

Efek Variasi Sudut Lidah *Volute* Terhadap Laju Aliran Udara Pada *Blower Tipe Forward Blade*

Husna Endry Syafa'at¹, Ipung Kurniawan², Radhi Ariawan^{3*}, Agus Santoso⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

^{3,4}Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2,3,4}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: husnasyafaat007@email.com¹, ipung.k@pnc.ac.id³, radhi.4riawan@gmail.com³, agus.santoso@pnc.ac.id⁴

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 26 November 2024

Direvisi: 18 Juni 2025

Diterima: 25 Juni 2025

Optimalisasi desain *volute* penting untuk performa pompa sentrifugal dan blower sentrifugal. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi sudut lidah *volute* terhadap kecepatan dan laju aliran udara pada desain *volute casing* menggunakan simulasi aliran. Desain *volute* diuji dengan variasi sudut lidah 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75° berdasarkan persamaan teoritis debit aliran dan radius *volute*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan sudut lidah *volute* memperbesar luas penampang *volute*. Secara umum perbesaran luas penampang *volute* menurunkan kecepatan aliran udara, namun meningkatkan laju alirannya. Sudut 75° menghasilkan laju aliran tertinggi sebesar 4,860 m³/s, sedangkan kecepatan tertinggi tercatat pada sudut 15° sebesar 21,35 m/s. Fenomena ini sejalan dengan prinsip konservasi massa, di mana peningkatan area penampang menurunkan kecepatan fluida. Hal ini mengindikasikan bahwa desain *volute* dengan sudut lidah yang lebih besar dapat mengoptimalkan kapasitas aliran.

Abstract

Keywords:

sentrifugal blower ;
volute tongue angle;
volute design;
flow simulation.

Optimization of volute design is essential for the performance of centrifugal pumps and blowers. This study investigates the effect of volute tongue angle variation on air velocity and flow rate in volute casing design using flow simulations. The volute design was tested with tongue angles of 15°, 30°, 45°, 60°, and 75°, based on theoretical equations of flow rate and volute radius. Simulation results indicated that increasing the volute tongue angle enlarges the volute cross-sectional area. Generally, this enlargement decreases air velocity but increases the flow rate. A 75° tongue angle produced the highest flow rate of 4.860 m³/s, while the highest velocity, 21.35 m/s, was observed at 15°. This behavior aligns with the principle of mass conservation, where a larger cross-sectional area leads to reduced fluid velocity. These findings suggest that volute designs with larger tongue angles can optimize the flow capacity.

*Penulis korespondensi:

Radhi Ariawan

E-mail: radhi.4riawan@gmail.com

1. Pendahuluan

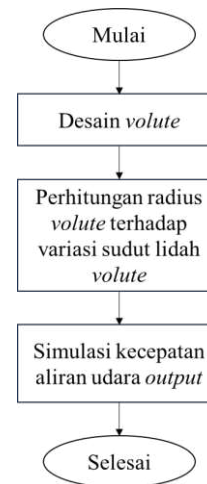
Salah satu metode pengurangan kelembaban adalah menggunakan sistem pengering (*dryer*). Teknologi sistem pengering yang umum digunakan adalah *blower* sentrifugal. *Blower* jenis ini bekerja dengan mengalirkan fluida (udara) dari tekanan rendah (*input*) ke tekanan tinggi (*output*) dengan memanfaatkan putaran *impeller* yang digerakkan motor penggerak [1]. Pada bagian ujung *blower* sentrifugal terdapat *volute casing* yang mentransmisikan aliran udara *output* dengan *loses* seminimal mungkin. Aliran udara dengan kelajuan tertentu ini dimanfaatkan dalam proses pengeringan. Laju aliran udara yang keluar melalui *volute casing* memiliki relevansi terhadap proses pengeringan menggunakan *blower*, dimana laju aliran udara berpengaruh kepada efisiensi pengeringan. Secara statistik, laju aliran udara 4,5 – 6,1 m³/s berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pengeringan [2].

Volute casing didesain untuk menjaga distribusi tekanan udara merata pada *impeller*. Sebagian fluida melewati jarak bebas lidah *volute* dan celah antara *impeller* dan dinding samping *casing*. Sisanya mengalir ke saluran keluar, diperlambat hingga kecepatan pelepasan dan kemudian dibuang [3]. Desain yang buruk dari variasi luas penampang *volute* menyebabkan distribusi tekanan yang tidak merata di dalam *volute*. Akibat distribusi tekanan tidak merata, terbentuk resultan gaya radial yang dapat berpengaruh pada performa bantalan dan poros, sehingga menyebabkan kegagalan fungsi pada komponen tersebut [3]. Meskipun desain *impeller* sama untuk semua turbin, kinerja turbin bervariasi tergantung pada desain *volute casing*. Konsep desain kecepatan rata-rata konstan dan momentum sudut konstan diadaptasi secara luas untuk *volute*. Aliran yang relatif lebih seragam diamati pada *volute* dengan desain kecepatan rata-rata konstan daripada pendekatan sudut konstan. Desain *volute* yang tepat harus memberikan distribusi tekanan yang seragam pada saluran masuk *volute* atau pinggiran saluran keluar *impeller* [4]. Jarak bebas dan radius lidah *volute* berpengaruh pada performa *blower*. Geometri tertentu lidah *volute* dapat mengurangi kebisingan dari *blower* sentrifugal tanpa mengurangi performanya [5]. Selain itu, geometri lidah *volute* berupa sudut lidah *volute* berpengaruh kepada tingkat kebocoran aliran udara yang berimbas kepada efisiensi dan tekanan *blower* [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data laju aliran udara dari variasi sudut lidah *volute*. Secara teoritis, variasi sudut lidah *volute* akan berimbas kepada ukuran radius lidah *volute*. Nilai radius ini digunakan untuk mengetahui luas penampang yang dilewati udara, sehingga dapat diperhitungkan laju aliran udara yang dihasilkan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif kuantitatif. Metode penelitian deskriptif kuantitatif merupakan metode penelitian yang menggambarkan suatu objek atau subjek yang diambil berdasarkan data yang ada di lapangan dan fakta yang sebenarnya. Pendekatan menggunakan metode perancangan yang digagas oleh Pugh. Alur metode penelitian ditampilkan pada gambar 1.

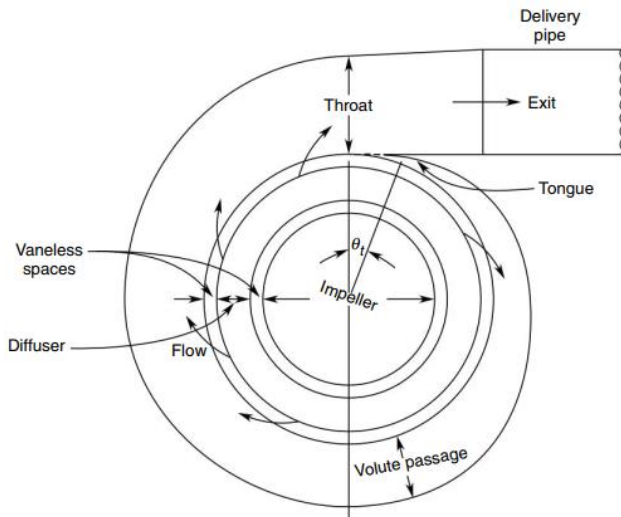


Gambar 1. Alur Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan desain pada *volute*, dilanjutkan dengan perhitungan radius lidah *volute* berdasarkan variasi sudut lidah *volute* 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75°. Semakin besar sudut lidah *volute*, semakin besar laju aliran udara yang dihasilkan [7]. Radius lidah *volute* digunakan untuk menghitung luas penampang yang dihasilkan. Simulasi menggunakan perangkat lunak *SolidWork* dilakukan untuk mengamati laju aliran udara yang keluar melalui lidah *volute* berdasarkan variasi sudut lidah *volute*.

2.1 Desain Volute

Volute mempunyai bentuk seperti rumah keong yang mempunyai laluan berbentuk spiral dengan penampang yang meluas pada sisi buang [8]. Struktur *volute* memiliki impact yang signifikan terhadap performa pompa sentrifugal [9]. Pompa sentrifugal dan *blower* sentrifugal memiliki bentuk serupa berupa rumah keong. Terdapat beberapa parameter penting dalam desain *volute* yaitu diameter sisi keluar *impeller* [7], radius *volute* [7], lebar *volute* [7], sudut lidah *volute* [7] [10], bentuk penampang *volute* [10] [11], dan geometri lidah *volute* [6]. Parameter – parameter tersebut mempengaruhi efisiensi *blower*, aliran dalam *casing*, dan tingkat kebisingan [12]. *Volute* ini diasumsikan memiliki distribusi kecepatan konstan. Asumsi tersebut didasarkan pada salah satu syarat mendapatkan efisiensi yang tinggi, perlu untuk mempertahankan kecepatan fluida yang konstan dalam saluran *volute* pada parameter desain [10]. Hal tersebut juga akan memberikan distribusi tekanan statis yang seragam di sekitar *impeller*, tampaknya karena fluks massa yang konstan pada setiap penampang *volute* tertentu [8]. Identitas penampang *volute* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Volute Casing[8]

Survei eksperimental pada kompresor sentrifugal tunggal telah dilakukan sebelumnya, bahwa meningkatkan sudut lidah *volute* dan mengurangi radius *volute casing* dapat menurunkan efisiensi serta peningkatan laju aliran fluida [13][14]. Celah antara *impeller* dan dengan lidah *volute* merupakan salah satu parameter yang dapat memberikan dampak penurunan kebisingan pada *blower* sentrifugal [15]. Celah ini sering disebut dengan jarak bebas lidah *volute*. Kebocoran yang mungkin terjadi pada kesalahan desain bagian ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi *blower*[16]. Analisis aerodinamika yang pernah dilakukan menunjukkan adanya korelasi antara struktur *volute* dengan kecepatan fluida. Kecepatan fluida semakin meningkat pada bagian dekat permukaan *impeller* dan pada bagian antara ujung bawah *impeller* dengan *volute* [17].

Sebuah fluida yang bergerak memiliki tekanan (*pressure*) dan kecepatan (*kecepatan aliran udara*). Berdasarkan penelitian terdahulu, seperti yang sebelumnya telah dijelaskan, semakin besar sudut lidah *volute* maka semakin besar pula laju aliran udara yang dihasilkan. Fluida memiliki persamaan yang relevan dengan luas area yang dilewati, hal tersebut direpresentasikan dengan nilai debit, dan dinyatakan dalam persamaan (1).

$$Q = A \times V \tag{1}$$

Dimana :

Q = laju aliran udara (*flow rate*) (m^3/s)

A = luas area (m^2)

V = kecepatan aliran udara (m/s)

Desain *volute* memerlukan perhitungan pada diameter dasar untuk mendapatkan dimensi penampang *volute*, dengan diameter *impeller* sebesar 742mm. ditampilkan pada persamaan (2).

$$r_3 = \frac{d_2}{2} + \left(\frac{d_2}{2} \times 0,1 \right) \tag{2}$$

Dimana :

r_3 = radius dasar *volute* (mm)

d_2 = diameter luar *impeller* (mm)

Setelah mendapatkan diameter dasar maka dilanjutkan menghitung *volute boundary* dengan $b_3 = 465mm$ (sudut lidah *volute* 75°) dan $K=35$ pada persamaan (3).

$$r_4 = r_3 \exp \left\{ \frac{\theta}{360} \cdot \frac{Q}{Kb_3} \right\} \tag{3}$$

Dimana :

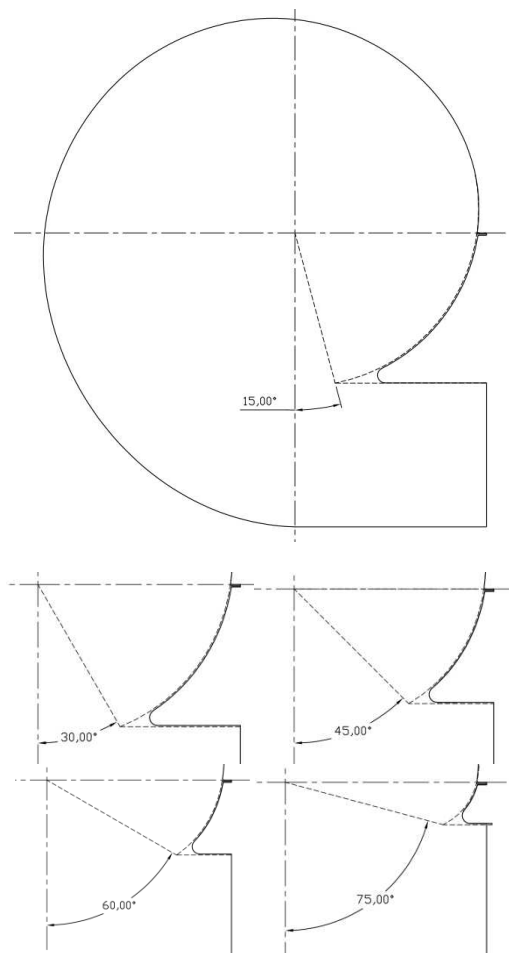
r_4 = radius *boundary volute* (mm)

r_3 = radius dasar *impeller* (mm)

b_3 = lebar *volute casing* (mm)

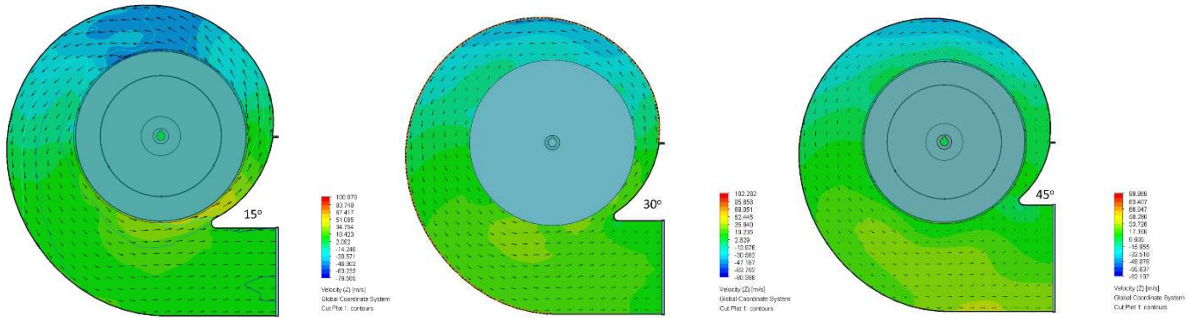
K = konstanta

Persamaan diatas dapat memberikan informasi yang cukup sebagai parameter simulasi. Desain *volute* dengan variasi sudut lidah *volute* terlihat pada Gambar 3.

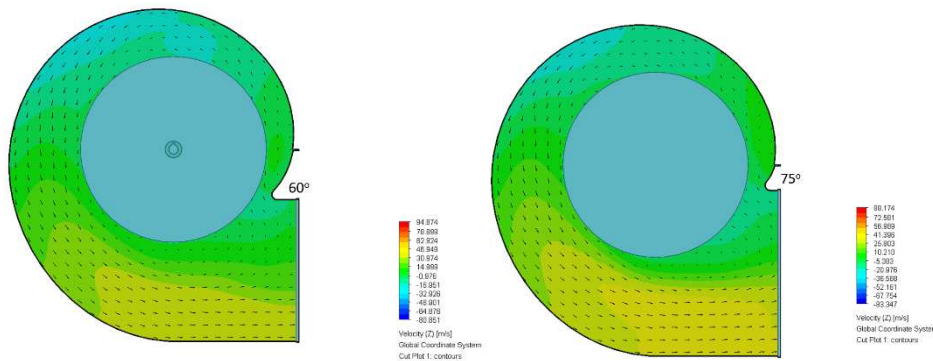


Gambar 3. Desain Volute dengan Variasi Sudut Lidah Volute 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75°

Desain *Volute* pada gambar 3 menunjukkan adanya korelasi perbedaan sudut lidah *volute* terhadap area penampang *volute*, dimana semakin besar sudut lidah *volute*, maka semakin besar area penampang *volute* yang terbentuk dan mempengaruhi kecepatan aliran fluida yang melewatinya [6].



Gambar 4. Hasil Simulasi Aliran untuk Sudut Lidah *Volute* 15°, 30°, dan 45°



Gambar 5. Hasil Simulasi Aliran untuk Variasi Sudut Lidah *Volute* 60°, dan 75°

2.2 Simulasi *Volute*

Simulasi *volute* dilakukan berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan persamaan (1), (2), dan (3). Simulasi mencakup gerakan aliran fluida berupa udara tak mampu mampat yang melintasi *volute casing* dengan asumsi faktor friksi pada dinding *volute* diabaikan. Variasi sudut lidah *volute* yang digunakan sebesar 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75°. Parameter simulasi teramati pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter simulasi aliran dalam *volute*

Bagian	Dimensi
Bentuk Penampang <i>Volute</i>	<i>Square</i>
Diameter poros	38mm
Diameter hub	57mm
Diameter sisi hisap <i>impeller</i>	495mm
Diameter sisi keluar <i>impeller</i>	741,4mm
Tebal sudu sisi masuk <i>impeller</i>	286mm
Tebal sudu sisi keluar <i>impeller</i>	264mm
Radius dasar <i>volute casing</i>	408mm
Kecepatan putar	1450rpm
Flowrate	9,72m ³ /h
Diameter sisi hisap <i>impeller</i>	495mm
Diameter sisi keluar <i>impeller</i>	741,4mm
Tebal sudu sisi masuk <i>impeller</i>	286mm

oleh *volute* di sekitarnya. Distribusi tekanan tidak seragam di sekitar *impeller* yang disebabkan oleh *volute*-nya mampu menimbulkan dorongan radial yang tidak diinginkan [18]. Jika luas *volute* terlalu kecil dibandingkan dengan nilai optimum, efisiensi puncak akan sedikit menurun dan bergerak ke arah kapasitas yang lebih rendah. Jika luas *volute* terlalu besar, efisiensi puncak mungkin akan meningkat tetapi bergerak ke arah kapasitas yang lebih tinggi. *Volute* dengan lebar lebih besar dari *impeller* lebih efisien dibandingkan dengan *volute* yang memiliki lebar yang sama. Kisaran lebar *volute* yang dioptimalkan bervariasi dari 1,25 hingga 2 kali lebar *impeller*. Hal ini karena lebar yang lebih besar memungkinkan ekspansi lateral, yang cukup alami dan logis[19].

Berdasarkan hasil perhitungan radius *boundary volute* dengan variasi sudut lidah *volute*, didapatkan nilai luas penampang *volute* seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

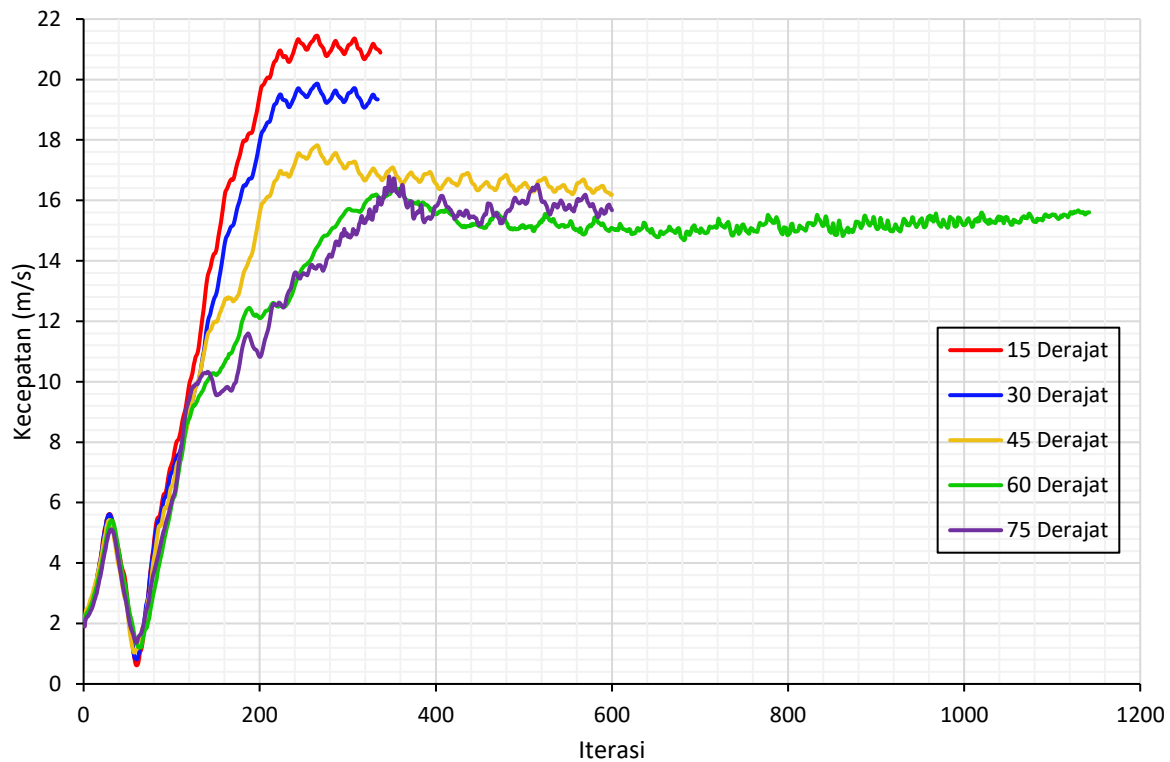
Tabel 2. *Volute boundary*

r_4 (m)	θ (°)	A (m ²)
0,419	15°	0,172
0,430	30°	0,192
0,441	45°	0,222
0,453	60°	0,262
0,465	75°	0,307

3. Hasil dan Pembahasan

Kinerja *volute* bergantung pada kualitas aliran yang diteruskan dari *impeller* atau *diffuser*, kinerja *impeller* atau *diffuser* juga bergantung pada lingkungan yang diciptakan

Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin besar sudut lidah *volute*, maka semakin besar luas penampang yang dihasilkan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan dengan



Gambar 6. Grafik Kecepatan Aliran Udara untuk Masing – Masing Variasi Sudut Lidah *Volute*

variasi sudut lidah *volute* 20°, 25°, dan 30°, laju aliran udara cenderung meningkat ke arah sudut lidah *volute* yang semakin besar [7]. Hasil simulasi aliran terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5, dimana aliran udara cenderung semakin meningkat dengan seiring dengan sudut lidah *volute* yang semakin besar. Teramati juga celah atau *clearance* (ditunjukkan oleh panah hitam) antara lidah *volute* dengan *impeller* semakin besar. Efek dari semakin besarnya *clearance* juga berpengaruh kepada laju aliran udara yang melewati *volute* dan efisiensi secara keseluruhan, dimana 15% *clearance* dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan mencapai 89,21% [15]. Untuk mengamati lebih detail terkait kecepatan aliran udara yang dihasilkan, data kuantitatif dari simulasi aliran diolah menjadi grafik kecepatan aliran udara untuk masing – masing variasi sudut lidah *volute*.

Simulasi aliran dengan luaran kecepatan aliran udara dilakukan hingga kondisi konvergen tercapai. Tercatat jumlah iterasi hasil simulasi yang berbeda – beda untuk mencapai kondisi konvergen pada masing – masing variasi sudut. Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 6.

Data yang diambil berdasarkan kecepatan aliran udara terhadap jumlah iterasi. Jumlah iterasi menunjukkan tingkat konvergensi hasil simulasi, sehingga dapat dipastikan bahwa simulasi berhasil dilakukan. Teramati bahwa pada sudut lidah *volute* 15° kecepatan aliran udaranya merupakan yang tertinggi dengan nilai kecepatan maksimum 21,35m/s. Sudut lidah *volute* 30° mempunyai nilai kecepatan aliran udara maksimum sebesar 19,75 m/s. Sudut lidah *volute* 45° tercatat nilai kecepatan aliran udara maksimum sebesar 16,68m/s. Sudut lidah *volute* 60°, kecepatan aliran udara maksimum sebesar 15,66m/s. Sedangkan Sudut lidah *volute* 75°

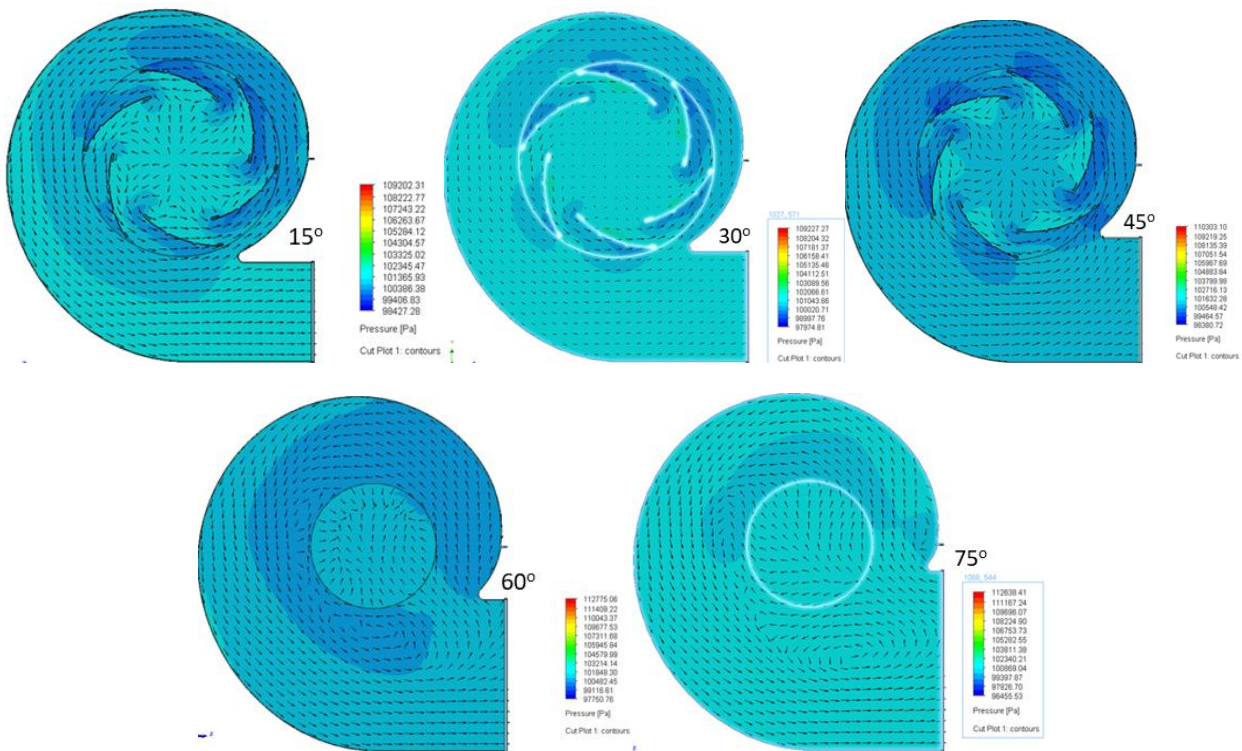
kecepatan aliran udara kembali meningkat dengan nilai maksimum sebesar 16,18m/s

Kecepatan aliran udara ini semakin menurun seiring bertambahnya nilai sudut lidah *volute*. Semakin besar sudut lidah *volute*, maka semakin besar celah *clearance* dan luas penampangnya [7][15]. Akibat dari luas penampang yang semakin besar, kecepatan aliran udara yang terhitung menjadi semakin bernilai rendah. Hal tersebut relevan dengan persamaan (1) yang menyatakan bahwa kecepatan aliran fluida berbanding lurus dengan laju aliran fluida, namun berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Untuk mendapatkan gambaran laju aliran fluida pada masing – masing variasi sudut, hasil perhitungan laju aliran fluida ditampilkan dalam bentuk tabel yaitu Tabel 3.

Tabel 3. Laju Aliran Udara pada *Volute*

$\theta(^{\circ})$	A(m ²)	V _{avg} (m/s)	Q(m ³ /s)	Koefisien Laju Aliran
15°	0,172	21.01	3.624	0.007927
30°	0,192	19.41	3.736	0.00776
45°	0,222	16.17	3.601	0.007111
60°	0,262	15.49	4.062	0.007601
75°	0,307	15.79	4.860	0.008632

Tabel 3 memperlihatkan bahwa kecepatan aliran udara yang digunakan sebagai dasar perhitungan merupakan kecepatan aliran udara rata – rata pada kondisi simulasi konvergen. Laju aliran udara terendah tercatat sebesar 3,624m³/s dan yang tertinggi sebesar 4,860m³/s. Mulai dari sudut 15° sampai 45°, laju aliran fluida tercatat tidak berubah signifikan. Laju aliran udara mulai berubah signifikan pada sudut 60° hingga 75°, dimana terjadi kenaikan sebesar



Gambar 7. Simulasi Tekanan untuk Masing – Masing Variasi Sudut Lidah *Volute*

19,64%. Koefisien laju aliran cenderung meningkat seiring bertambahnya nilai sudut lidah *volute*. Peningkatan laju koefisien tidak signifikan teramati pada simulasi ini. Meskipun demikian, fenomena ini menunjukkan bahwa luas penampang *volute* yang besar berdampak pada kecenderungan ke arah kapasitas yang lebih besar [7][10][12].

Secara teoritis, kecepatan aliran fluida akan berkebalikan dengan tekanan [12]. Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi aliran dengan terhadap tekanan dinamis yang terbaca. Simulasi Tekanan dengan variasi sudut lidah *volute* menunjukkan bahwa nilai tekanan cenderung meningkat seiring meningkatnya sudut lidah *volute*. Secara berurutan mulai sudut 15° sampai 75°, tercatat tekanan sebesar 1023,454 kPa, 1027,571 kPa, 1027,161 kPa, 1032,141 kPa, dan 1068,544 kPa. Simulasi dilakukan sampai kondisi konvergen tercapai untuk masing – masing variasi sudut. Lonjakan tekanan signifikan teramati pada sudut lidah *volute* 60° ke 75° sebesar 36,403 kPa. Jika diamati, hal sama terjadi terhadap luas area yang terbentuk antara sudut 60° dan 75° dengan kenaikan sebesar 17,37%. Kenaikan nilai sudut lidah *volute* menyebabkan semakin besarnya luas area *volute* yang dihasilkan, akibatnya nilai tekanan cenderung naik [3]. Berdasarkan hal tersebut, kecepatan aliran udara di dalam *volute* dengan tekanan yang dihasilkan memiliki korelasi yang berkebalikan.

4. Kesimpulan

Sudut lidah *volute* dapat mempengaruhi desain *volute* terutama pada luas area *volute*. Secara teoritis terbukti bahwa semakin besar sudut lidah *volute*, maka semakin besar pula

luas area penampang *volute* yang dihasilkan. Hal tersebut menyebabkan kecepatan aliran udara semakin rendah, namun disisi lain laju aliran fluida yang melewati *volute* dan nilai tekanan yang teramati semakin tinggi. Semakin tinggi laju aliran udara, aliran tersebut memiliki kecenderungan koefisien laju aliran yang semakin besar pula.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Institusi Politeknik Negeri Cilacap, dalam membantu menyelesaikan dari awal hingga tahap akhir pembuatan jurnal

Daftar Pustaka

- [1] Kshirsagar S.R, Nandgude Shubham, Dipak Salunkhe, and Pooja Agar, "DESIGN ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CENTRIFUGAL BLOWER," in *Proceedings of National Level E-Conference on "Science & Technology,"* Maharashtra, Jun. 2020, pp. 54–57.
- [2] N. Oji, S. A. Okaiyeto, and P. Nyam, "Performance Evaluation of a Hybrid Dryer for Grains," *Journal of Engineering Research and Reports*, vol. 27, no. 3, pp. 458–467, Mar. 2025, doi: 10.9734/jerr/2025/v27i31445.
- [3] E. M. Mina, R. N. Abdelmessih, and M. E. Matbouly, "Reduction of radial thrust by using triple-volute casing," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 721–729, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.asej.2019.03.003.
- [4] G. Pramuhadi, Z. M. Ayu, and A. J. Sidik, "Desain dan Analisis Kinerja Air Blower Kipas Sentrifugal untuk Pengendalian Gulma," *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, vol. 3, no. 2, p. 183, Jun. 2024, doi: 10.23960/jabe.v3i2.9245.
- [5] W. Hao *et al.*, "Reduction of aerodynamic noise of single-inlet centrifugal fan with inclined volute tongue,"

- Measurement and Control (United Kingdom)*, vol. 53, no. 7–8, pp. 1376–1387, Aug. 2020, doi: 10.1177/0020294020932360.
- [6] X. Dong and H. S. Dou, “Effects of bionic volute tongue bioinspired by leading edge of owl wing and its installation angle on performance of multi-blade centrifugal fan,” *Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol. 14, no. 4, pp. 1031–1043, 2021, doi: 10.47176/jafm.14.04.31987.
- [7] R. Lu, J. Yuan, L. Wang, Y. Fu, F. Hong, and W. Wang, “Effect of volute tongue angle on the performance and flow unsteadiness of an automotive electronic cooling pump,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, vol. 235, no. 2, pp. 227–241, Mar. 2020, doi: 10.1177/0957650920915306.
- [8] S. M. . Yahya, *Turbines compressors and fans*, 4th ed. Tata McGraw-Hill Education, 2011.
- [9] C. Gao, C. Li, X. Luo, X. Wu, and G. Zhu, “Effect of volute structure on the performance of double suction centrifugal pump,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics (IOP Publishing), 2024. doi: 10.1088/1742-6596/2854/1/012015.
- [10] A. Chernobrova, O. Moloshnyi, and P. Szulc, “Influence of Volute Casing Design Methods and Changes in Geometric Parameters on Pump Operation,” *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 18, Sep. 2024, doi: 10.3390/en17184590.
- [11] Z. Shen, W. Chu, S. Yan, X. Chen, Z. Guo, and Y. Zhong, “Study of the performance and internal flow in centrifugal pump with grooved volute casing,” *Modern Physics Letters B*, vol. 34, no. 25, Sep. 2020, doi: 10.1142/S0217984920502681.
- [12] H. Effendi and F. Huda, “Review Pengoptimalan Desain Bagian Kritis Blower Sentrifuga; Menggunakan Finite Element Analysis (FEA) dan Computational Fluid Dynamic (CFD),” in *Symposium Nasional RAPI XXI*, Surakarta, 2023, pp. 345–352.
- [13] A. Gjeta, “Design Centrifugal Fan Volute with CFD Numerical Simulation Using OpenFOAM-Matlab Coupling,” *International Scientific Journal “Industry 4.0,”* no. 6, pp. 297–301, 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/339213553>
- [14] A. Gjeta, “Effect of Clearance Gap in Spiral Casing Design of a Centrifugal Fan with Optimized Impellers,” *European Journal of Engineering Research and Science*, vol. 4, no. 9, pp. 181–185, Sep. 2019, doi: 10.24018/ejers.2019.4.9.1533.
- [15] K. T. Myaing, “Numerical Simulation of Clearance Effect between Impeller and Volute Casing for Centrifugal Blower,” *International Journal of Recent Innovations in Academic Research*, vol. 3, no. 3, pp. 99–109, 2019, [Online]. Available: www.ijriar.com99
- [16] G. J. Zhu, X. Y. Bo, J. J. Feng, and G. K. Wu, “Effect of clearance jet on aerodynamic performance of centrifugal fan,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Oct. 2019, pp. 1–9. doi: 10.1088/1757-899X/657/1/012003.
- [17] J. Huang, Y. Xiang, and ; Chaojun Jiang, “Research on Aerodynamic Noise Calculation and Noise Reduction Design of Multi-blade Centrifugal Fan,” in *Proceeding of the 23rd International Congress on Acoustics*, Aachen, Sep. 2019, pp. 1890–1897.
- [18] Y. Huang, B. Li, H. Chen, W. Yang, Q. Xiao, and J. Wang, “Analysis of Performance and Noise on an Asymmetric Double-Suction Fan with Non-Uniformity Inlet Conditions,” *Machines*, vol. 13, no. 6, p. 463, May 2025, doi: 10.3390/machines13060463.
- [19] A. J. Stepanoff, *Centrifugal and Axial Flow Pumps 2ns Edition*, 2nd ed. Krieger Publishing Company, 1957.