

## Analisis Kinerja Pompa Regeneratif Tunggal dan Paralel

Aldian Ndoen<sup>1</sup>, Matheus M. Dwinanto<sup>2\*</sup>, Ishak S. Limbong<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

\*Corresponding author: [matheus.dwinanto@staf.undana.ac.id](mailto:matheus.dwinanto@staf.undana.ac.id)

### ABSTRAK

Salah satu aspek penting dari rekayasa mesin fluida yang berkaitan dengan penggunaan energi listrik untuk mencapai fungsi yang bermanfaat dan telah banyak digunakan di bidang industri dan rumah tangga adalah pompa regeneratif. Pompa ini dapat menghasilkan head yang tinggi dengan debit yang relatif kecil. Studi eksperimen ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi debit terhadap kinerja pompa regeneratif tunggal dan yang dihubungkan paralel. Pengujian dilakukan terhadap dua pompa regeneratif dengan spesifikasi yang sama pada debit yang bervariasi, mulai dari aliran minimum hingga maksimum yang dapat dicapai oleh pompa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konstruksi sistem perpipaan sangat mempengaruhi kinerja pompa regeneratif yang dioperasikan sebagai pompa tunggal di mana dengan meningkatnya debit aliran maka total head, daya hidrolis, dan efisiensi pompa akan cenderung menurun, dan begitupun sebaliknya. Daya daya poros pompa cenderung konstan walaupun debit aliran meningkat. Pada pengoperasian paralel, peningkatan debit aliran akan mengakibatkan penurunan total head, daya hidrolis, daya poros, dan efisiensi pompa, begitupun sebaliknya. Peningkatan debit menjadi dua kali lipat akan menghasilkan total head, daya hidrolis, daya poros, dan efisiensi pompa yang berbeda dari masing-masing pompa.

### ABSTRACT

*One important aspect of fluid machines engineering that is related to the use of electrical energy to achieve useful functions and has been widely used in industry and households is the regenerative pump. This pump can produce a high head with a relatively small discharge. This experimental study aims to analyze the effect of discharge variations on the performance of single and parallel regenerative pumps. Tests were carried out on two regenerative pumps with the same specifications at varying discharges, starting from the minimum flow to the maximum that can be achieved by the pump. The test results show that the construction of the piping system greatly influences the performance of the regenerative pump which is operated as a single pump whereas the flow rate increases, the total head, hydraulic power and pump efficiency will tend to decrease, and vice versa. The pump shaft power tends to remain constant even though the flow rate increases. In parallel operation, an increase in flow rate will result in a decrease in total head, hydraulic power, shaft power and pump efficiency, and vice versa. Increasing the flow rate to double will result in different total head, hydraulic power, shaft power and pump efficiency for each pump.*

**Keywords:** Pompa regeneratif, daya hidrolis, daya poros, efisiensi pompa

### PENDAHULUAN

Salah satu aspek penting dari rekayasa mesin-mesin fluida yang berkaitan dengan penggunaan energi listrik untuk mencapai fungsi yang bermanfaat adalah pompa regeneratif. Pompa ini adalah bagian dari kelompok pompa sentrifugal dan dapat menghasilkan head yang tinggi dengan debit yang relatif kecil [1, 2]. Pompa ini adalah bagian dari kelompok pompa sentrifugal karena menghasilkan gaya sentrifugal pada air

yang dipompakan di dalam casing pompa, tetapi bentuk impelernya berbeda dari pompa sentrifugal. Impelernya didesain khusus dengan sejumlah besar sudu-sudu berbentuk radial. Pompa ini dimensinya relatif kecil dan impelernya dibuat dari bahan khusus untuk mengatasi kondisi korosif yang dihasilkan dari tingkat turbulensi yang tinggi yang dialami dalam rumah pompa [2 – 4].

Pompa regeneratif semakin diminati di bidang industri dan rumah tangga karena pompa ini berbiaya rendah, kecepatan spesifik

rendah, ringkas, dan mampu menghasilkan *head* tinggi dengan karakteristik kinerja yang stabil walaupun efisiensinya dianggap rendah yaitu berkisar antara 35 – 50% [5]. Oleh karena itu, beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang kinerja pompa regeneratif diantara sebuah studi eksperimental tentang pengaruh sudut sudu impeler terhadap kinerja pompa regeneratif. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *head* tekanan dan efisiensi sangat bergantung pada sudut sudu serta geometri sudu. Di antara semua konfigurasi bilah yang diuji dalam penelitian ini, sudu *chevron* menunjukkan *head* tertinggi dengan efisiensi yang cukup baik. Di mana sudut *chevron* sekitar  $\pm 30^\circ$  menghasilkan kinerja terbaik [2].

Studi numerik menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD) untuk memvisualisasikan fenomena aliran di pompa regeneratif juga telah dilakukan dan hasil studi ini menunjukkan bahwa jumlah sudu impeler akan sangat berpengaruh terhadap kenaikan tekanan statis pompa di mana semakin banyak sudu impeler maka fenomena perubahan tekanan akan lebih nampak. Penambahan sudu *splitter* akan mengurangi *rotating stall* sehingga meningkatkan tekanan statis dan total tekanan pompa. Di samping itu, modifikasi geometri ruang masuk dan keluar dengan saluran radial dengan lebar konstan akan membantu mengurangi *rotating stall* sehingga menaikkan tekanan statis pompa [6].

Studi pengaruh geometri sudu impeler pompa regeneratif juga telah dilakukan untuk menganalisis pola aliran dan kinerja pompa. Dua tipe impeler digunakan di mana yang pertama memiliki sudu sudut simetris dengan sudut masuk/keluar sama besar yaitu  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ , dan  $\pm 50^\circ$  dan tipe kedua memiliki sudu sudut nonsimetris di mana sudut masuk  $0^\circ$  dan sudut keluar  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ , dan  $\pm 50^\circ$ . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semua sudu depan memiliki koefisien *head* yang lebih tinggi daripada sudu radial (sudut sudu  $0^\circ$ ) pada koefisien aliran desain. Ditemukan bahwa pompa regeneratif dengan sudu maju bersudut simetris memiliki kinerja yang lebih baik daripada jenis lainnya. Di samping itu, koefisien dan efisiensi *head* tertinggi terjadi

pada sudut  $+10 < \beta < +30$  dari sudu sudut simetris. Efisiensi maksimum terjadi pada sudut  $+15,5^\circ$  dengan penyesuaian kurva terhadap data yang diperoleh dari simulasi numerik untuk sudu maju sudut simetris [7].

Sebuah metode desain optimal juga telah digunakan untuk meningkatkan kinerja impeler pompa regeneratif. Hasil desain ini menunjukkan bahwa optimasi bentuk impeler pompa pada kondisi aliran operasi, akan meningkatkan efisiensi pompa sebesar 3% dibandingkan dengan pompa referensi. Peningkatan tekanan pompa optimal terutama disebabkan oleh gaya momentum yang lebih tinggi yang dihasilkan di dalam jalur sudu karena bentuk sudu yang optimal [8].

Untuk penelitian tentang kinerja pompa tunggal dan yang dihubungkan paralel, beberapa peneliti telah melakukannya secara eksperimen diantaranya, uji kinerja pompa sentrifugal terhadap *head* dan kapasitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pompa tunggal dan mengetahui pompa jika dirangkai paralel. Fluida kerja adalah air dan untuk memperoleh variasi debit, katup diatur sesuai pengukuran. Dari hasil pengujian pada susunan paralel dengan spesifikasi pompa sama dengan katup terbuka penuh diperoleh kapasitas sebesar 42 liter/menit dan pada katup tertutup penuh diperoleh tekanan sebesar 18 psi. Dari hasil percobaan, disimpulkan bahwa pengoperasian pompa secara paralel diperoleh kapasitas pompa lebih besar dan *head* total tetap [9].

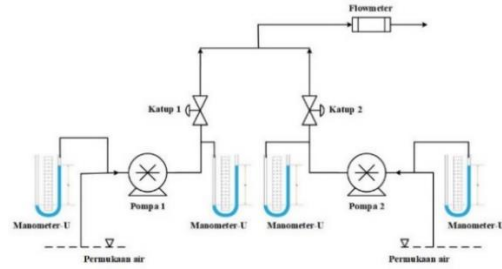
Sebuah studi tentang perancangan sistem pompa paralel dengan daya bervariasi telah dilakukan untuk meningkatkan kapasitas pemompaan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perancangan sistem pompa paralel dengan daya bervariasi dengan daya pompa 75 watt, 125 watt, dan 200 watt akan menghasilkan kapasitas pompa maksimum 139,88 liter per menit dengan tekanan 3,86 kg/cm<sup>2</sup> dan *head loss* 1,49 m [10].

Studi eksperimental juga telah dilakukan untuk menganalisis hubungan pompa seri dan paralel terhadap debit, tekanan, dan daya pompa serta untuk mengetahui efisiensi pompa seri dan paralel terhadap penggunaan

energi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pompa seri tidak berpengaruh terhadap debit tetapi berpengaruh terhadap tekanan dan daya hidrolis pompa sedangkan pompa paralel berpengaruh terhadap peningkatan debit tetapi tidak berpengaruh terhadap tekanan dan daya hirolis pompa. Debit aliran pompa seri 0,000450 m<sup>3</sup>/s sedangkan debit aliran pompa paralel 0,000769 m<sup>3</sup>/s. Tekanan air pompa seri 80 psi sedangkan tekanan air pompa paralel 40 psi. Daya hidrolis pompa seri 248,28 watt sedangkan daya hidrolis pompa paralel 198,2 watt. Efisiensi daya listrik pompa seri lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi daya listrik pompa paralel. Efisiensi daya listrik saat pengukuran debit aliran pada instalasi pompa seri 70,53 %, efisiensi daya listrik pompa paralel 56,3 %. Efisiensi daya listrik saat pengukuran tekanan air pompa seri 45,14 % sedangkan efisiensi daya listrik pompa paralel 36,03 % [11]. Hal ini yang mendorong dilakukan penelitian untuk menganalisis kinerja pompa regeneratif tunggal dan yang dihubungkan paralel.

#### METODE PENELITIAN

Analisis kinerja pompa regeneratif tunggal dan dihubungkan paralel dilakukan pengujian di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana Kupang. Pengujian dilakukan dengan pompa dioperasikan sebagai pompa tunggal dan dihubungkan paralel. Pada pengujian pompa tunggal hanya pompa 1 yang dihidupkan. Saat pompa dihidupkan katup 1 dalam keadaan terbuka. Saat katup terbuka secara penuh setiap alat ukur akan menunjukkan data hasil pengujian. Pada pengujian pompa paralel pompa 1 dan 2 dihidupkan secara bersamaan, katup dalam keadaan terbuka secara penuh, saat katup terbuka secara penuh setiap alat ukur akan menunjukkan data hasil pengujian. Data yang diambil dari pompa yang dioperasikan tunggal dan dihubungkan paralel didapat dari pembukaan katup sampai katup ditutup secara perlahan.



Gambar 1. Diagram skematik instalasi pengujian pompa tunggal dan dihubungkan paralel.

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah cairan sesuai yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa. Seperti diperlihatkan dalam Gambar 1 head total pompa dapat ditulis sebagai berikut [12]:

$$H_p = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho g} \quad (1)$$

di mana:

$H_p$  = head total pompa (m).

$p_1 = \rho g h_1$  yaitu head pompa di sisi hisap (N/m<sup>2</sup>)

$p_2 = \rho g h_2$  yaitu head pompa di sisi buang (N/m<sup>2</sup>)

$h$  = perbedaan tinggi kolom di manometer-U (m)

$\rho$  = densitas fluida cair di manometer-U (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Daya air merupakan energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu. Sebuah pompa membutuhkan sejumlah Daya untuk melakukan kerja yaitu memindahkan sejumlah volume air pada ketinggian tertentu. Formula untuk menghitung daya air adalah sebagai berikut [12]:

$$\dot{W}_{in} = Q(p_2 - p_1) \quad (2)$$

di mana:

$\dot{W}_{in}$  = daya air (kW)

$Q$  = debit aliran (m<sup>3</sup>/jam)



Gambar 2. Instalasi pengujian pompa tunggal dan dihubungkan paralel.

Daya mekanis ke pompa adalah daya luaran motor listrik yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa. Daya ini dapat dinyatakan sebagai berikut [12]:

$$P_{in} = \eta_m \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (3)$$

di mana:

$P_{in}$  = daya mekanis ke pompa (W)

$\eta_m$  = efisiensi mekanis pompa (diasumsikan 0,85)

$V$  = voltase listrik (volt)

$I$  = kuat arus listrik (ampere)

$\cos \theta$  = faktor daya listrik (diasumsikan 0,85)

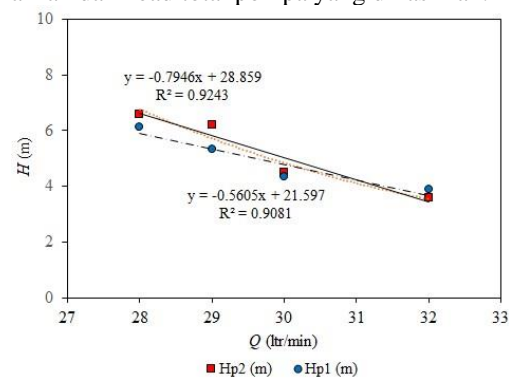
Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara keluaran dan masukan atau antara daya air pompa dengan daya mekanis pompa. Formula efisiensi pompa dapat dinyatakan sebagai [12]:

$$\eta_p = \frac{\dot{W}_{in}}{P_{in}} \quad (4)$$

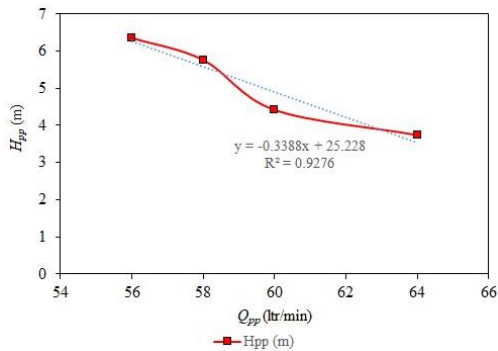
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dengan total head pompa dari kedua pompa tunggal yang diuji. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka akan mengakibatkan penurunan total head pompa, dan begitupun sebaliknya bila total head pompa meningkat maka debit aliran akan berkurang. Dari hasil analisis data maka digunakan regresi linier untuk menunjukkan hubungan antara total head (sumbu y) dengan debit aliran (sumbu x). Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk kedua regresi linier yang terbentuk menunjukkan hubungan yang kuat antara debit aliran, dan total head dari kedua pompa tunggal yang diuji ( $R^2$  pompa 1 = 0,9081 dan  $R^2$  pompa 2 = 0,9243, di mana nilai  $R^2$  dari kedua pompa tersebut mendekati 1).

Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% (4 ltr/min) untuk pompa 1 akan mengakibatkan penurunan head total pompa sekitar 36,66% sedangkan untuk pompa 2 kenaikan 14,28% debit aliran akan mengakibatkan penurunan head total sekitar 45,36%. Perbedaan ini lebih diakibatkan oleh konstruksi instalasi pengujian pompa sehingga pada debit aliran air yang sama memberikan nilai head total yang berbeda. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa untuk pompa regeneratif dengan spesifikasi yang sama, konstruksi perpipaannya sangat mempengaruhi debit aliran dan head total pompa yang dihasilkan.



Gambar 3. Hubungan debit aliran, dan total head dari kedua pompa tunggal.



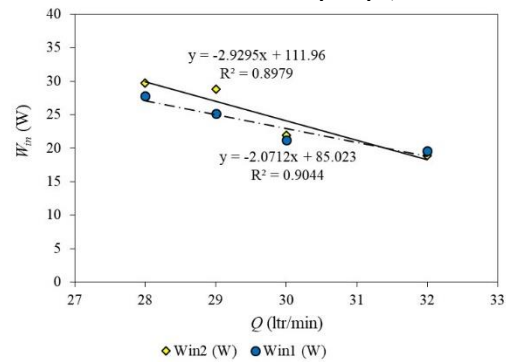
Gambar 4. Hubungan debit aliran, dan total head pompa paralel.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan head total pompa yang dihubungkan secara paralel. Sama halnya dengan pompa tunggal pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka akan mengakibatkan penurunan total head pompa, dan begitupun sebaliknya. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk regresi linier yang terbentuk menunjukkan hubungan yang kuat antara debit aliran, dan total head dari pompa paralel yang diuji ( $R^2$  pompa paralel = 0,9276). Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% untuk pompa paralel akan mengakibatkan penurunan head total pompa sekitar 41,17%.

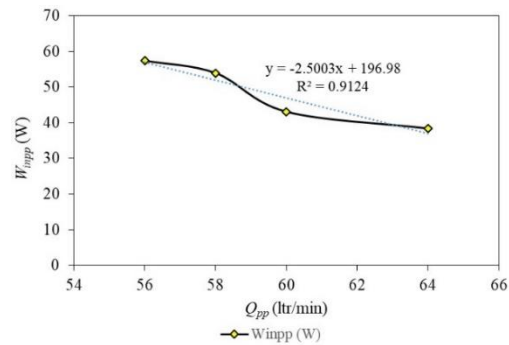
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan daya hidrolis (atau daya air) pompa tunggal. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka akan mengakibatkan penurunan daya hidrolis, dan begitupun sebaliknya bila debit aliran berkurang maka daya hidrolis meningkat. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk kedua regresi linier yang terbentuk menunjukkan hubungan yang kuat antara debit aliran, dan daya hidrolis dari kedua pompa tunggal yang diuji, di mana  $R^2$  pompa 1 = 0,9044 dan  $R^2$  pompa 2 = 0,8979.

Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% (4 ltr/min) untuk pompa 1 akan mengakibatkan penurunan daya hidrolis pompa sekitar 29,57% sedangkan untuk pompa 2 kenaikan 14,28% debit aliran akan mengakibatkan penurunan head total sekitar 36,44%.

Perbedaan ini juga lebih diakibatkan oleh konstruksi instalasi pengujian pompa sehingga pada debit aliran air yang sama memberikan nilai daya hidrolis yang berbeda. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa untuk pompa regeneratif dengan spesifikasi yang sama, konstruksi perpipaannya sangat mempengaruhi debit aliran dan daya hidrolis pompa yang dihasilkan (energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa).



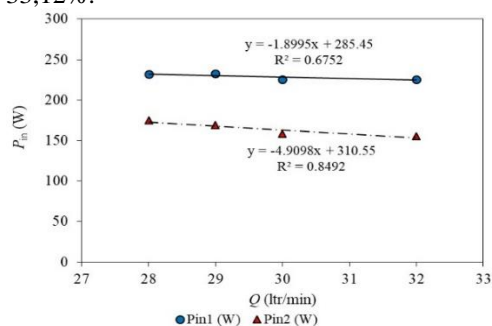
Gambar 5. Hubungan debit aliran, dan daya hidrolis dari kedua pompa tunggal.



Gambar 6. Hubungan debit aliran, dan daya hidrolis pompa paralel.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan daya hidrolis (atau daya air) pompa yang dihubungkan paralel. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka akan mengakibatkan penurunan daya hidrolis, dan begitupun sebaliknya. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk regresi linier yang terbentuk menunjukkan hubungan yang kuat antara debit aliran, dan

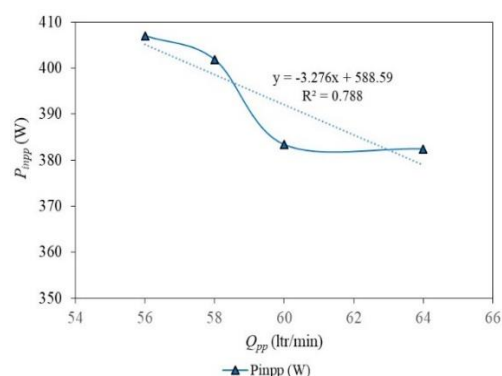
daya hidrolis dari pompa dihubungkan paralel yang diuji, di mana  $R^2$  pompa paralel = 0,9124. Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% untuk pompa paralel akan mengakibatkan penurunan daya hidrolis pompa sekitar 33,12%.



Gambar 7. Hubungan debit aliran, dan daya poros dari kedua pompa tunggal.

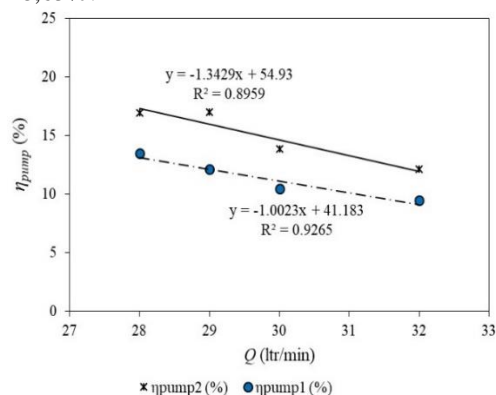
Gambar 7 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan daya poros yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa tunggal. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka daya poros pompa 1 relatif konstan (tidak mengalami perubahan yang signifikan) sedangkan daya poros pompa 2 terjadi sedikit penurunan. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk pompa 1 menunjukkan hubungan moderat ( $R^2$  pompa 1 = 0,6752) antara debit aliran dan daya poros sedangkan  $R^2$  pompa 2 menunjukkan hubungan yang erat antara debit aliran dan daya poros ( $R^2$  pompa 2 = 0,8492). Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% untuk pompa 2 akan mengakibatkan penurunan daya poros pompa sekitar 10,9%.

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan daya poros yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa yang dihubungkan paralel. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka daya poros akan mengalami penurunan. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk pompa paralel menunjukkan hubungan moderat ( $R^2 = 0,788$ ) antara debit aliran dan daya poros. Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% untuk pompa paralel akan mengakibatkan penurunan daya poros pompa sekitar 6,04%.



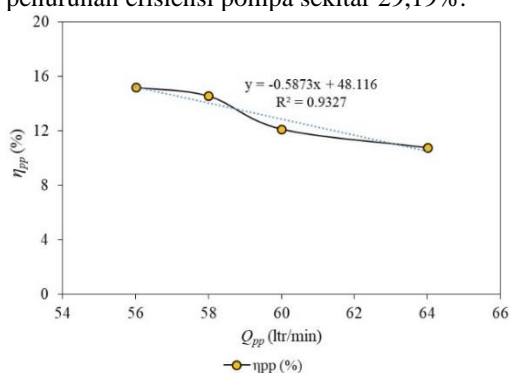
Gambar 8. Hubungan debit aliran, dan daya poros pompa paralel.

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan efisiensi pemompaan untuk kedua pompa tunggal. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka efisiensi pemompaan akan menurun. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk kedua regresi linier yang terbentuk menunjukkan hubungan yang kuat antara debit aliran dan efisiensi dari kedua pompa tunggal yang diuji ( $R^2$  pompa 1 = 0,9265 dan  $R^2$  pompa 2 = 0,8959). Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% (4 ltr/min) untuk pompa 1 akan mengakibatkan penurunan efisiensi pompa sekitar 29,76% sedangkan untuk pompa 2 kenaikan 14,28% debit aliran akan mengakibatkan penurunan efisiensi sekitar 28,65%.



Gambar 9. Hubungan debit aliran, dan efisiensi pemompaan dari kedua pompa tunggal.

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara debit aliran air dan efisiensi pemompaan untuk pompa yang dihubungkan paralel. Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya debit aliran air yang dipompakan maka efisiensi pemompaan akan menurun. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk regresi linier yang terbentuk menunjukkan hubungan yang kuat antara debit aliran dan efisiensi dari pompa paralel yang diuji ( $R^2$  pompa = 0,9327). Kenaikan debit aliran sekitar 14,28% untuk pompa yang dihubungkan paralel akan mengakibatkan penurunan efisiensi pompa sekitar 29,19%.



Gambar 10. Hubungan debit aliran, dan efisiensi pompa paralel

## KESIMPULAN

Konstruksi sistem perpipaan sangat mempengaruhi kinerja pompa regeneratif yang dioperasikan sebagai pompa tunggal di mana dengan meningkatnya debit aliran maka total head, daya hidrolis, dan efisiensi pompa akan cenderung menurun, dan begitupun sebaliknya. Namun, daya daya poros pompa cenderung konstan walaupun debit aliran meningkat. Pada pengoperasian paralel, peningkatan debit aliran akan mengakibatkan penurunan total head, daya hidrolis, daya poros, dan efisiensi pompa, begitupun sebaliknya. Pada pengoperasian paralel, peningkatan debit menjadi dua kali lipat akan menghasilkan total head, daya hidrolis, daya poros, dan efisiensi pompa yang berbeda dari masing-masing pompa.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini difasilitasi oleh Kepala Laboratorium Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana. Atas bantuannya dihaturkan terima kasih

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cengel, Y. A. and Cimbala, J. M. 2013. *Fluid Mechanics (Fundamentals and Applications)*, Third Edition, New York, McGraw-Hill, pp. 797 – 803.
- [2]. Choi, W. C., Yoo, I. S., Park, M. R. and Chung, M. K. 2013. Experimental study on the effect of blade angle on regenerative pump performance. *Journal of Power and Energy*, 227 (5): 585 – 592.
- [3]. Engeda, A. 2003. Flow analysis and design suggestions for regenerative flow pumps. *Proceedings of ASME FEDSM'03 4th ASME JSME Joint Fluid Engineering Conference*. 1 – 11. Honolulu, Hawaii, USA, July 6 – 10.
- [4]. Meakhail, T. and Park, S. O. 2005. An improved theory for regenerative pump performance. *Proceedings of IMechE Vol. 219 Part A: J. Power and Energy*. 213 – 222.
- [5]. Quail, F., Scanlon, T. and Stickland, M. 2011. Design optimisation of a regenerative pump using numerical and experimental techniques. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 21(10): 95 – 111.
- [6]. Karanth, K. V., Manjunath, M. S., Kumar, S. and Sharma, N. Y. 2015. Numerical Study of a Self-Priming Regenerative Pump for Improved Performance using Geometric Modifications, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(1): 104 – 109.
- [7]. Nejadrajabali, J., Riasi, A., and Nourbakhsh, S. A. 2016. Flow Pattern Analysis and Performance Improvement of Regenerative Flow Pump Using Blade

- Geometry Modification, *International Journal of Rotating Machinery*, 2016: 1 – 16.
- [8]. Jeon, S-Y., Kim, C-K., Lee, S-M., Yoon, J-Y and Jang, C-M. 2017. Performance Enhancement of a Pump Impeller Using Optimal Design Method. *Journal of Thermal Science*, 26(2): 119 – 124.
- [9]. Wahyudi, D. dan Haryono, S. 2011. Uji Kinerja Pompa Sentrifugal Susunan Paralel terhadap Head dan Kapasitas, *Energy (Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik)*, 1(1): 57 – 63.
- [10]. Febrianto, I., Kabib, M. dan Nugraha, B. S. 2018. Perancangan Sistem Pompa Paralel Dengan Daya Bervariasi Untuk Meningkatkan Kapasitas Air, *Jurnal CRANKSHAFT*, 1(1): 49 – 54.
- [11]. Syahrizal, I. dan Perdana, D. 2019. Kajian eksperimen instalasi pompa seri dan paralel terhadap efisiensi penggunaan energi, *Jurnal TURBO*, 8(2): 194 – 200.
- [12]. Pritchard, P. J., and Leylegian, J. C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics* (Fox and McDonald's), Eighth Edition, John Wiley & Sons, Inc. pp. 516 – 518.