

Simulasi Numeris Pengaruh Tipe Rumah Keong Terhadap Unjuk Kerja Pompa Sentrifugal

M.M.A. Hieguyta* dan J. Waluyo

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Jl. Grafika No.2, Kompleks UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia,

Telp. (0274) 521673

*E-mail: mhieguyta@gmail.com

Abstrak

Pompa sentrifugal adalah alat yang sangat penting bagi berbagai macam peralatan industri. Performa pompa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti adanya rugi – rugi volumetrik, rugi – rugi mekanik, dan rugi – rugi hidraulik yang menyebabkan adanya penurunan di dalam efisiensi. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pompa sentrifugal berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan meneliti tujuh model pompa yaitu pompa rumah keong tunggal, pompa rumah keong ganda, pompa rumah keong dengan 2 sekat, pompa rumah keong besar, pompa rumah keong kecil, dan pompa dengan rumah keong penampang lingkaran. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan karakterisasi dari ketujuh model pompa. Simulasi ini menggunakan *software* ANSYS dengan pemodelan turbulensi menggunakan model $k - \omega$ sst. Dari ketujuh model tersebut didapatkan hasil bahwa nilai efisiensi dari pompa rumah keong kecil memiliki nilai yang paling tinggi pada kondisi debit rendah sampai menengah. Akan tetapi, dengan bertambahnya debit aliran, pompa rumah keong tunggal memiliki nilai efisiensi yang paling baik..

Kata kunci : Pompa Sentrifugal, *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, Rumah Keong, $k-\omega$ sst.

Abstract

The centrifugal pump is a very important tool for various kinds of industrial equipment. Pump performance is influenced by several factors such as the presence of volumetric losses, mechanical losses, and hydraulic losses which cause a decrease in efficiency. In this research, a centrifugal pump simulation based on Computational Fluid Dynamics (CFD) was carried out by examining seven pump models, namely the single volute pump, the double volute pump, the triple volute pump, the large volute pump, the small volute pump, and the circular volute pump. The purpose of this research is to characterize the seven pump models. This simulation uses ANSYS software with turbulence modeling using the $k - \omega$ sst model. From the seven models, the results show that the efficiency value of the small volute pump has the highest value at low to medium discharge conditions, but with increasing flow rate, the efficiency value of the single volute pump has the best efficiency.

Keywords : Centrifugal Pump, Computational Fluid Dynamics (CFD), Volute, $k-\omega$ sst.

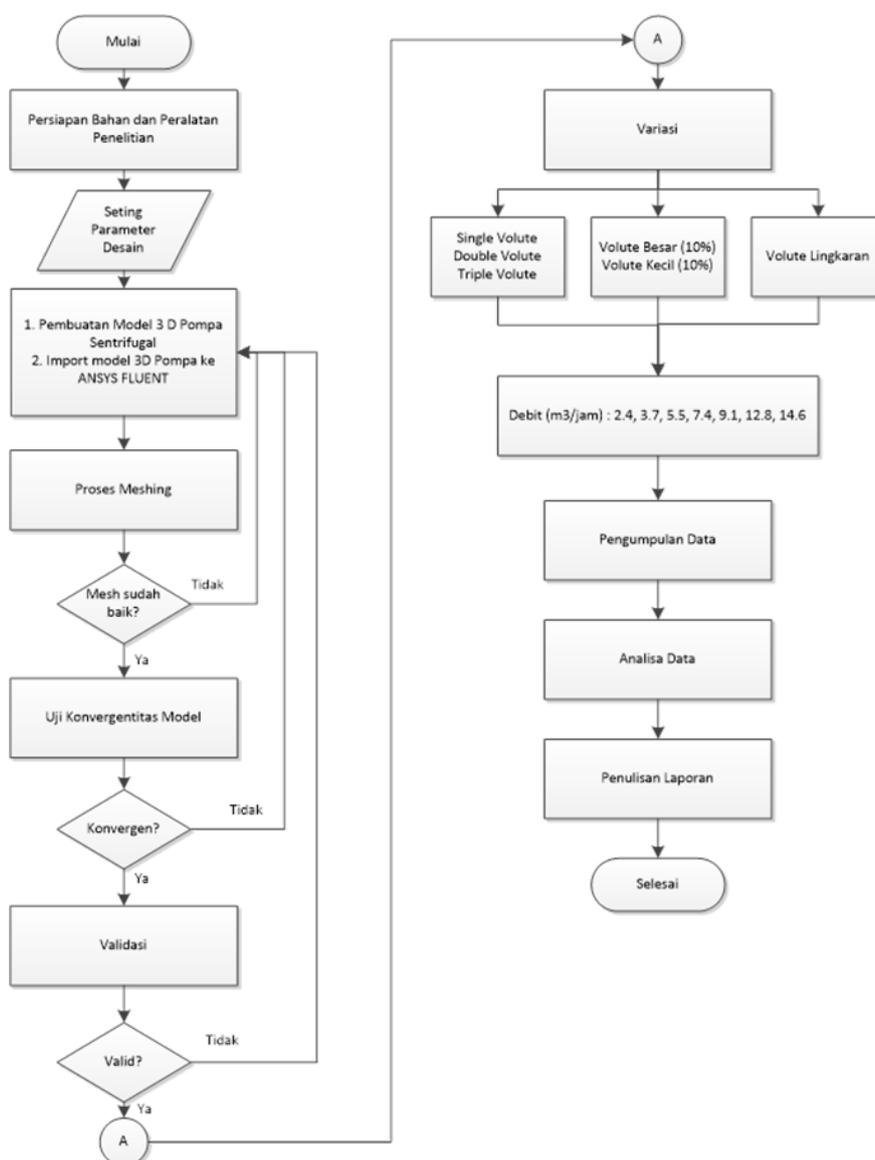
1. PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal adalah pompa yang banyak dipakai di dunia industri maupun non – industri. Karena penggunaannya yang sangat luas, pompa merupakan salah satu alat yang penting dalam dunia industri maupun non – industri. Performa pompa biasanya dinyatakan dalam *head* dan efisiensi pompa. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi pompa sentrifugal, seperti kerugian – kerugian hidraulik yang berupa gesekan dan turbulensi, gesekan cakram, kerugian mekanis pada bantalan – bantalan dan *packing*, dan kerugian – kerugian akibat kebocoran. Menurut Mina dkk. (2019) jenis dari rumah keong mempengaruhi efisiensi dari pompa. Rumah keong adalah bagian utama pompa yang berfungsi sebagai alat untuk mengkonversi kecepatan fluida yang meninggalkan *impeller* seefisien mungkin (Church, 1993). Menurut Stepanof, penambahan sekat akan mengurangi *radial thrust* dari pompa (Stepanoff, 1975). Saat ini, *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah sebuah alat yang sangat penting dalam mempelajari dan juga digunakan sebagai alat desain pompa. Dengan menggunakan alat ini, *numerical simulation* dapat dengan mudah menggambarkan kondisi aliran internal dalam pompa yang kompleks dan juga menggambarkan informasi hidrolis di dalam pompa untuk memastikan desain dari pompa adalah desain yang paling optimal. Maka dari itu dalam tesis ini penulis mengajukan penelitian pompa sentrifugal dengan variasi tipe *volute* yaitu *single volute*, *double volute*, *triple volute*, *volute besar*, *volute kecil*, serta pompa dengan *volute* lingkaran. Kemudian dari masing – masing

tipe *volute* akan disimulasikan dengan variasi besaran nilai *flow rate* dari fluida. Sehingga pada hasil penelitian akan didapatkan hubungan antara tipe *volute* dan *flow rate*. Serta dengan dilakukannya simulasi komputer, maka akan dapat memberikan gambaran fenomena di dalam *volute* seperti distribusi tekanan dan juga distribusi kecepatan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berbasis simulasi CFD ini dimulai dengan tahap persiapan bahan dan peralatan penelitian, setelah itu dilakukan pengaturan parameter desain. Desain model pompa digambar dengan menggunakan *software* CAD kemudian di-*import* ke ANSYS FLUENT. Kemudian dilakukan proses pembuatan *mesh* pada model yang dilanjutkan dengan pengecekan kualitas *mesh*. Setelah *mesh* dinilai baik maka dilanjutkan dengan uji konvergenitas model. Apabila sudah konvergen maka dilanjutkan dengan proses validasi. Pada proses validasi, hasil simulasi model pompa dibandingkan dengan hasil eksperimen dari penelitian terdahulu. Apabila hasil simulasi sudah baik dilanjutkan dengan proses variasi. Pada penelitian ini telah dibuat tujuh model pompa yaitu *single volute*, *double volute*, *triple volute*, *volute* besar, *volute* kecil, serta pompa dengan *volute* lingkaran. Untuk variasi lingkaran yaitu dengan diameter keluaran 22 mm dan 22,5 mm. Masing – masing model disimulasikan dengan variasi debit aliran yaitu 2.4 m³/jam, 3.7 m³/jam, 5.5 m³/jam, 7.4 m³/jam, 9.1 m³/jam, 12.8 m³/jam, dan 14.6 m³/jam. Setelah itu dilakukan pengumpulan data dan dilanjutkan dengan analisa data dan pembuatan laporan penelitian. Untuk lebih ringkas dan jelas metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

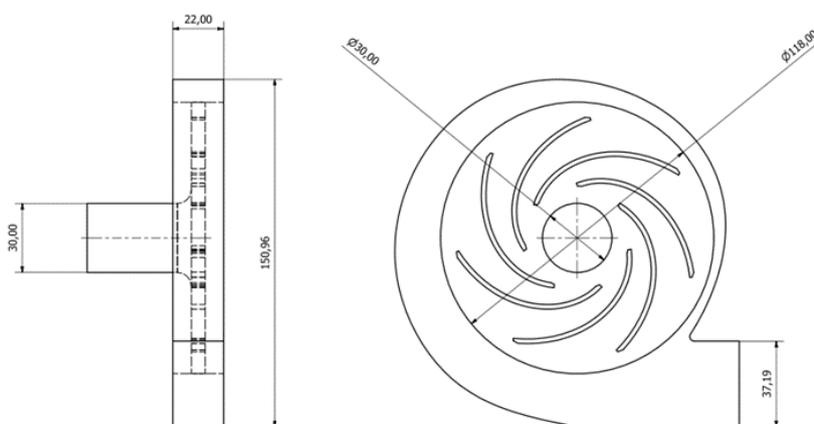


Gambar 1. Metodologi Penelitian

Untuk mengecek kualitas dari *mesh* dilakukan pengecekan nilai dari *orthogonal quality* dan nilai *skewness* – nya. Untuk konvergenitas dari simulasi dapat dilihat dari grafik residual dan juga notifikasi di *menu console* pada *software* Ansys Fluent. Untuk menghilangkan kesalahan akibat *spatial discretization*, maka dilakukanlah tes *independency* dengan merubah jumlah elemen dari *mesh*-nya. Hasil simulasi kemudian divalidasi dengan membandingkan nilai *head* (H) dengan penelitian eksperimen dari Stickland dkk. (2000). Setelah dilakukan validasi, model 3D kemudian divariasikan dengan bentuk rumah keong yang berbeda – beda, yaitu rumah keong 1 sekat, 2 sekat, rumah keong besar, rumah keong kecil, dan rumah keong dengan luasan keluarannya berbentuk lingkaran. Geometri dari model pompa tanpa sekat dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan spesifikasi pompa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa

Dimensi	Nilai
Jumlah Blade (z)	7
Impeller inlet diameter (D_1)	45 mm
Impeller outlet diameter (D_2)	105 mm
Impeller inlet width (b_1)	6 mm
Impeller outlet width (b_2)	6 mm
Impeller inlet blade angle (β_1)	22°
Impeller outlet blade angle (β_2)	26°
Suction side diameter (D_{su})	30 mm
Discharge side diameter (D_{sch})	37.19 mm



Gambar 2. Gambar 2D Model Pompa

Performa pompa dapat dilihat dari nilai *head* dan efisiensi hidrauliknya. Pada simulasi ini, nilai *head* didapatkan dengan memasukkan rumus *head* ke dalam fluent seperti pada Persamaan (1).

$$H = \frac{P_{out\ total} - P_{in\ total}}{\rho \cdot g} \quad (1)$$

Kemudian efisiensi hidraulik dihitung dengan menggunakan Persamaan 2).

$$\eta_{hid} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{T \cdot \frac{2\pi \times n}{60}} \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi

Simulasi pompa dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS FLUENT 19.1. Model turbulensi aliran menggunakan model turbulensi $k-\omega$ sst dari Menter (1994) dimana model tersebut cocok untuk mensimulasikan aliran turbulen di dalam pompa. Kemudian untuk *solver* yang dipilih dalam simulasi ini adalah algoritma Coupled. Kemudian kecepatan putaran pompa adalah 2800 rpm. Kualitas *mesh* dari model ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji Kualitas *Mesh*

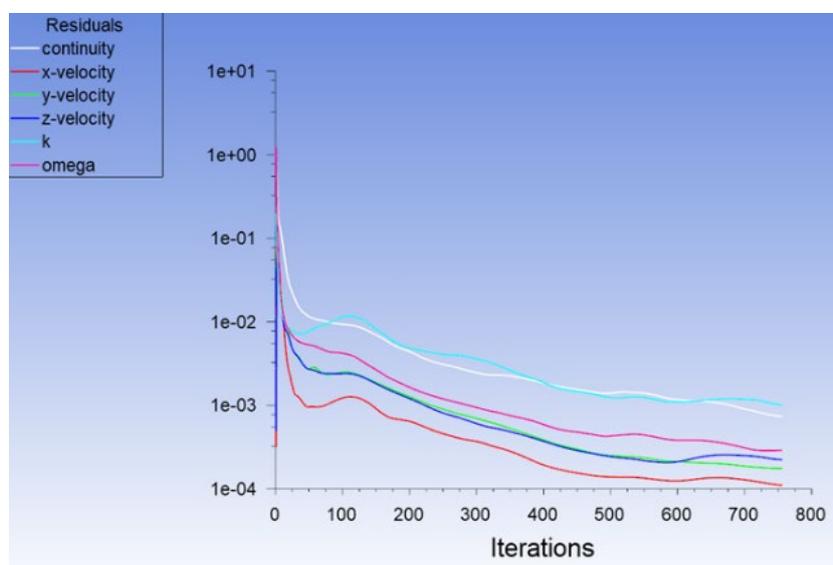
No	Parameter Uji	Nilai	Keterangan
1	Jumlah Elemen	455622	OK
2	Skewness Mesh	0,19913	Excellent
3	Orthogonal Quality Mesh	0,82053	Very good

Setelah *mesh* sudah dinyatakan baik, kemudian dilakukan *setup* untuk inisiasi simulasi. Detail dari *setup* inisiasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaturan Simulasi

Parameter pengaturan	Metode
Pengkopelan tekanan dan kecepatan	COUPLED
Skema diskretisasi gradien	Green – Gauss Node Based
Skema diskretisasi tekanan	Second Order
Skema diskretisasi momentum	Second Order Upwind
Skema diskretisasi energi kinetik turbulen	First Order Upwind
Skema diskretisasi laju disipasi energi kinetik turbulen	First Order Upwind

Setelah itu, iterasi simulasi di-*setting* awal di 1000 iterasi. Akan tetapi, pada iterasi ke-756 jalannya simulasi berhenti karena sudah konvergen, seperti ditunjukkan di Gambar 3.



Gambar 3. Residual Plot Simulasi

Supaya model pompa yang telah dibuat dapat dinyatakan valid hasil simulasinya, maka hasil simulasi dari model ini akan dibandingkan dengan hasil simulasi dari eksperimen Stickland dkk. (2000). Hasil validasi ditunjukkan di Tabel 4.

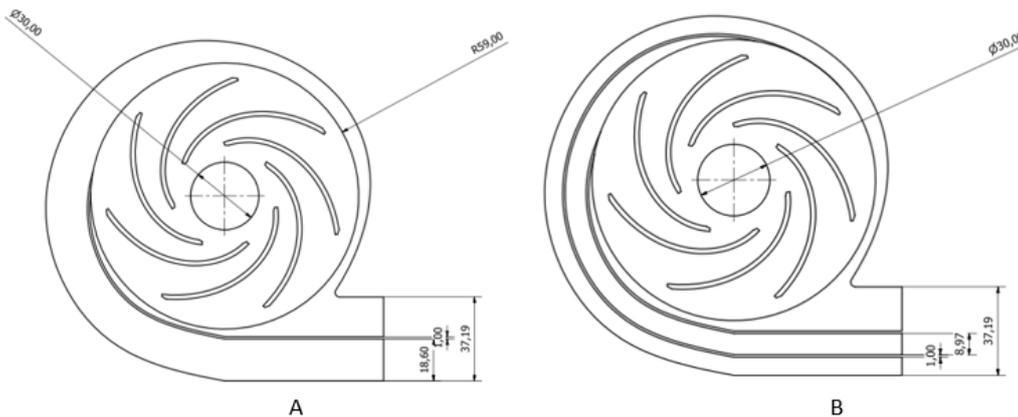
Tabel 4. Hasil Validasi

Laju Aliran Massa (kg/s)	Tinggi Tekan (m)		Error (%)
	Simulasi	Stickland	
1,035	12,756	12,960	-1,574
0,667	13,020	12,682	2,681
0,3845	13,827	13,290	4,041

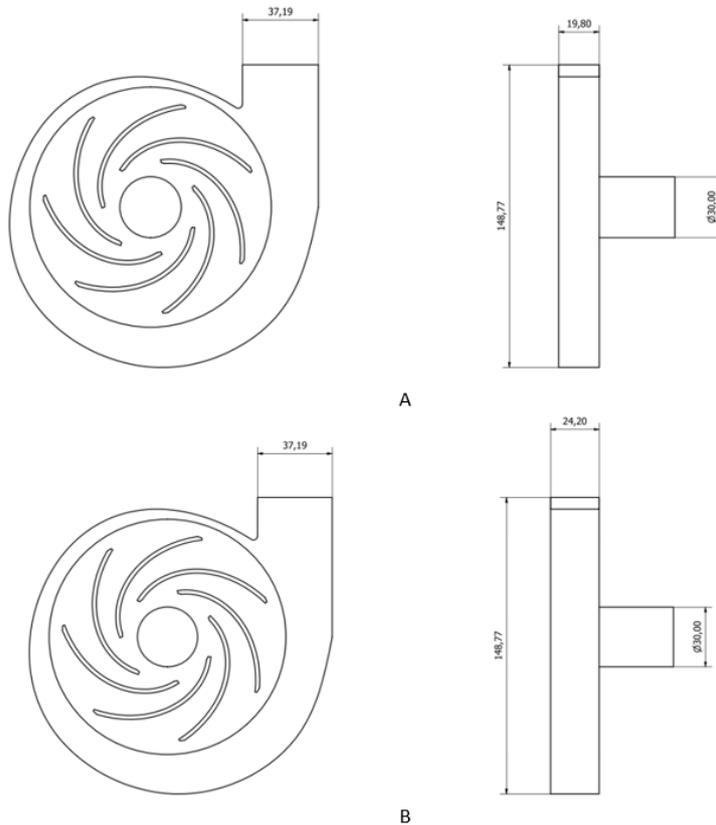
Hasil simulasi mempunyai error $\pm 5\%$ sehingga dapat dinyatakan valid.

3.2. Simulasi Variasi Model Volute Pompa

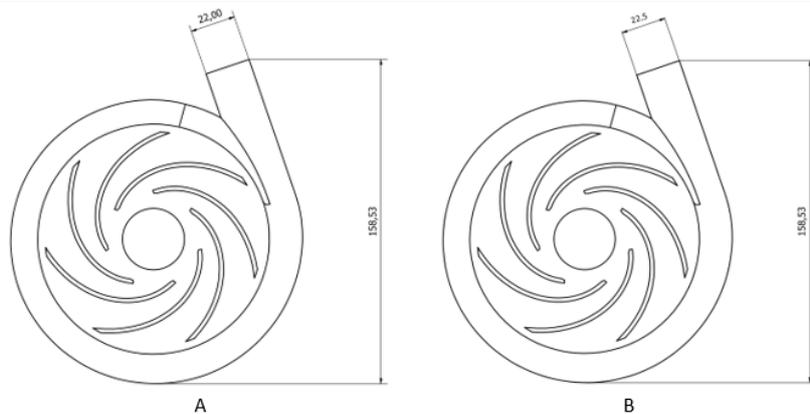
Pada penelitian ini, simulasi CFD menggunakan ANSYS Fluent telah berhasil dilaksanakan kepada 7 model variasi pompa. Bentuk dari ketujuh variasi *volute* tersebut dapat ditunjukkan oleh Gambar 4 s.d. 6.



Gambar 4. (A) Pompa *Double Volute* dan (B) Pompa *Triple Volute*

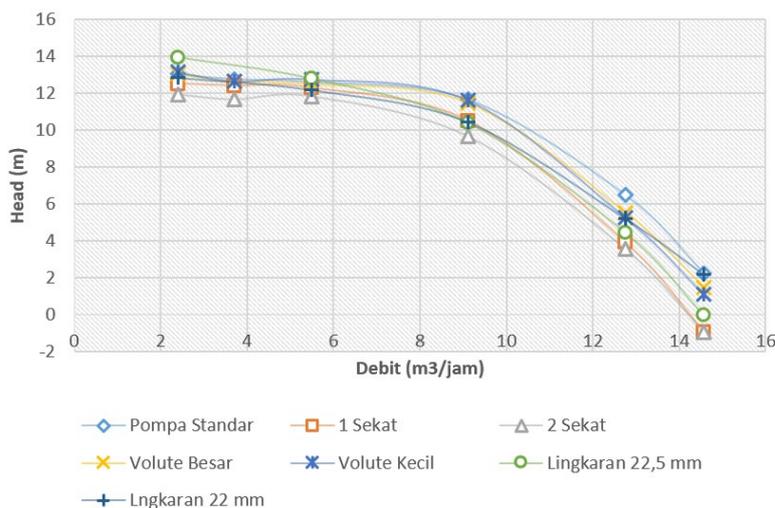


Gambar 5. (A) Pompa *Volute* Kecil dan (B) Pompa *Volute* Besar

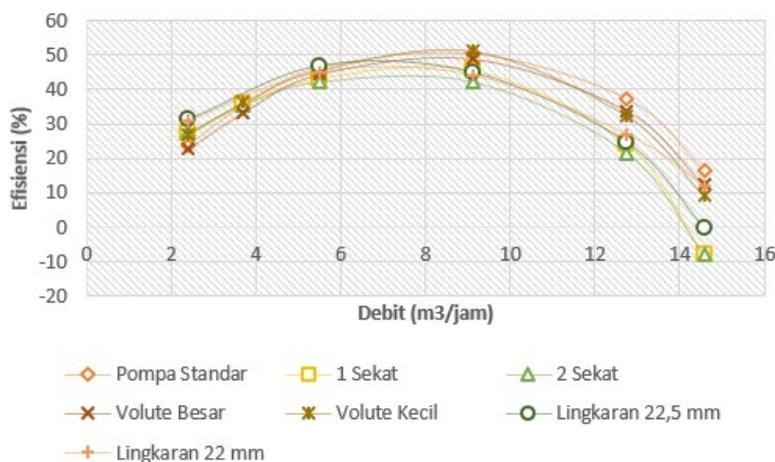


Gambar 6. (A) Pompa Lingkaran 22 mm dan (B) Pompa Lingkaran 22,5 mm

Hasil simulasi ketujuh pompa disajikan dalam kurva H – Q dan juga kurva Efisiensi – Q seperti ditunjukkan di Gambar 7 dan juga Gambar 8.

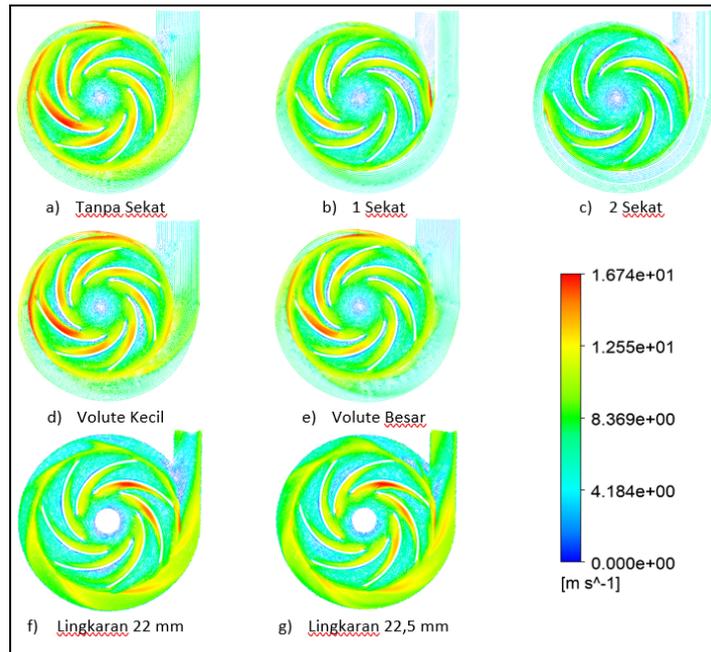


Gambar 7. Head Simulasi Keseluruhan Model Pompa

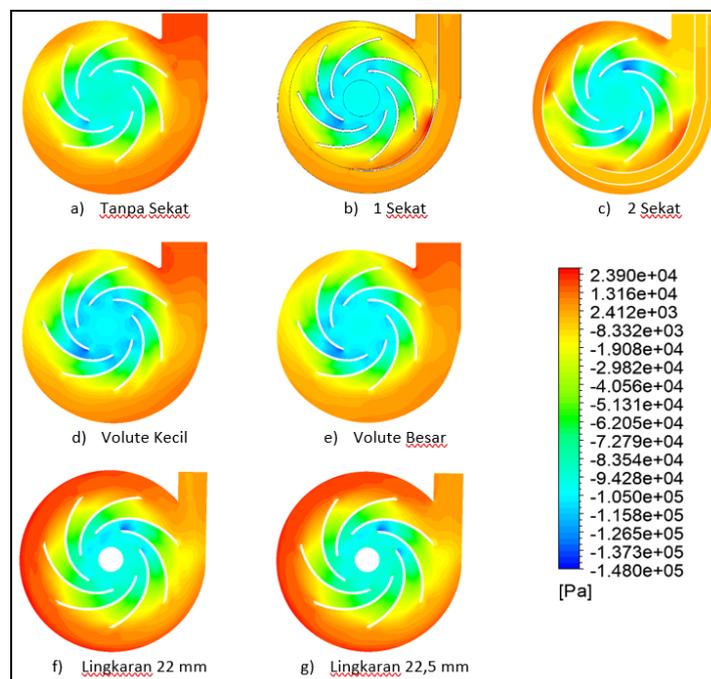


Gambar 8. Efisiensi Keseluruhan Model Pompa

Pompa dengan ukuran rumah keong kecil memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi, yaitu pada debit 9,1 m³/jam, beda tipis dengan efisiensi pada pompa tanpa sekat. Akan tetapi dengan seiring bertambahnya debit aliran, maka efisiensi dari pompa tanpa sekat merupakan yang paling tinggi. Untuk mengetahui fenomena di dalam pompa dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



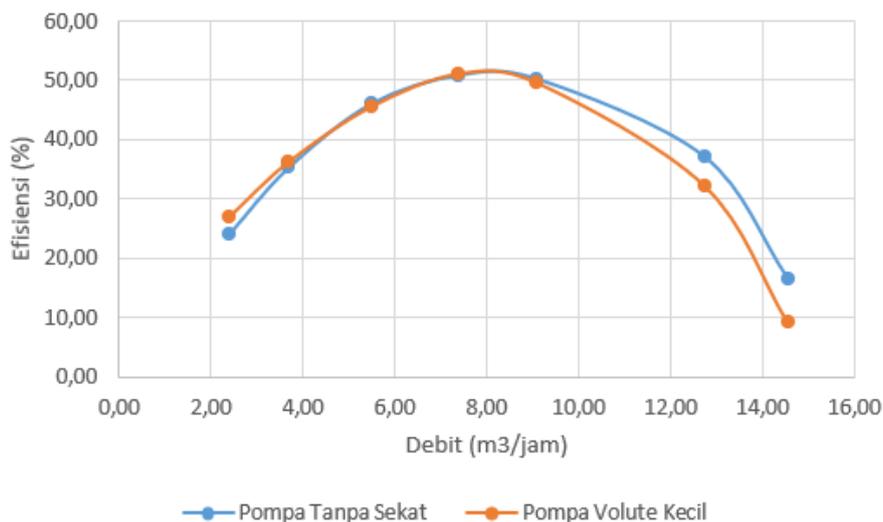
Gambar 9. Vektor Kecepatan Variasi Pompa Debit 9,1 m³/jam



Gambar 10. Distribusi Tekanan Variasi Pompa Debit 9,1 m³/jam

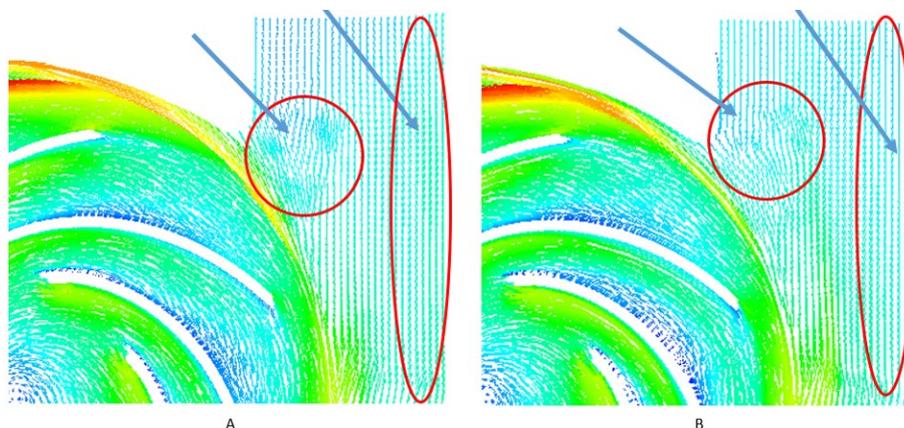
Seperti ditunjukkan oleh Gambar 9, vektor kecepatan pada pompa tanpa sekat dan pompa *volute* kecil pada keluaran pompa lebih merata dan kecepatannya pun lebih rendah daripada jenis pompa lain. Hal ini menyebabkan naiknya tekanan keluaran pompa seperti ditunjukkan oleh Gambar 10. Pada daerah sekitar lidah *volute*, kecepatan aliran pada pompa *volute* kecil lebih rendah daripada pompa tanpa sekat. Oleh karena itu, pada daerah lidah *volute*, nilai tekanan pompa *volute* kecil lebih tinggi daripada pompa tanpa sekat.

Karena nilai efisiensi paling tinggi ada pada pompa *volute* kecil, maka dilakukan analisa lebih jauh dengan menambahkan simulasi debit 7,4 m³/jam dan membandingkan dengan pompa tanpa sekat.

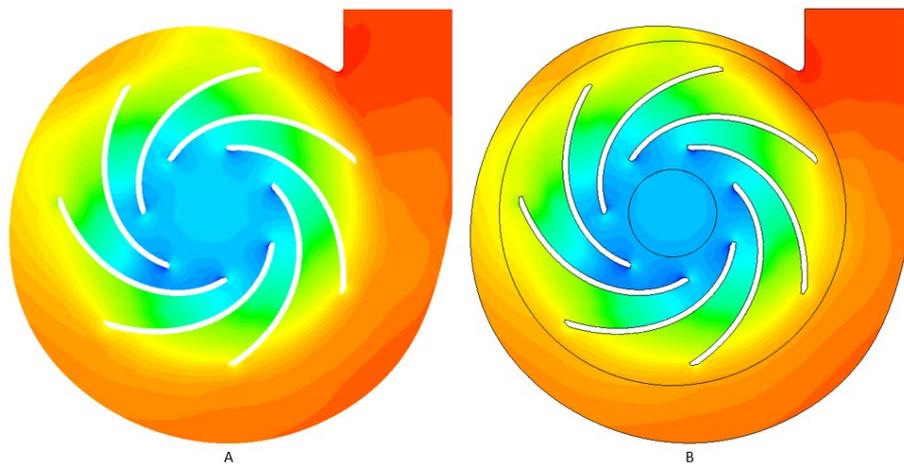


Gambar 11. Efisiensi Pompa Tanpa Sekat vs Pompa *Volute* Kecil

Berdasarkan pada Gambar 11, pada debit rendah nilai efisiensi pompa *volute* kecil lebih tinggi daripada pompa tanpa sekat. Nilai efisiensi tertinggi pada pompa *volute* kecil adalah 51,3 % sedangkan pompa tanpa sekat 50,8 %. Fenomena aliran di dalam pompa pada kondisi efisiensi terbaik masing – masing pompa dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Vektor Kecepatan Pompa Tanpa Sekat (A) dan *Volute* Kecil (B)



Gambar 13. Distribusi Tekanan Pompa Tanpa Sekat (A) dan *Volute* Kecil (B)

Pada pompa tanpa sekat sesuai dengan Gambar 12, di daerah dekat dinding menuju keluaran pompa (*outlet*) terjadi kenaikan kecepatan dari aliran sehingga menyebabkan adanya penurunan tekanan seperti terlihat pada Gambar 13. Penurunan tekanan ini dapat mempengaruhi besarnya efisiensi dari pompa meskipun selisihnya kecil.

Penurunan tekanan tekanan yang terjadi didaerah dekat dengan lidah *volute* menurut Hamed dkk. (2015) adalah pengaruh dari interaksi antara lidah *volute* dan aliran keluaran dari *impeller* yang menyebabkan adanya pemisahan aliran. Dengan turunnya nilai tekanan maka nilai dari *radial force* naik sehingga menurunkan nilai efisiensi. Ditambahkan lagi menurut Mina dkk. (2019) bahwa naiknya nilai *radial thrust* dapat menurunkan nilai efisiensi pompa sentrifugal.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dibangun tujuh model pompa sentrifugal yaitu pompa *single volute*, pompa *double volute*, pompa *triple volute*, pompa *volute* besar, pompa *volute* kecil, dan pompa *volute* lingkaran (diameter 22 dan 22,5 mm). Dari keseluruhan variasi jenis *volute*, didapatkan hasil bahwa kinerja terbaik ada pada pompa *volute* kecil. Pada debit 7,4 m³/jam, distribusi vektor kecepatan pompa *volute* kecil di daerah keluaran rumah keong dan juga daerah sekitar lidah *volute* terlihat rendah dan merata. Dengan rendahnya nilai kecepatan, maka meningkatkan nilai tekanan sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Akan tetapi seiring dengan naiknya debit, efisiensi terbaik ada pada pompa dengan *single volute*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- A.H. Church, 1993, Pompa dan Blower Sentrifugal. Diterjemahkan oleh: Zulkifli Harahap, Erlangga, Jakarta.
- A. Hamed, S.A. Nourbakhsh, M. Raisee, A.F. Najafi., 2015, Development of new “multivolute casing” geometries for radial force reduction in centrifugal pumps, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-11.
- F.R. Menter, 1994, Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, *AIAA Journal*, Vol. 32, No. 8, p. 1598.
- E.M. Mina, R.N. Abdelmessih, M.E. Matbouly, 2019, Reduction of Radial Thrust by Using Triple – Volute Casing, *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 10, No. 4, pp. 721-729.
- A.J. Stepanoff, 1975, *Centrifugal and axial flow pumps*, John Wiley and Sons Inc, New York
- M.T. Stickland, T.J. Scanlon, 2000, An Experimental Study on The Unsteady Pressure Distribution Around the Impeller Outlet of a Centrifugal Pump, Proceedings of ASME FEDSM'00, ASME 2000 Fluids Engineering Division Summer Meeting, Boston, Massachusetts.