketinggian pompa sangat minim sesuai pipa *suction* yang diperpendek. Sehingga, modifikasi sistem perpipaan dilakukan dengan mengurangi panjang sisi isap pipa yang semula 6 meter menjadi 5 meter dengan letak pompa yang juga ikut diturunkan agar pipa *suction* dapat menjangkau hingga permukaan air paling bawah *graving dock* dan diameter pipa yang diperbesar menjadi 0.4 meter. Hal ini dilakukan agar mengurangi koefisien kerugian gesek dan menghindari tekanan yang terlalu rendah.

Desain baru pada sistem perpipaan pompa sentrifugal dibutuhkan pada pompa *graving dock* agar dapat terhindar dari kavitasi. Seperti yang dijelaskan pada subbab 3.2, salah satu cara untuk menghindari kavitasi adalah pipa *suction* dibuat sependek mungkin sehingga dilakukan pengurangan panjang pipa *suction* di *graving dock* yaitu menjadi 5 m dan penambahan diameter pipa menjadi 0.4 m.



Gambar 3. Desain Baru Sistem Pompa *Graving Dock*

Mengacu pada desain yang telah dimodifikasi, maka dilakukan perhitungan ulang untuk mengetahui laju aliran, nilai Reynolds, koefisien

kerugian gesek, dan *major losses* serta *minor losses* yang baru sesuai sistem yang telah dimodifikasi. Perhitungan dilakukan agar bisa mengetahui nilai besaran NPSHA dan mengidentifikasi apakah modifikasi sistem perpipaan yang baru telah mencegah pompa sentrifugal dari kavitas atau tidak. Hasil perhitungan dapat dilihat di Tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Desain Baru

Variabel	Nilai
Debit Pompa	450 m <sup>3</sup> /h
Laju Aliran	0.995 m/s
Nilai Reynolds	5.19 x 10 <sup>5</sup>
Friction Losses	0.00375
Head Losses	2.3 m

### 3.4 Perhitungan Ulang NPSHA

Setelah dilakukan perhitungan ulang pada sistem perpipaan yang telah dimodifikasi. Maka, dilakukan perhitungan ulang NPSHA yang diharapkan bisa melebihi nilai NPSHR yang sudah didapatkan dari *manual book* pompa sehingga pompa terhindar dari kavitas.

$$P_a = 101325 \text{ N/m}^2$$

$$P_{vp} = 4813.91 \text{ N/m}^2$$

$$NPSHA = \frac{P_a}{\rho g} - h - H_{L_{suc}} - \frac{P_{vp}}{\rho g}$$

$$NPSHA = \frac{101325}{1025 \times 9.81} - 4 - 2.3 - \frac{4813.91}{1025 \times 9.81}$$

$$NPSHA = 6.7 \text{ m}$$

Jadi, nilai NPSH yang tersedia adalah sebesar 6.7 meter. Mengacu pada nilai NPSHR dari *manual book* pompa yaitu sebesar 6 meter. Maka, nilai  $NPSHA < NPSHR$  sehingga pompa mengalami kavitas dan perlu untuk melakukan modifikasi sistem perpipaan pompa sentrifugal untuk menghindari pompa dari kavitas.

Perhitungan ulang NPSH baru diperlukan untuk melihat apakah desain baru sistem perpipaan pompa *graving dock* sudah terhindar dari kavitas atau belum dengan membandingkan nilai NPSHA yang harus lebih besar daripada NPSHR. Berikut ini merupakan perbandingan nilai NPSHA yang dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

**Tabel 3.** Perbandingan NPSHA Desain Lama & Baru

Desain Sistem Perpipaan	Nilai NPSHA (m)	Nilai NPSHR (m)	Keadaan Kavitas
Desain Lama	5.3	6	Ya
Desain Baru	6.7	6	Tidak

Kavitas terjadi pada desain lama dikarenakan desain pompa dimana letak pompa lebih tinggi daripada ketinggian tangki. Kondisi tersebut dinamakan *static suction lift*. Kondisi *static suction*

*lift* adalah kondisi rawan terjadinya kavitas. Itu disebabkan karena kondisi fluida yang naik keatas menyebabkan tekanan dalam pipa lebih rendah dari tekanan atmosfer. Rendahnya tekanan di sisi *suction* dan kecepatan aliran yang tinggi menyebabkan tekanan rendah di impeller.

Tekanan atmosfer berbanding terbalik dengan laju penguapan, semakin rendah tekanan maka semakin meningkat laju penguapan fluida. Turunnya tekanan cairan daripada tekanan uap jenuhnya menyebabkan cairan dalam fluida menguap dan membentuk gelembung-gelembung yang kolaps dan meledak sehingga menyebabkan suara bising dan kerusakan dalam impeller.

Kondisi tangki yang berupa dok kolam tidak memungkinkan untuk memindahkan posisi pompa sehingga berada di bawah tangki (*static suction head*). Pada desain baru, panjang pipa *suction* diperpendek dan letak pompa diturunkan agar bisa menjangkau permukaan air laut yang dikuras sesuai panjang pipa isap yang diperpendek dan diameter diperbesar untuk meningkatkan tekanan isap yang rendah agar lebih tinggi daripada tekanan minimum *suction* (NPSHR). Pengurangan panjang pipa *suction* dan penambahan diameter pipa dimaksudkan untuk meningkatkan koefisien kerugian gesek agar nilai tekanan isap bertambah melebihi tekanan minimum *suction*. Penambahan diameter pipa juga menyebabkan pengurangan laju aliran pipa sehingga pipa tidak mengalami kapasitas aliran yang terlalu tinggi, dimana seperti yang diketahui, laju aliran yang terlalu tinggi menyebabkan tekanan isap menjadi rendah.

Kedua modifikasi tersebut di desain sistem perpipaan *graving dock* yang baru menyebabkan nilai tekanan isap yang tersedia (NPSHA) lebih tinggi daripada nilai tekanan minimum di sisi isap (NPSHR) seperti yang ditampilkan di perhitungan ulang di atas. Dimana nilai NPSHA sebesar 6.7 m sedangkan nilai NPSHR sesuai kurva performa pompa KSB sebesar 6 m. Dari perhitungan di atas didapatkan  $NPSHA > NPSHR$  sehingga pompa terhindar dari kavitas.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan pada sistem perpipaan lama didapatkan hasil bahwa pompa sentrifugal mengalami kavitas karena nilai NPSHA yaitu 5.3 meter lebih kecil daripada nilai NPSHR yaitu 6 meter. Sehingga dilakukan modifikasi desain sistem perpipaan pada pompa sentrifugal di *graving dock* untuk mengatasi kavitas yaitu dengan memperpendek panjang pipa *suction* pipa yang semula 6 meter menjadi 5 meter dengan ketinggian

letak pompa yang diturunkan 1 meter agar pipa suction mampu mencapai dasar permukaan air *graving dock* serta diameter pipa yang semula 0.3 meter diperbesar menjadi 0.4 meter. Pada desain sistem perpipaan baru, nilai NPSHA sebesar 6.7 meter sehingga  $NPSHA > NPSHR$  dan pompa terhindar dari kavitasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Linn, S. (2022). Operating Principle of Centrifugal Pump and its Applications. *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 11(6).
- [2] Hendrawan, A. (2022). Penyebab Kavitasi pada Pompa Sentrifugal pada Kapal. Meteor STIP Marunda, 193. <http://ejournal.stipjakarta.ac.id>
- [3] Prawira, M.R., Setiawan, T.A., Hamzah, F. (2022). Analisis Pengembangan Desain Produk Mini Concrete Pump Dengan Metode Sustainability. *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and Its Application*, Vol 6, No.1, 2022.
- [4] Sularso, & Tahara, H. (2000). *Pompa & Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*.
- [5] Moballa, B., Poernomo, H., & Ariwiyono. (2018). *Modul Ajaran Mesin Fluida (Teori)*.
- [6] White, F. M. (1986). *Fluid Mechanics, Second Edition*. Erlangga.