

## PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN PERFORMA POMPA DAN PERHITUNGAN TEORITIS PADA KARAKTERISTIK POMPA TERHADAP KECEPATAN PUTAR IMPELLER

\*Zahra Dwi Septiani<sup>1</sup>, Khoiri Rozi<sup>2</sup>, Berkah Fajar Tamtomo Kiono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [zahradwiseptiani@gmail.com](mailto:zahradwiseptiani@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan memahami performa pompa sentrifugal. Beberapa aspek parameter penting seperti debit, head, dan BHP diuji dengan metode eksperimen. Model pompa sentrifugal yang digunakan dalam pengujian ini adalah pompa sentrifugal Merk EBARA tipe JESX/I 6 IE3. Pengujian pompa ini dilakukan di Lab. Thermofluida Universitas Diponegoro. Hasil-hasil pengujian untuk pompa ini menunjukkan bahwa perbandingan hasil pengujian dan perhitungan teoritis terhadap kurva performa pompa sentrifugal terhadap fungsi kecepatan putar impeller memperlihatkan karakteristik *head* yang sama. Pada karakteristik debit dan BHP menunjukkan hasil perbandingan yang sama sampai kecepatan putar 33,33 rps. Sementara pada kecepatan di atas 33,33 rps memperlihatkan perbedaan kurva yang cukup signifikan.

**Kata kunci** : bhp; debit; *head*; performa pompa; pompa sentrifugal

### Abstract

*This research was conducted to determine and understand the performance of centrifugal pumps. Several important parameter aspects such as flow, head, and BHP were tested using experimental methods. The centrifugal pump model used in this test is the EBARA Brand centrifugal pump type JESX/I 6 IE3. This pump testing was carried out in the Lab. Diponegoro University Thermofluids. The test results for this pump show that a comparison of the test results and theoretical calculations of the centrifugal pump performance curve as a function of the impeller rotational speed shows the same head characteristics. The discharge and BHP characteristics show the same comparison results up to a rotational speed of 33.33 rps. Meanwhile, at speeds above 33.33 rps, the curve shows quite significant differences.*

**Keywords** : bhp; centrifugal pump; discharge; head; pump performance

### 1. Pendahuluan

Penggunaan pompa sentrifugal telah banyak ditemukan dalam berbagai sektor mulai dari industri pengolahan air hingga industri kimia, minyak dan gas, serta pemrosesan makanan. Pada industri kimia pompa digunakan untuk mengalirkan fluida korosif seperti asam dan alkalis, fluida yang mudah terbakar seperti minyak dan bensin, dan juga digunakan untuk fluida dengan kekentalan tinggi seperti lumpur. Pada sistem irigasi pompa digunakan untuk mengalirkan air dari sungai-sungai ke lahan-lahan pertanian. Di sektor pembangkit listrik, pompa sentrifugal digunakan untuk mensirkulasikan air di sistem pendingin, mengalirkan bahan bakar dan minyak pelumas, dan memompa air dari kondenser ke boiler. Sementara itu pada sektor pertambangan, pompa sentrifugal digunakan untuk mengoperasikan peralatan-peralatan hidrolik.

Salah satu permasalahan utama yang mempengaruhi performa pompa adalah terbentuknya losses (rugi-rugi) pada pompa. Losses pada pompa sentrifugal dapat disebabkan oleh gesekan antar fluida karena viskositas fluida ataupun oleh perubahan arah aliran fluida. Losses tersebut termasuk dalam internal loss atau major loss. Selain itu, losses yang disebabkan oleh komponen mekanik atau pemasangan fitting instalasi pipa pada sistem pemompaan seperti elbow, valve, bearing, dan lainnya disebut juga sebagai external loss atau minor loss. Losses pada pompa menyebabkan turunnya kinerja yang kemudian akan berpengaruh terhadap efisiensi pompa. Oleh karena itu, pompa harus memiliki energi yang cukup untuk merestitusi kehilangan tekanan yang disebabkan oleh aliran fluida dan komponen mekanik dari sistem pemompaan (1).

Berbagai usaha telah dibuat untuk menaikkan performa pompa sentrifugal seperti pada head, efisiensi, NPSHr, ataupun performa vibrasi untuk pompa bertekanan tinggi (2). Juckelandt (3) telah menginvestigasi performa dari pompa untuk membandingkan kondisi kekasaran dinding, dimana pompa dengan kekasaran permukaan lebih tinggi akan menurunkan efisiensi dari pompa. Sementara itu, Kim Joon-Hyung, dkk (4) berhasil meningkatkan efisiensi pompa menjadi 97,1% dengan mendesain impeller dan dilakukan analisis secara numerik menggunakan CFD.

Sampai saat ini telah banyak dilakukan kajian baik secara eksperimental maupun dengan pendekatan numerik. Namun demikian masih banyak aspek parameter yang berpotensi meningkatkan efisiensi pompa. Sehingga perlu dibuat kajian lanjut guna mendapatkan informasi lebih detail mengenai perbaikan performa pompa. Maka dari itu dibuat studi ini untuk menguji performa dari instalasi pompa dan karakteristiknya di Laboratorium Thermofluida, Universitas Diponegoro. Efek-efek pengaruh variasi debit aliran dan kecepatan putar motor listrik terhadap besar head, daya, dan efisiensi pompa diukur secara langsung dengan menggunakan model pompa sentrifugal

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Pompa Sentrifugal

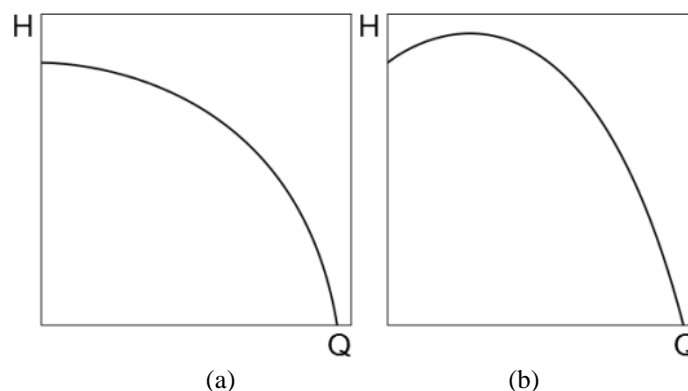
Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa tipe *rotodynamic pump* yang prinsip kerjanya menggunakan gaya sentrifugal untuk menghasilkan fluida bertekanan (5). Pentingnya peran pompa dalam berbagai proses industri, menjadikan pengujian pompa sentrifugal menjadi aspek yang sangat krusial dalam menjaga kinerja yang optimal dan keamanan operasi. Bagian utama dari pompa sentrifugal terdiri dari tiga komponen yaitu impeller, casing, dan shaft atau poros penggerak. Poros yang menggerakkan impeller menyebabkan gaya hisapan sehingga fluida memasuki mata impeller secara aksial. Sudu-sudu pada impeller akan mengarahkan dan memberikan momentum pada fluida sehingga kecepatan fluida meningkat. Selubung berbentuk spiral dengan penampang yang secara bertahap meningkat atau disebut juga *volute* akan mengubah energi kinetik dari fluida menjadi tekanan (6).

Selain itu terdapat komponen penting lain pada sistem pemompaan yaitu *valve*. Valve digunakan untuk mengatur aliran dan tekanan, menjaga pipa dan pompa dari kelebihan tekanan, mencegah kondisi transien pada aliran, mencegah aliran balik pada sistem pemompaan, mengeluarkan udara dan fungsi lainnya (7).

### 2.2 Karakteristik Pada Performa Pompa Sentrifugal

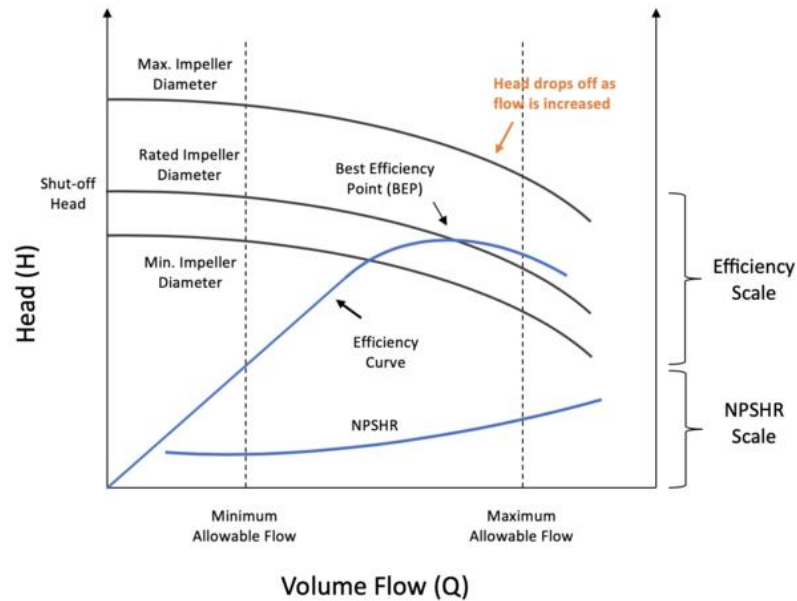
Karakteristik pada pompa mengacu pada performa pompa saat beroperasi berdasarkan tiga karakteristik penting yaitu tekanan atau head, kerugian gesekan, dan aliran sepanjang sistem pemompaan. Karakteristik pompa dapat direpresentasikan dengan suatu kurva yang diperoleh berdasarkan sifat pompa saat beroperasi pada kondisi operasi yang berbeda. Kurva tersebut dinamakan kurva karakteristik performa pompa.

Kurva head-debit (*head-capacity curve*) menunjukkan total head dinamik pompa yang bervariasi terhadap laju aliran pompa. Kurva ini merepresentasikan kemampuan pompa untuk mendorong fluida pada laju aliran yang berbeda. Pada kondisi operasi yang stabil, kurva ini berbentuk negatif dimana nilai head akan terus berkurang seiring naiknya nilai debit aliran (8). Sebaliknya pada kondisi tidak stabil, kurva akan mengalami kenaikan sebelum akhirnya kembali turun. Perbedaan dua kondisi operasi ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kurva karakteristik stabil (a) dan tidak stabil (b)

Kurva efisiensi menunjukkan perubahan efisiensi pompa terhadap laju aliran yang berbeda. Kurva ini berguna untuk mengidentifikasi titik efisiensi terbaik pompa atau biasa disebut *best efficiency point* (BEP) pada laju aliran tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Selain itu, dengan menarik garis lurus dari puncak kurva efisiensi, juga dapat diketahui head yang akan dihasilkan ketika pompa beroperasi pada efisiensi maksimum. Kurva daya menunjukkan daya yang dibutuhkan pompa untuk beroperasi pada laju aliran tertentu. Kurva ini berguna untuk menentukan ukuran motor yang tepat untuk menggerakkan pompa dan mengestimasi pengeluaran energi yang dibutuhkan.



Gambar 2 Kurva karakteristik pompa

Hal lain yang perlu diperhatikan saat pengoperasian pompa yaitu terjadinya kavitasi. Kavitasi merupakan suatu fenomena yang sering dijumpai pada pengoperasian pompa. Kavitasi terjadi ketika terbentuk gelembung-gelembung uap udara di sekitar impeller. Terbentuknya gelembung uap tersebut dikarenakan tekanan sekitar (ambient pressure) setara atau kurang dari tekanan uap dari fluida yang mengalir. Pada pompa sentrifugal, daerah dengan tekanan yang rendah umumnya berada di sekitar inlet impeller, dimana fluida mengalami percepatan karena pergerakan sudu impeller. Selain dapat merusak permukaan impeller, kavitasi dapat menyebabkan getaran mesin dan suara bising (noise) saat pompa bekerja dan juga dapat menurunkan efisiensi pompa karena area efektif saat fluida mengalir berkurang akibat permukaan yang rusak (9). Kavitasi dapat diminimalisir dengan mengoperasikan pompa pada NPSH yang lebih besar dari NPSH yang direkomendasikan (NPSHa).

Selain kavitasi hal lain yang memungkinkan terjadi pada kinerja pompa yaitu osilasi. Osilasi yang terjadi pada impeller akan mengakibatkan vibrasi mekanik pada komponen pompa, peningkatan keausan pada komponen pompa, dan dalam kasus yang parah, kegagalan pompa total (10). Selain itu, pressure drop yang terjadi pada inlet pompa juga akan memicu terjadinya kavitasi pada sisi inlet pompa.

### 2.3 Hukum Afinitas

Hukum afinitas merupakan hukum yang melibatkan beberapa variabel yang berkaitan dengan performa pompa. Hukum yang diturunkan dari teorema Pi Buckingham ini digunakan untuk memprediksikan performa pompa terhadap efek perubahan kecepatan putar atau ukuran impeller pompa. Parameter yang dapat diaproksimasikan untuk variasi tersebut ialah laju aliran, head, dan konsumsi daya pompa. Perlu diadikann catatan bahwa hukum ini hanya berlaku jika kondisi pompa beroperasi pada efisiensi yang konstan.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad (3)$$

## 2. Metode Penelitian

Pompa sentrifugal yang digunakan merupakan pompa produksi EBARA dengan tipe JESX/I 6 IE3 seperti terlihat pada Gambar 3. Pompa ini mempunyai spesifikasi delivery head (max) adalah 36 m, debit aliran max adalah 45 L/min, dan putaran sebesar 2.820 min<sup>-1</sup>. Pompa ini digerakan oleh asynchronous motor yang memiliki daya 0,44 kW. Untuk pengukuran tekanan, terdapat dua manometer yang dipasang pada pipa sisi intake dan delivery dengan perbedaan

ketinggian antara dua manometer yaitu 0,18 meter. Selain itu terdapat satu katup pada sisi delivery untuk mengatur aliran fluida yang keluar.



**Gambar 3** Unit Pompa Sentrifugal HM150.04

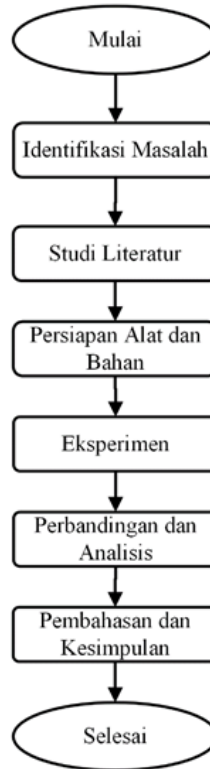
Pompa ini diuji dengan menggunakan modul HM 150 seperti terlihat pada Gambar 4. Pada unit ini terdapat dua jenis tangki yaitu tangki penyimpanan dan tangki volumetrik. Tangki penyimpanan mempunyai kapasitas 180 L sedangkan tangki volumetrik mempunyai kapasitas maksimum 40 L. Selain itu terdapat pompa submersible di dalam tangki penyimpanan yang digunakan sebagai pancingan agar fluida mengalir dari tangki penyimpanan menuju pompa sentrifugal di atasnya. Pada pipa delivery pompa submersible terdapat control valve untuk mengatur jumlah fluida yang dialirkan ke pompa sentrifugal. Base module ini juga digunakan untuk mengukur laju aliran volumetrik yang dialirkan pompa menuju tangki volumetrik menggunakan remote sight gauge seperti terlihat pada Gambar 4 berikut ini.



**Gambar 4** Base module HM 150

Pengukuran yang dilakukan pada penelitian kali ini yaitu menggunakan alat manometer yang diletakkan di sisi *inlet* dan *outlet* pompa yang digunakan untuk mengukur tekanan dari aliran. Sementara itu untuk pengukuran laju aliran volumetrik dilakukan dengan melihat perubahan kenaikan fluida pada *sight gauge*, dimana lama waktu kenaikan fluida diukur menggunakan *stopwatch*.

Dalam melakukan penelitian, terdapat alur penelitian yang menjelaskan tahapan-tahapan dalam melaksanakan penelitian. Gambar 5 adalah flowchart tentang tahapan-tahapan pada tugas akhir kali ini. Flowchart ini digunakan agar penelitian dilakukan secara runtut dan sistematis berdasarkan tahapan-tahapan yang telah disusun



Gambar 5 Diagram alir penelitian

## 2.1 Proses pengambilan data

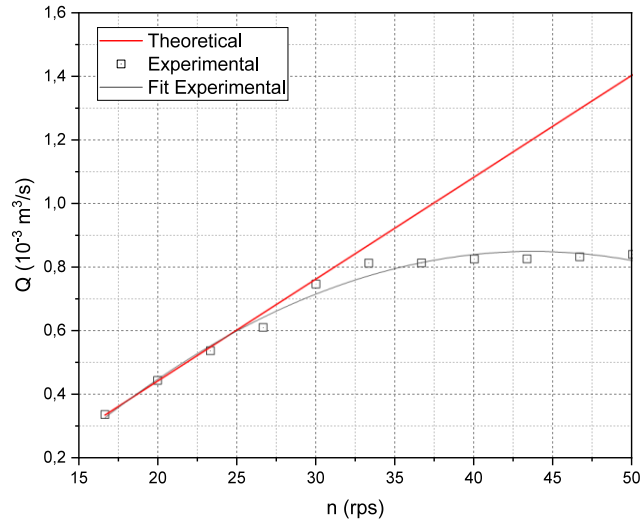
Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data secara manual yang dilakukan pada laboratorium thermofluida. Pengambilan data untuk masing-masing pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Letakkan unit HM 150.04 di atas modul dasar HM 150.
2. Buka *valve* pengatur aliran dengan memutar *valve* hingga posisi vertikal.
3. Buka *valve* sisi *delivery* untuk mengalirkan air yang telah dipompa ke tangki volumetrik, dengan memutar *valve* sampai posisi horizontal.
4. Buka *valve* pembuangan dengan menarik *valve*. Langkah ini dilakukan untuk memastikan aliran dari pengujian pompa sentrifugal dikembalikan ke tangki penyimpanan.
5. Hubungkan sambungan listrik dari pompa modul dasar dan pompa sentrifugal ke sumber listrik
6. Nyalakan saklar utama dari modul dasar HM 150 dan saklar pompa tangki penyimpanan.
7. Nyalakan saklar utama dari perangkat HM 150.04 sehingga *display* menyala.
8. Nyalakan saklar pompa sentrifugal
9. Naikkan *potentiometer* agar motor dapat berputar dan menggerakkan *impeller* pompa. Atur *potentiometer* sampai *display* menunjukkan nilai kecepatan putar yang ditentukan.
10. Setelah aliran air keluar pada pipa *delivery*, matikan saklar untuk pompa tangki.
11. Putar *valve* sisi *delivery* sampai jarum pada manometer menunjukkan angka yang ditentukan.
12. Catat nilai tekanan masuk ( $P_{is}$ ) yang terukur pada manometer sisi *intake* dan nilai daya listrik ( $P_{el}$ ) yang ditampilkan pada *display* daya listrik.
13. Tutup *valve* pembuangan dan ukur debit aliran yang dialirkan pompa,
14. Catat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi tanki sebanyak 10 L (dapat dilihat pada *sight gauge*) menggunakan *stopwatch*.
15. Jika waktu sudah dicatat, buka kembali *valve* pembuangan.
16. Atur kembali *valve* sisi *delivery* pada variasi  $P_{ds}$  selanjutnya.
17. Lakukan langkah 4 sampai 8.

## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Karakteristik debit terhadap fungsi kecepatan *impeller*

Hasil pengujian debit sebagai fungsi putaran ditunjukkan pada Gambar 6. Plot ini memperlihatkan perbandingan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis menggunakan hukum afinitas pada persamaan 1. Dari plot ini menunjukkan bahwa nilai laju aliran volumetrik meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar poros pompa. Laju aliran minimum didapatkan pada kecepatan putar terkecil yaitu 16,67 rps dengan nilai  $0,399 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ . Nilai debit tersebut akan terus meningkat dengan kecenderungan linear terhadap kecepatan putar hingga kecepatan putar mencapai 33,33 rps. Pada nilai kecepatan putar diatas 33,33 rps, debit cenderung konstan pada nilai  $\pm 0,823 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

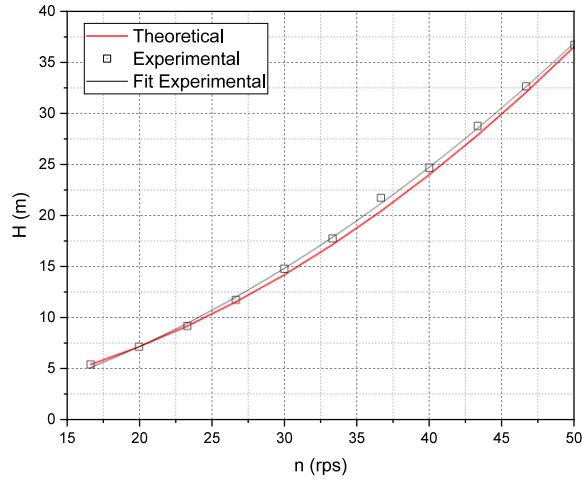


Gambar 6 Debit pompa sebagai fungsi putaran *impeller*

Pada Gambar 6 juga ditunjukkan kurva yang dihasilkan dari perhitungan teoritis. Berdasarkan hukum afinitas, perubahan nilai debit terhadap kecepatan putar didapatkan dari rumus  $Q_1 N_2 = Q_2 N_1$ . Menurut rumus tersebut jika nilai kecepatan putar meningkat dimana  $N_2 > N_1$ , maka nilai debit pun akan meningkat dimana  $Q_2 > Q_1$ . Hal ini ditunjukkan oleh kurva yang berbentuk linear. Dari Gambar 4.1 dapat dilihat perbedaan data hasil pengujian dan perhitungan teoritis dimana pada kondisi awal, data hasil pengujian cukup berkesesuaian dengan perhitungan teoritis. Namun dari kecepatan putar 16,67 rps hingga seterusnya, nilai debit hasil pengujian cenderung konstan, berbeda dengan perhitungan teoritis yang terus meningkat

### 4.2 Karakteristik *head* terhadap fungsi kecepatan *impeller*

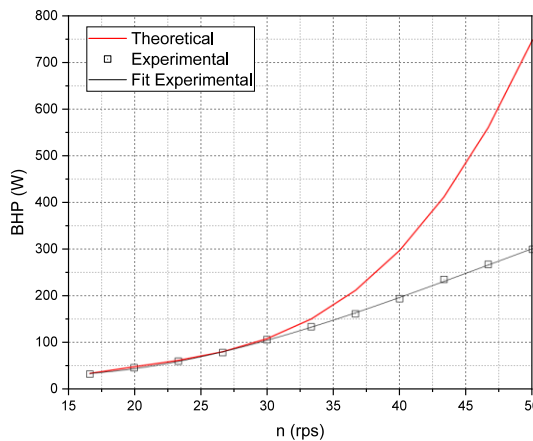
Gambar 7 merupakan hasil pengujian karakteristik *head* sebagai fungsi putaran *impeller* yang dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Pengujian *head* sebagai fungsi putaran dilakukan saat pompa berada pada kondisi shut-off atau debit yang keluar nol. Sementara itu perhitungan teoritis karakteristik *head* dilakukan menggunakan hukum afinitas dengan persamaan 2. Dari plot ini ditemukan bahwa perbandingan nilai *head* terhadap kecepatan putar pada hasil pengujian dan perhitungan teoritis cukup sesuai, yaitu kurva yang terbentuk selalu berhimpitan. Selain itu dari plot *head* terhadap putaran ini dapat dilihat juga bahwa hasil *fitting* dari data-data pengujian yang diperoleh memiliki bentuk kurva yang mirip dengan kurva hasil perhitungan teoritis. Berdasarkan hukum afinitas, perubahan nilai *head* dapat dihitung dengan rumus  $(H_1)^2 N_2 = (H_2)^2 N_1$ , dimana seiring meningkatnya kecepatan putar, nilai *head* akan meningkat secara kuadrat. Pernyataan teoritis tersebut sesuai dengan hasil pengujian pompa dimana *head* minimum berada pada kecepatan terendah 16,67 rps dengan nilai 5,45 m, sedangkan nilai *head* maksimum didapatkan pada kecepatan putar maksimum 50 rps dengan nilai 36,83 m.



Gambar 7 Head pompa sebagai fungsi putaran

#### 4.3 Karakteristik BHP terhadap fungsi kecepatan *impeller*

Perbandingan teoritis dan eksperimen pada karakteristik konsumsi daya pompa atau BHP dipresentasikan pada Gambar 8. Berdasarkan plot ini dapat dilihat bahwa pada kondisi awal, titik pencar berada di sekitar kurva teoritis sampai kecepatan pompa bernilai 33,33 rps. Pada kecepatan di atas nilai tersebut, titik pencar menyimpang jauh dari kurva. Berdasarkan hukum afinitas untuk BHP seperti ditunjukkan pada persamaan 3, BHP akan meningkat dengan kenaikan pangkat tiga dari kecepatan putar *impeller*. Walaupun hasil eksperimen juga menunjukkan peningkatan, namun nilai tersebut tidak sebesar hasil perhitungan teoritis, khususnya pada kecepatan *impeller* di atas 33,33 rps. Perbedaan yang cukup signifikan ini dapat dilihat pada kecepatan maksimal yang diuji yaitu 50 rps. Hasil pengujian pada kecepatan putar 50 rps, daya yang digunakan *impeller* yaitu sebesar 299 W. Sementara itu pada kecepatan yang sama, berdasarkan hasil perhitungan teoritis *impeller* akan menggunakan daya sebesar 746,8 W



Gambar 8 BHP pompa sebagai fungsi putaran

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan perbandingannya dengan hasil perhitungan secara teoritis menggunakan hukum afinitas, didapatkan hasil-hasil sebagai berikut. Pada karakteristik *head* sebagai fungsi putaran, hasil pengujian dan perhitungan teoritis memiliki kecenderungan yang sama dilihat dari hasil kurva yang saling berhimpitan. Sementara untuk debit hasil pengujian dan perhitungan teoritis memiliki nilai yang hampir sama pada putaran rendah (16,66 rps sampai 33,33 rps). Namun pada putaran di atas 33,33 rps, hasil pengujian dan perhitungan teoritis memiliki perbedaan yang signifikan. Hal yang sama juga terjadi pada karakteristik BHP dimana perbandingan hasil pengujian dan teoritis menunjukkan kesamaan pada kecepatan putar rendah (16,66 rps sampai 33,33 rps), setelah itu kurva hasil pengujian mempunyai nilai yang berbeda jauh dari hasil perhitungan teoritis pada nilai kecepatan putar di atas 33,33 rps.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Perissinotto RM, Monte Verde W, Biazussi JL, Bulgarelli NAV, Fonseca WDP, Castro MS de, et al. Flow visualization in centrifugal pumps: A review of methods and experimental studies. *J Pet Sci Eng* [Internet]. 2021;203(March):108582. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108582>
- [2] Yu J, Zhang T, Qian J. Efficiency testing methods for centrifugal pumps. *Electr Mot Prod*. 2011;125–72.
- [3] Juckelandt K, Bleeck S, Wurm FH. Analysis of losses in centrifugal pumps with low specific speed with smooth and rough walls. *11th Eur Conf Turbomach Fluid Dyn Thermodyn ETC 2015*. 2015;(2012):1–10.
- [4] Kim JH, Lee HC, Kim JH, Kim S, Yoon JY, Choi YS. Design techniques to improve the performance of a centrifugal pump using CFD. *J Mech Sci Technol*. 2015;29(1):215–25.
- [5] Kothandaraman CP, Rudramoorthy R. *Fluid Mechanics and Machinery*. 2007.
- [6] Young DF, Munson BR. *A Brief Introduction to Fluid Mechanics - Fifth Edition*. 2004. 1–14 p.
- [7] Tullis JP. *Hydraulics of Pipelines Pumps, Valves, Cavitation, Transients*. 1989.
- [8] Foslie SS. *Design of Centrifugal Pump for Produced Water*. Norwegian University of Science and Technology; 2013.
- [9] Li Y, Feng G, Li X, Si Q, Zhu Z. An experimental study on the cavitation vibration characteristics of a centrifugal pump at normal flow rate. *J Mech Sci Technol*. 2018;32(10):4711–20.
- [10] Li D, Zuo Z, Wang H, Liu S, Wei X, Qin D. Review of positive slopes on pump performance characteristics of pump-turbines. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2019;112(June):901–16. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.036>