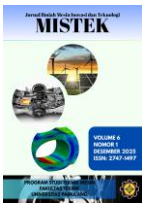
ISSN **2747-1497**, *Vol. 6, No. 1, hal. 23-29, Desember 2025*

JURNAL TEKNIK MESIN
MISTEK
MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS DIMENSI IMPELLER TERHADAP TEKANAN HISAP PADA POMPA SENTRIFUGAL GANDA YANG DIRANGKAI SECARA PARALEL

Feriyanto[1], Nailul 'Atifah[2]

[1,2]*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia*

E-mail: feriyanto606@gmail.com[1], dosen00410@unpam.ac.id[2]

Masuk : 03 November 2025 *Direvisi : 08 Desember 2025* *Disetujui : 15 Desember 2025*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan dimensi impeller terhadap tekanan, debit, head, dan efisiensi pada sistem pompa sentrifugal ganda yang dirangkai secara paralel. Pengujian dilakukan menggunakan dua variasi diameter impeller, yaitu 115,5 mm dan 95,5 mm. Variasi frekuensi inverter yang digunakan adalah 20 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz, sedangkan variasi bukaan katup dilakukan pada sudut 30°, 60°, dan 90°. Fluida kerja yang digunakan adalah air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada variasi bukaan katup, peningkatan debit menyebabkan penurunan head yang dihasilkan. Sementara itu, pada variasi frekuensi, peningkatan frekuensi mengakibatkan kenaikan debit, head, dan efisiensi pompa. Berdasarkan hasil perbandingan, impeller berdiameter 115,5 mm menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan impeller berdiameter 95,5 mm pada susunan pompa paralel.

Kata Kunci: pompa sentrifugal, impeller, rangkaian paralel, head, debit, efisiensi.

Abstract: *This study aims to analyze the effect of impeller dimension differences on pressure, discharge, head, and efficiency in a double centrifugal pump system arranged in parallel. The experiment was conducted using two impeller diameter variations, namely 115.5 mm and 95.5 mm. The inverter frequency was varied at 20 Hz, 35 Hz, and 50 Hz, while the valve opening was adjusted to 30°, 60°, and 90°. Water was used as the working fluid. The results show that under valve opening variation, an increase in discharge leads to a decrease in the resulting head. Meanwhile, under frequency variation, an increase in frequency results in higher discharge, head, and pump efficiency. Based on the comparative results, the 115.5 mm impeller demonstrated better performance than the 95.5 mm impeller in the parallel pump configuration.*

Keywords: centrifugal pump, impeller, parallel arrangement, head, discharge, efficiency.

PENDAHULUAN

Air memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia dan perkembangan peradaban. Sejak masa awal sejarah, pusat-pusat peradaban besar dunia tumbuh dan berkembang di wilayah yang memiliki akses terhadap sumber daya air. Dalam konteks modern, air tidak hanya dibutuhkan untuk keperluan domestik, tetapi juga untuk kegiatan industri, pertanian, energi, dan berbagai sistem distribusi fluida. Oleh karena itu, dibutuhkan peralatan yang mampu memindahkan fluida secara efektif dan efisien, salah satunya adalah pompa [1].

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat lain sesuai kebutuhan. Pompa ini bekerja dengan menciptakan perbedaan tekanan antara sisi masuk (*suction*) dan sisi keluar (*discharge*) [2]. Pada pompa sentrifugal, impeller berperan sebagai komponen utama yang mengubah energi mekanis dari penggerak menjadi energi kinetik dan energi tekanan fluida. Putaran impeller menyebabkan fluida memperoleh percepatan, kemudian energi kinetik tersebut dikonversi menjadi energi tekanan sehingga fluida dapat mengalir dari daerah bertekanan lebih rendah ke daerah bertekanan lebih tinggi [3].

Dalam pengoperasiannya, pompa sentrifugal tidak terlepas dari berbagai permasalahan teknis, seperti kerusakan bantalan, seal, poros, impeller, misalignment, getaran berlebih, dan cavitation. Kegagalan tersebut dapat dipicu oleh keausan komponen, kondisi operasi yang tidak sesuai, serta degradasi akibat penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik operasi dan performa pompa menjadi penting untuk mendukung keandalan sistem serta deteksi dini terhadap potensi gangguan [4].

Secara umum, pompa sentrifugal terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu *stuffing box*, *packing*, poros (*shaft*), *shaft sleeve*, sudu (*vane*), *casing*, *eye of impeller*, impeller, *casing wearing ring*, dan *discharge nozzle* [5]. Masing-masing komponen tersebut memiliki fungsi tertentu dalam menunjang proses pemompaan, baik dalam menjaga kestabilan putaran, mengarahkan aliran fluida, mengurangi kebocoran, maupun melindungi bagian-bagian pompa dari keausan.

Selain digunakan secara tunggal, pompa sentrifugal juga dapat dioperasikan dalam susunan seri maupun paralel, sesuai kebutuhan sistem. Pada susunan paralel, dua atau lebih pompa dioperasikan secara bersamaan untuk meningkatkan kapasitas aliran fluida, sedangkan head yang dihasilkan cenderung tidak meningkat secara signifikan. Konfigurasi ini umumnya digunakan pada sistem yang memerlukan debit besar dengan kebutuhan tekanan yang relatif rendah.

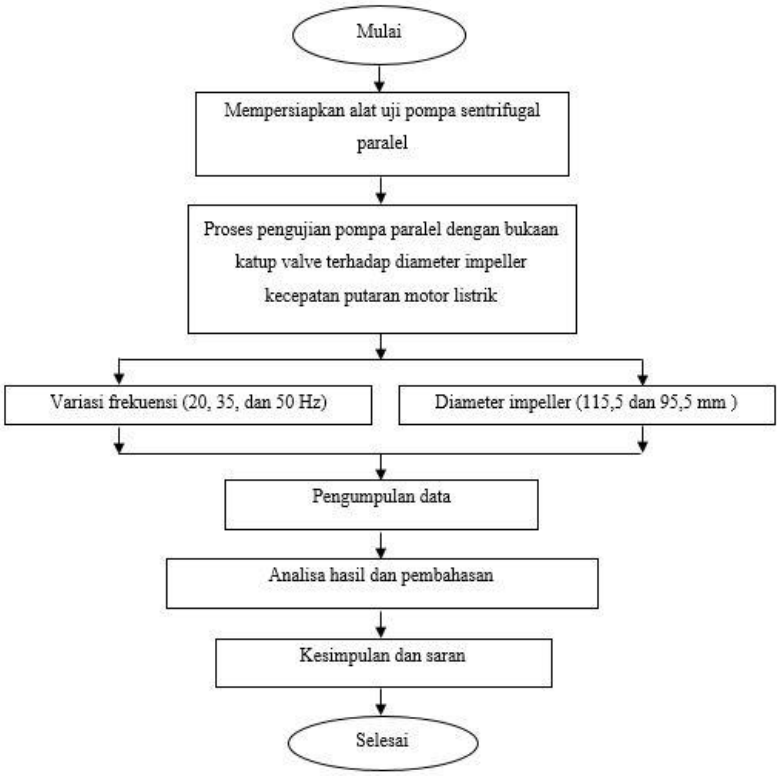
Dalam sistem pompa sentrifugal, impeller merupakan komponen yang sangat menentukan karakteristik aliran dan performa pompa. Perbedaan dimensi impeller dapat memengaruhi tekanan, debit, head, dan efisiensi pompa. Pada konfigurasi pompa paralel, pengaruh dimensi impeller menjadi semakin penting karena masing-masing pompa bekerja secara bersamaan dalam satu sistem aliran. Oleh sebab itu, analisis terhadap dimensi impeller pada pompa sentrifugal yang dirangkai secara paralel perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik kerja pompa, khususnya pada sisi tekanan hisap dan parameter performa lainnya.

Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh perbedaan diameter impeller terhadap kinerja sistem pompa sentrifugal ganda yang dirangkai secara paralel. Diameter impeller yang digunakan adalah 115,5 mm dan 95,5 mm, dengan variasi frekuensi inverter dan bukaan katup. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik operasi pompa paralel serta menjadi acuan dalam pemilihan dimensi impeller yang sesuai untuk memperoleh performa sistem yang lebih baik.

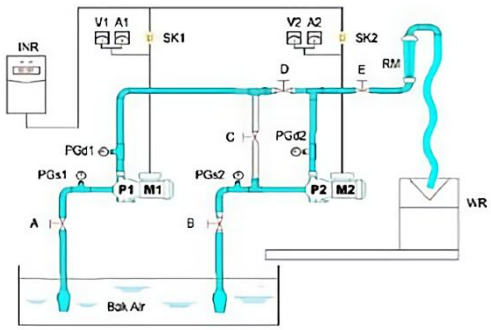
METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Pamulang. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan membandingkan dua variasi diameter impeller, yaitu 115,5 mm dan 95,5 mm, pada dua pompa sentrifugal yang dirangkai secara paralel. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi head, debit, dan efisiensi pompa.

Tahapan penelitian diawali dengan penyusunan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Selanjutnya, pengujian dilakukan menggunakan instalasi dua pompa sentrifugal yang dirangkai secara paralel, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Skema Pengujian

Pada skema pengujian, komponen utama yang digunakan meliputi inverter (INR), pompa sentrifugal 1 dan 2 (P1 dan P2), motor pompa 1 dan 2 (M1 dan M2), *pressure gauge suction* 1 dan 2 (PGs1 dan PGs2), *pressure gauge discharge* 1 dan 2 (PGd1 dan PGd2), *foot valve* 1 dan 2 (FV1 dan FV2), sakelar 1 dan 2 (SK1 dan SK2), voltmeter (V1 dan V2), amperemeter (A1 dan A2), rotameter (RM), weirmeter (WR), serta katup A, B, C, D, dan E.

Variabel penelitian terdiri atas variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah diameter impeller, yaitu 115,5 mm dan 95,5 mm, frekuensi inverter sebesar 20 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz, serta variasi bukaan katup 30°, 60°, dan 90°. Variabel terikat meliputi head, debit, dan efisiensi pompa. Sementara itu, variabel kontrol yang digunakan adalah fluida kerja berupa air dan konfigurasi dua pompa sentrifugal yang dirangkai secara paralel.

Prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut. Pada tahap awal, katup A, B, D, dan E dibuka penuh, sedangkan katup C ditutup. Selanjutnya, impeller dipasang sesuai variasi diameter yang akan diuji, yaitu 115,5 mm dan 95,5 mm, kemudian kedua motor pompa dijalankan. Pengujian dilakukan pada tiga variasi frekuensi inverter, yaitu 20 Hz, 35 Hz, dan 50 Hz, yang masing-masing setara dengan putaran 1070 rpm, 1900 rpm, dan 2700 rpm. Pada setiap variasi frekuensi, dilakukan pengaturan bukaan katup sebesar 30°, 60°, dan 90°.

Selama proses pengujian, dilakukan pengamatan dan pencatatan data dari setiap instrumen ukur. Data yang dicatat meliputi tekanan sisi isap (*suction pressure*) dan tekanan sisi keluar (*discharge pressure*) pada masing-masing pompa, tegangan listrik, arus listrik, putaran pompa, serta tinggi muka air pada weirmeter. Data tinggi muka air yang diperoleh digunakan untuk menentukan debit aliran, sedangkan data tekanan dan parameter listrik digunakan dalam perhitungan head dan efisiensi pompa.

Data hasil pengujian untuk impeller berdiameter 115,5 mm pada variasi frekuensi dan bukaan katup ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian pompa paralel dengan diameter impeller 115,5 mm

Frekuensi (Hz)	Putaran (rpm)	Bukaan Katup	Ps1 (psi)	Pd1 (psi)	Ps2 (psi)	Pd2 (psi)	Tegangan (V)	Arus P1 (A)	Arus P2 (A)	H weir (mm)
20	1070	90°	-1,9	0	-2,9	0	80	1	1	28
20	1070	60°	-1,9	0	-2,9	0	80	1	1	27
20	1070	30°	-1,9	0	-2,9	0	80	1	1	20
35	1900	90°	-5,8	3	-2,9	2	110	1	1	45
35	1900	60°	-3,9	4	-2,9	3	110	1	1	40
35	1900	30°	-2,9	6	-2,9	5	110	1	1	30
50	2700	90°	-5,8	11,5	-3,9	11	175	1,2	1,2	55
50	2700	60°	-5,8	12,5	-3,9	12	175	1,2	1,2	54
50	2700	30°	-3,9	15	-2,9	15	175	1,2	1,2	40

Setelah seluruh data terkumpul, dilakukan analisis untuk mengetahui hubungan antara variasi diameter impeller, frekuensi putaran, dan bukaan katup terhadap head, debit, dan efisiensi pompa pada sistem pompa sentrifugal paralel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian diperoleh dari pengujian dua pompa sentrifugal yang dirangkai secara paralel. Pengukuran dilakukan menggunakan *pressure gauge* pada sisi isap (*suction*) dan sisi keluar (*discharge*) masing-masing pompa. Debit aliran ditentukan berdasarkan tinggi muka air pada *weir meter* (*H weir*), kemudian digunakan dalam perhitungan debit, head total, daya hidraulik, daya input, dan efisiensi pompa. Hasil pengukuran untuk impeller berdiameter 115,5 mm dan 95,5 mm masing-masing ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data hasil pengukuran dua pompa paralel dengan impeller diameter 115,5 mm

Frekuensi (Hz)	Putaran (Rpm)	Katup	Pompa 1 Impeller Diameter 115,5 mm		Pompa 2 Impeller Diameter 115,5 mm		Tegangan (Volt)	Arus P1 (A)	Arus P2 (A)	H Wier (mm)
			Ps1 (PSI)	Pd1 (PSI)	Ps2 (PSI)	Pd2 (PSI)				
		90˚	-1,9	0	-2,9	0	80	1	1	28
20 Hz	1070	60˚	-1,9	0	-2,9	0	80	1	1	27
		30˚	-1,9	0	-2,9	0	80	1	1	20
		90˚	-5,8	3	-2,9	2	110	1	1	45
35 Hz	1900	60˚	-3,9	4	-2,9	3	110	1	1	40
		30˚	-2,9	6	-2,9	5	110	1	1	30
		90˚	-5,8	11,5	-3,9	11	175	1,2	1,2	55
50 Hz	2700	60˚	-5,8	12,5	-3,9	12	175	1,2	1,2	54
		30˚	-3,9	15	-2,9	15	175	1,2	1,2	40

Tabel 3. Data hasil pengukuran dua pompa paralel dengan impeller diameter 95,5 mm

Frekuensi (Hz)	Putaran (Rpm)	Katup	Pompa 1 Impeller Diameter 95,5 mm		Pompa 2 Impeller Diameter 95,5 mm		Tegangan (Volt)	Arus P1 (A)	Arus P2 (A)	H Wier (mm)
			Ps1 (PSI)	Pd1 (PSI)	Ps2 (PSI)	Pd2 (PSI)				
		90˚	-1,9	0	-1,9	0	80	1	1	0
20 Hz	1070	60˚	-1,9	0	-1,9	0	80	1	1	0
		30˚	-1,9	0	-1,9	0	80	1	1	0
		90˚	-2,9	1,5	-2,9	1,5	110	1	1	38
35 Hz	1900	60˚	-2,9	2	-2,9	2	110	1	1	35
		30˚	-2,9	4	-2,9	4	110	1	1	28
		90˚	-3,9	7,5	-3,9	7,5	175	1,2	1,2	50
50 Hz	2700	60˚	-3,9	8	-3,9	8	175	1,2	1,2	48
		30˚	-3,9	8,5	-3,9	8,5	175	1,2	1,2	35

Keterangan :
Ps : *Pressure suction*
Pd : *Pressure discharge*

Data hasil pengukuran selanjutnya diolah untuk memperoleh debit aliran fluida (*Q*), head total (*H*), daya hidraulik (*Nh*), daya input (*Ni*), dan efisiensi pompa. Hasil perhitungan untuk kedua variasi diameter impeller ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Data hasil perhitungan dua pompa paralel dengan impeller diameter 115,5 mm

Frekuensi (Hz)	Putaran (Rpm)	Katup	Pompa 1 Impeller Diameter 115,5 mm	Pompa 2 Impeller Diameter 115,5 mm	Htotal (m)	Nh (Watt)	Ni (Watt)	Efisiensi (%)	Qweir	
			H1	H2					m^3/s	m^3/min
		90˚	1,34	2,04	2,04	2,13	80	2,67	0,00013	0,0078
20 Hz	1070	60˚	1,34	2,04	2,04	1,95	80	2,43	0,00013	0,0078
		30˚	1,34	2,04	2,04	0,92	80	1,15	0,00005	0,0027
		90˚	4,85	3,44	4,85	16,61	110	15,1	0,00045	0,027
35 Hz	1900	60˚	5,55	4,15	5,55	14,17	110	12,88	0,00026	0,0156
		30˚	6,26	5,55	6,26	7,78	110	7,07	0,00013	0,0078
		90˚	12,16	10,47	12,16	68,78	210	32,75	0,00072	0,0432
50 Hz	2700	60˚	12,86	11,17	12,86	69,5	210	33,09	0,00045	0,027
		30˚	13,28	12,54	13,28	33,9	210	16,14	0,00026	0,0156

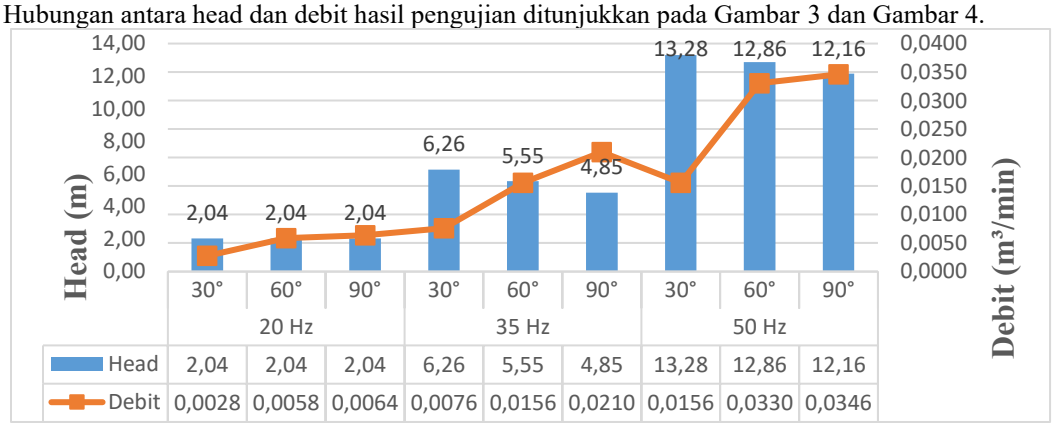
Tabel 5. Data hasil perhitungan dua pompa paralel dengan impeller diameter 95,5 mm

Frekuensi (Hz)	Putaran (Rpm)	Katup	Pompa 1 / Pompa 2 Impeller Diameter 95,5 mm H1	H2	Htotal (m)	Nh (Watt)	Ni (Watt)	Efisiensi (%)	Qweir m³/s	Qweir m³/min
		90˚	1,34	1,34	1,34	0	80	0	0	0
20 Hz	1070	60˚	1,34	1,34	1,34	0	80	0	0	0
		30˚	1,34	1,34	1,34	0	80	0	0	0
		90˚	3,09	3,09	3,09	6,94	110	15,10	0,00023	0,0138
35 Hz	1900	60˚	3,44	3,44	3,44	6,27	110	12,88	0,00019	0,0114
		30˚	4,85	4,85	4,85	5,07	110	7,07	0,0001	0,0060
		90˚	8,01	8,01	8,01	35,72	210	32,75	0,00045	0,0270
50 Hz	2700	60˚	8,36	8,36	8,36	33,66	210	33,09	0,00041	0,0246
		30˚	8,72	8,72	8,72	15,93	210	16,14	0,00019	0,0114

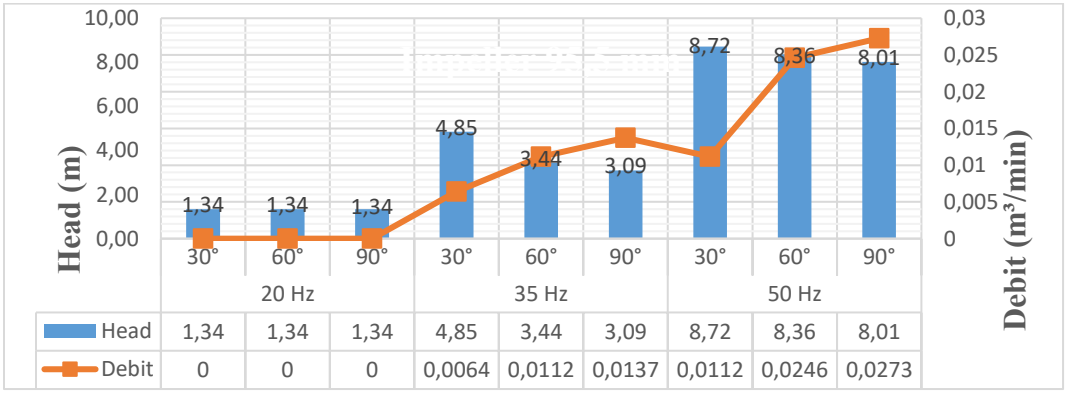
Berdasarkan Tabel 4, pompa dengan impeller berdiameter 115,5 mm menghasilkan head total tertinggi sebesar 13,28 m pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 30°. Pada kondisi yang sama, debit yang diperoleh sebesar 0,0156 m³/menit, daya hidraulik sebesar 33,90 W, dan efisiensi sebesar 16,14%. Sementara itu, efisiensi tertinggi pada impeller 115,5 mm terjadi pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 60°, yaitu sebesar 33,09%. Nilai debit tertinggi diperoleh pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 90°, yaitu sebesar 0,0432 m³/menit.

Pada Tabel 5, pompa dengan impeller berdiameter 95,5 mm menunjukkan head total tertinggi sebesar 8,72 m pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 30°. Debit tertinggi diperoleh pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 90°, yaitu sebesar 0,0270 m³/menit. Efisiensi tertinggi pada impeller 95,5 mm tercatat sebesar 17,01% pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 90°. Pada frekuensi 20 Hz, debit aliran untuk impeller 95,5 mm bernilai 0, yang menunjukkan bahwa aliran belum mampu melewati *weir meter* pada seluruh variasi bukaan katup.

Hubungan antara head dan debit hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik hubungan head dan debit pada impeller diameter 115,5 mm



Gambar 4. Grafik hubungan head dan debit pada impeller diameter 95,5 mm

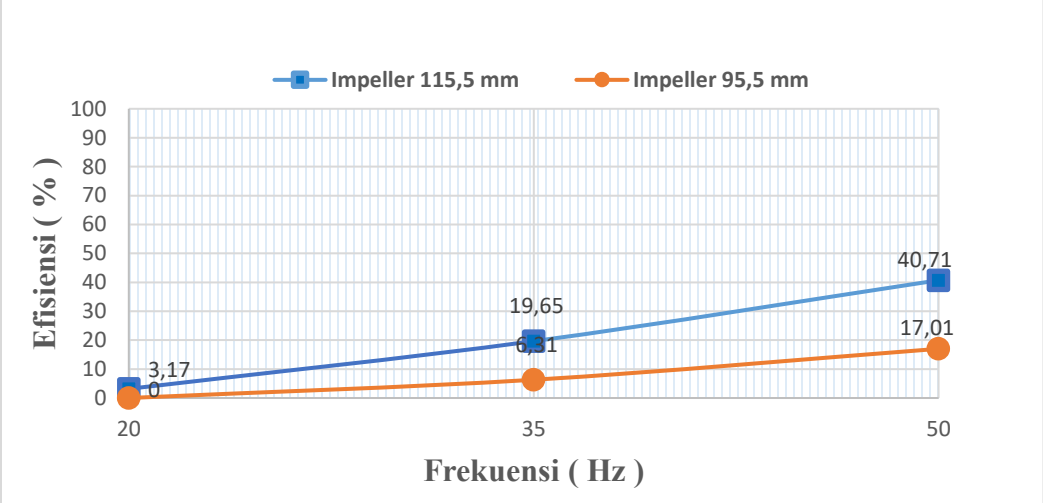
Berdasarkan Gambar 3, pada impeller berdiameter 115,5 mm, head cenderung meningkat ketika bukaan katup diperkecil. Pada frekuensi 50 Hz, head meningkat dari 12,16 m pada bukaan katup 90°, menjadi 12,86 m pada bukaan 60°, dan mencapai 13,28 m pada bukaan 30°. Pola serupa juga terlihat pada frekuensi 35 Hz, yaitu dari 4,85 m pada bukaan 90° menjadi 6,26 m pada bukaan 30°. Pada frekuensi 20 Hz, head relatif konstan pada nilai sekitar 2,04 m. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin kecil bukaan katup, tahanan aliran semakin besar sehingga head pompa meningkat.

Sebaliknya, debit menunjukkan kecenderungan menurun ketika bukaan katup diperkecil. Pada impeller 115,5 mm, debit tertinggi selalu terjadi pada bukaan katup 90° untuk setiap variasi frekuensi. Pada frekuensi 20 Hz debit tercatat sebesar 0,0078 m³/menit, meningkat menjadi 0,0270 m³/menit pada frekuensi 35 Hz, dan mencapai 0,0432 m³/menit pada frekuensi 50 Hz. Dengan demikian, peningkatan frekuensi menghasilkan kenaikan debit, sedangkan penyempitan bukaan katup menurunkan debit aliran.

Pada Gambar 4, pola yang sama juga terlihat pada impeller berdiameter 95,5 mm. Head meningkat ketika bukaan katup diperkecil, terutama pada frekuensi 35 Hz dan 50 Hz. Pada frekuensi 50 Hz, head meningkat dari 8,01 m pada bukaan katup 90° menjadi 8,72 m pada bukaan 30°. Namun, nilai head yang dihasilkan impeller 95,5 mm secara keseluruhan lebih rendah dibandingkan impeller 115,5 mm pada kondisi operasi yang sama. Debit yang dihasilkan juga lebih kecil. Pada frekuensi 50 Hz dan bukaan katup 90°, debit impeller 95,5 mm sebesar 0,0270 m³/menit, sedangkan impeller 115,5 mm mencapai 0,0432 m³/menit. Hal ini menunjukkan bahwa impeller dengan diameter lebih besar mampu memberikan performa hidraulik yang lebih baik pada sistem pompa paralel.

Secara umum, peningkatan head dipengaruhi oleh penyempitan bukaan katup dan kenaikan frekuensi putaran. Penyempitan bukaan katup meningkatkan hambatan aliran, sehingga tekanan yang terbentuk di dalam sistem menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, debit meningkat pada bukaan katup yang lebih besar karena hambatan aliran lebih kecil. Selain itu, kenaikan frekuensi inverter meningkatkan putaran pompa, yang pada akhirnya meningkatkan energi yang diberikan kepada fluida. Hasil ini sesuai dengan karakteristik umum pompa sentrifugal, yaitu head meningkat saat debit menurun, dan debit meningkat seiring kenaikan putaran pompa.

Hubungan antara efisiensi pompa dan frekuensi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan efisiensi dan frekuensi pada bukaan katup 90°

Berdasarkan Gambar 5, efisiensi pompa meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi pada kedua variasi diameter impeller. Pada impeller berdiameter 115,5 mm dengan bukaan katup 90°, efisiensi meningkat dari 3,17% pada frekuensi 20 Hz menjadi 19,65% pada frekuensi 35 Hz, dan mencapai 40,71% pada frekuensi 50 Hz. Sementara itu, pada impeller berdiameter 95,5 mm dengan kondisi operasi yang sama, efisiensi meningkat dari 0% pada frekuensi 20 Hz menjadi 6,31% pada frekuensi 35 Hz, dan 17,01% pada frekuensi 50 Hz. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi putaran memberikan pengaruh positif terhadap efisiensi pompa, dan impeller berdiameter 115,5 mm memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan impeller 95,5 mm pada setiap tingkat frekuensi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi diameter impeller terbukti memengaruhi performa dua pompa sentrifugal yang dirangkai secara paralel. Impeller berdiameter 115,5 mm menghasilkan head, debit, dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan impeller berdiameter 95,5 mm. Peningkatan frekuensi inverter dari 20 Hz menjadi 50 Hz cenderung meningkatkan head, debit, dan efisiensi pompa pada kedua variasi impeller.

Selain itu, variasi bukaan katup juga memengaruhi karakteristik aliran pompa. Semakin kecil bukaan katup, head yang dihasilkan cenderung meningkat, sedangkan debit menurun. Sebaliknya, semakin besar bukaan katup, debit meningkat namun head menurun. Pada kondisi pengujian, impeller berdiameter 115,5 mm menunjukkan performa terbaik pada frekuensi 50 Hz, sehingga dapat dinyatakan lebih efektif digunakan pada sistem pompa paralel dibandingkan impeller berdiameter 95,5 mm.

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan variasi diameter impeller dan frekuensi yang lebih luas serta memastikan kalibrasi alat ukur agar hasil pengujian lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Yang, Y. Yang, and J. Xia, "Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review," *Geogr. Sustain.*, vol. 2, no. 2, pp. 115–122, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003.

[2] R. V Giles, *Mekanika Fluida dan Hidaulika*. Jakarta: Erlangga, 1993.

[3] C. Wu, K. Pu, C. Li, P. Wu, B. Huang, and D. Wu, "Blade redesign based on secondary flow suppression to improve energy efficiency of a centrifugal pump," *Energy*, vol. 246, p. 123394, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123394.

[4] A. Rivas, G. K. Delipei, I. Davis, S. Bhongale, J. Yang, and J. Hou, "A component diagnostic and prognostic framework for pump bearings based on deep learning with data augmentation," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 247, p. 110121, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110121.

[5] Sularso and H. Tahara, *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.