

INVESTIGASI BENTUK VARIASI DRAFT TUBE PADA TURBIN BANKI TERHADAP ALIRAN SUDU BERBASIS CFD

Sirojuddin^{1*}, Fadilah Chaerul Iman¹, Darwin Rio Budi Syaka¹

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
*sirojuddin@unj.ac.id, fadilahchaeruliman040997@gmail.com

Abstrak

Peningkatan effisiensi merupakan hal yang sangat penting dalam turbin air Banki. Salah satu cara meningkatkan effisiensi adalah dengan memasang draft tube sehingga energi kinetik yang keluar dari turbin dapat diubah menjadi energi tekanan. Tujuan riset ini adalah untuk menginvestigasi variasi bentuk draft tube dari 5 varian. Mulai dari varian DT-1, DT-2, DT-3, DT-4 dan DT-5. Gambar dibuat dalam bentuk 2D menggunakan AutoCad dan gambar desain yang sudah di matangkan di software 2D di buat dalam bentuk 3D kemudian disimulasikan dalam software CFD. Debit air masuk yang digunakan adalah sebesar $0,0333 \text{ m}^3/\text{s}$, tinggi jatuh 5,5 m. Dari hasil simulasi CFD SolidWork Flow Simulation diperoleh varian DT-3 dan DT-5 yang terbaik dimana aliran pada sudu runner tingkat 1 dan tingkat 2 menghasilkan flow trajectory yang sangat baik dan tidak membentur poros. Pada Varian DT-3 walau pada varian DT-5 masih membentur poros. Daya yang diperoleh berdasarkan gaya drag pada sudu berturut-turut adalah 87,1% dan 88,4%.

Kata kunci : variasi *draft tube*, CFD simulation, *flow trajectory*, aliran sudu, effisiensi.

1. Pendahuluan

Turbine air Banki adalah jenis turbin cross-flow, biasa digunakan pada pembangkit listrik skala kecil, untuk daerah terpencil yang belum ada pasokan listriknya. Aliran air yang menggerakkan turbin dapat berupa : saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air.

Suwignyo, (2018) menyatakan bahwa turbin cross-flow merupakan jenis dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro atau PLTMH (daya terbangkit < 200 kW) dan menurut Kementerian ESDM RI. Peraturan No.8 (2011) pembangkit listrik skala mikro hidro (PLTMH) yakni bila daya yang dibangkitkan dibawah 1 MW.

Bansal, R.K. (2005) menerangkan bahwa Draft tube merupakan suatu pipa atau saluran yang secara bertahap meningkatkan area yang menghubungkan saluran keluar runner ke alam. ini digunakan untuk mengeluarkan air dari pintu keluar turbin ke alam. salah satu ujung draft tube terhubung ke kebagian luaran aliran akhir turbin. Darft tube itu sendiri memiliki dua fungsi utama yakni; 1. Sebagai saluran yang dapat menkonversi energi kinetik (velocity) menjadi energi tekanan atau potensial yang akan hilang begitu saja jika tidak di gunakannya draft tube. 2. Untuk memasang runner turbin di atas atau di bawah permukaan air untuk menghindari kavitas, tanpa mempengaruhi head bersih.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Marsan, K. (2007) menyimpulkan bahwa nilai drag pada sudu runner turbin cross flow berbanding lurus terhadap perubahan harga outlet angle dan angle of

attack. penelitian ini hanya membahas tentang bagaimana pengaruh jenis bentuk sudu secara khusus, dan tidak membahas mengenai hubungannya terhadap draft tube. Sementara White, M. (2017) Menerangkan Drag Force pada suatu permukaan plat akan sangat menguntungkan tetapi dalam beberapa kasus yakni pada bentuk airfoil gaya drag merupakan gaya yang harus lebih kecil dari gaya angkat.

Palde, U.J., (1972) dalam bukunya menerangkan bahwa sudut diffuse draft tube merupakan bentuk geometri yang signifikan mempengaruhi surging atau karakteristik aliran balik yang terjadi pada aliran. Surging tersebut dapat di minimalisir dengan mengekspansi sudut equivalen sekitar 15 derajat melalui panjang draft tube dan resonansi diketahui dengan frekuensi alamiah fitur pembangkit lainnya dapat di lihat dengan hasil yang telah muncul. Resonansi tersebut dapat di cegah dengan memilih komponen dengan geometri design draft tube yang tepat.

Pada penelitian yang di lakukan oleh Choi & Son, (2012) telah di ketahui bahwa Bentuk pada draft tube mempengaruhi aliran sudu runner pada tingkat 1 dan tingkat 2 runner. Penelitian ini tidak memvariasikan tinggi draft tube, tetapi hanya memvariasikan sudut diffuse draft tube pada ketinggian yang sama.

Reddy, et al (1996) melakukan penelitian eksperimental mengenai darft tube pada turbin cross-flow, di dapat bahwa ukuran dan bentuk draft tube yang tepat dapat memberikan efek yang positif dalam peningkatan turbin performa pada setiap head turbin. pada pengujian saat kecepatan putar mencapai kecepatan tertentu penggunaan darft tube dengan

ukuran 300 mm pada head 6 m memiliki keluaran daya output yg tertinggi dibandingkan dengan jenis draft tube lainnya pada head yang sama. Penelitian ini tidak memvariasikan sudut diffuse draft tube tetapi hanya memvariasikan tinggi draft tube.

Subekti, R (2012) meneliti tentang optimasi draft tube Menemukan bahwa hasil simulasi aliran secara numerik atau CFD memiliki validitas yang baik hal ini terbukti dengan perbandingan nett mass flow dan mass flow rate pada sisi inlet draft tube yakni $1,091 \times 10^{-6}$ % hal ini masih sangat baik karena masih di bawah 1 %. Tetapi penelitian ini tidak menunjukan seberapa efisiensi yang bisa di dapatkan dikarenakan penelitian hanya fokus terhadap perbandingan tekanannya saja.

Jeon, et al (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh bentuk variasi draft tube pada turbin francise, penelitian ini dilakukan dengan metode CFD pada aplikasi ANSYS, variasi memiliki 3 bentuk yang berbeda. Dilihat dari ilustrasi yang tertera pada jurnal bentuk variasi yakni saluran tunggal (1), dua percabangan (2) dan 3 percabangan (3). ketiga variasi tersebut di lihat berdasarkan vortex pada aliran dan di dapat pada draft tube jenis B dapat menghilangkan pengaruh vortex pada dinding draft tube. Penelitian ini fokus pada penghilangan vortex tetapi tidak membahas mengenai gaya drag akibat bentuk draft tube.

Patil & Raghu. (2014) melakukan penelitian mengenai draft tube dengan melihat efisiensi draft tube jenis conical draft tube dengan 3 variasi sudut diffuse yang berbeda dan 4 Ratio L/D yang berbeda. di dapat dari hasil simulasi menggunakan CFD efisiensi draft tube tipe conical darft tube dengan varian L/D = 13 dan sudut diffuse 6 derajat mencapai efisiensi yang maksimum yakni sebesar 99.8% dan juga ditemukan bahwa varian dengan ratio L/D yang bernilai lebih dari 13 cenderung akan mengalami masalah kavitas. Dalam penelitian ini metode pengambilan nilai efisiensi dilakukan dengan tidak langsung menghitung efisiensi performa turbin secara keseluruhan tetapi hanya menghitung efisiensi draft tube itu sendiri dengan melihat nilai kecepatan pada inlet dan outlet draft tube.

Tian, et al (2015) melakukan percobaan simulasi draft tube pada aplikasi CFD dengan menambahkan Vortex Generator. Dari hasil penelitian yang di lakukan, mereka menemukan bahwa penambahan Vortex Generator memiliki dampak yang signifikan pada performa turbin. peningkatakan performa mencapai 4,3% dengan head dibawah 5 m sedang pada head yang lebih besar peningkatakan efisiensi hanya mencapai 1.5%. Vortex Generator dengan sirip yang relatif kecil dapat mampu memperbaiki sifat aliran sedangkan Vortex Generator yang lebih besar malah justru akan mengakibatkan gangguan akibat vortex yang akan merusak. Penenlitian ini dilakukan dengan menggunakan feature Vortex Generator tetepai tidak membahas performa turbin di tinjau dari

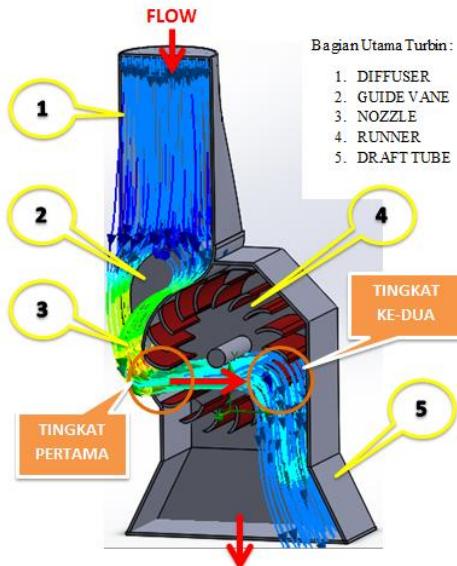
gaya drag pada sudu ataupun kecepatan pada inlet dan outlet draft tube.

Agarwal, et al (2017) melakukan percobaan bentuk draft tube yang terdiri dari 3 jenis berbeda yakni conical type, curved-elbow type dan Bell Mouth Type. Ketiga jenis tersebut mewakili bentuk yang berbeda-beda. Percobaan dilakukan melakukan pengujian aliran dengan menggunakan *CFD*. Selain itu di lakukan pengujian eksperimental. Dengan membandingkan hasil kedua metode analisa tersebut hasilnya adalah keduanya memiliki sedikit perbedaan diakibatkan adanya faktor error pada software yang digunakan dan masih dalam batas normal. Di samping itu hasil dari pada analisa draft tube tersebut menunjukan hasil efisiensi yang cukup signifikan yakni conical draft tube dengan sudut diffuse 8° memiliki efisiensi sebesar 84,4%, sedang sudut diffuse 3° dengan parameter yang sama memiliki efisiensi lebih rendah, yaitu sebesar 77,4%. Pada penelitian di simpulkan bahwa sebaiknya conical draft tube di sarankan pada sudut $7-8^\circ$ lebih dari itu di khawatirkan akan mengakibatkan terjadinya back flow dan masalah-masalah kavitas. Penelitian ini hanya berfokus pada variasi bentuk draft tube secara umum dengan tidak memvariasikan tinggi draft tube.

Penelitian mengenai investigasi jenis draft tube dengan simulasi aliran menggunakan metode CFD di lakukan oleh Chaman Pal, et al (2018) mencoba mensimulasikan 2 jenis draft tube berbeda yakni simple elbow draf tube (varian 1) dan mixed elbow draft tube (varian 2). pada varian 1 bentuk profil outlet draft tube berbentuk bulat sedangkan pada varian 2 berbentuk persegi. kedua nya di lakukan uji simulasi berdasarkan efisiensi turbin mengacu pada tekanan dan kecepatan aliran air sehingga di dapatkan hasil bahwa draft tube varian 2 dengan jenis mixed elbow draft tube memiliki efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis simple elbow draft tube. Penelitian ini tidak menjelaskan bagaimana nilai efisiensi dari hasil simulasi diambil.

Riset ini adalah untuk menginvestigasi bentuk draft tube terhadap aliran air pada sudu tingkat 1 dan tingkat 2 runner turbin bankie menggunakan software CFD SolidWorks Flow Simulation untuk melihat konfigurasi aliran airnya dan untuk mengetahui bagaimana daya yang diperoleh berdasarkan gaya drag pada sudu menjadi maksimal pada beberapa variasi ukuran dan bentuk draft tube pada turbin cross-flow yang dibuat dengan memvariasikan ketinggian darft tube dan sudut diffuse draft tube berdasarkan patokan diameter runner. Sementara jarak inlet draft tube terhadap runner dibuat $0,7 D_1$ (Diameter Runner).

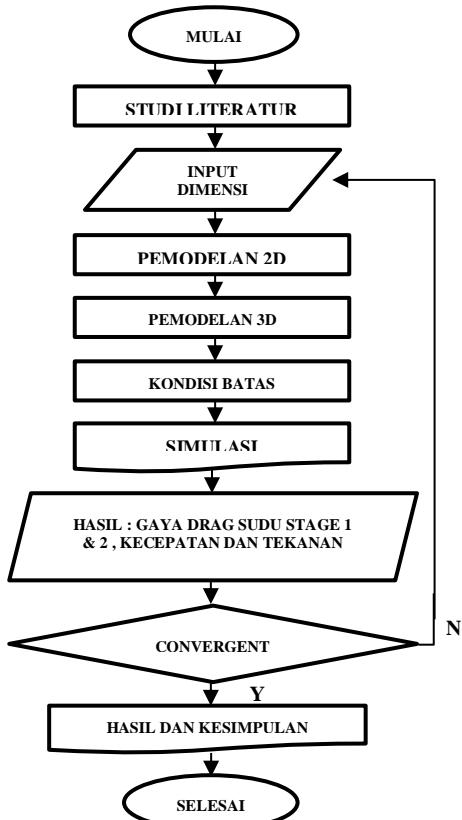
Bagian utama turbin banki dapat di lihat seperti pada Gambar 1 dibawah ini :



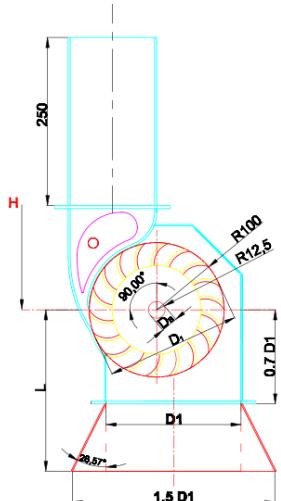
Gambar 1. Bagian Utama Turbin

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perancangan, Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta menggunakan software AutoCAD dan SolidWork Flow Simulation. Diagram alir dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

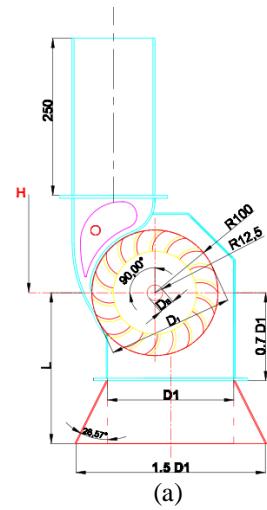


Gambar 2. Diagram Alir

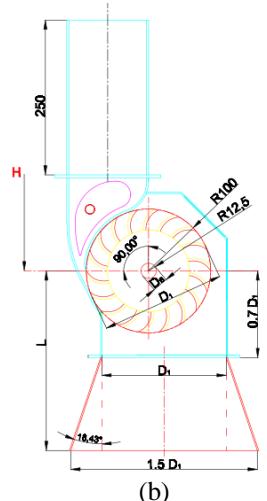


Gambar 3. 2 Dimensi Turbin

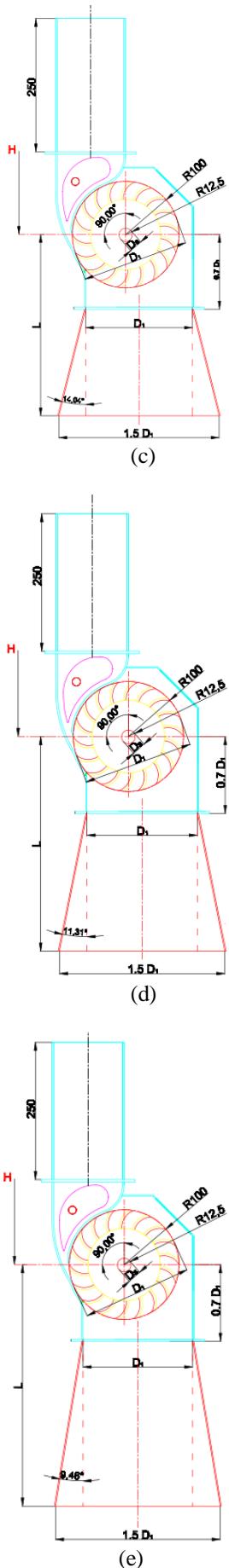
Desain geometri 2D dibuat di Autocad, sedangkan 3D di Solidworks. Simulasi aliran dijalankan dalam simulasi aliran CFD Solidworks. Model Draft Tube dibuat dalam 5 varian dengan tinggi dan sudut diffuse yang berbeda seperti pada gambar 3 dan gambar 4. Di bawah ini :



(a)



(b)



Gambar 4. 2D Varian (a) DT-1, (b) DT-2, (c) DT-3, (d) DT-4, dan (e) DT-5.

Tabel 1. Ukuran Draft Tube

Varian Draft Tube	L/D ₁	L (mm)	Sudut Diffuse
DT 1	1,2	240	26,57
DT 2	1,45	290	18,43
DT 3	1,7	340	14,04
DT 4	1,95	390	11,31
DT 5	2,2	440	9,46

Tabel 2. Parameter Desain dan Data Turbin

Parameter Desain	Data Kalkulasi	Dimensi Desain	Deskripsi
α_1	16°	16°	Sudut Masuk
β_1	30°	30°	Sudut Blade
D ₁	200 mm	200 mm	Diameter Luar Runner
n	18 pieces	18 pieces	Jumlah Sudu Runner
V ₁	10.18 m / s	10.18 m / s	Kecepatan Absolut Air
H	5,5 m	5,5 m	Head
N	468.84 rpm	470 rpm	Putaran Runner
Q	2 m ³ / min	2 m ³ / min	Debit Aliran
D _s	25 mm	25 mm	Diameter poros
S ₁	16 mm	16 mm	Tebal Tembakan Nozzle

Tabel 3. Kondisi Batas Saat Simulasi

Item	Besaran
Tekanan Operasi	101325 Pa
Gravitasi	9,81 m/s ² (Sumbu Y-)
Unit System	SI
Tipe Analisis	Internal
Kavitasi	tidak
Reference Axis	Y
Fluida	Liquid = Water (H ₂ O)
Tipe Aliran	Turbulen dan Laminer
Roughness	0
Wall Thermal Condition	Adiabatic Wall
Temperatur	293,2 K
Turbulence Model	K- ϵ
Turbulence Intensity	2%
Turbulence Length	0.003 m
Turbulence Energy	1 J/Kg
Turbulence Dissipation	1 W/Kg
Rotation	Tidak

Daya teotitis dihitung dengan rumus :

$$P_{th} = m \cdot g \cdot H = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (1)$$

P_{th} adalah daya teoritis (Watt), Q debit (m^3/s), ρ massa jenis (kg/m^3) dan H tinggi jatuh (m). Untuk memperoleh daya turbin (P_d) dalam riset ini menggunakan pendekatan gaya drag (F_d) yang dikalikan dengan kecepatan turbin (U_1). Nilai gaya drag diperoleh dari analisa CFD pada sudu runner tingkat satu dan tingkat dua. Gaya drag dan dayanya dihitung dengan rumus berikut:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (2)$$

$$P_d = F_d \cos \alpha_1 \cdot U_1 \quad (3)$$

$$U_1 = \frac{V_1 \cos \alpha_1}{2} \quad (4)$$

$$V_1 = C \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (5)$$

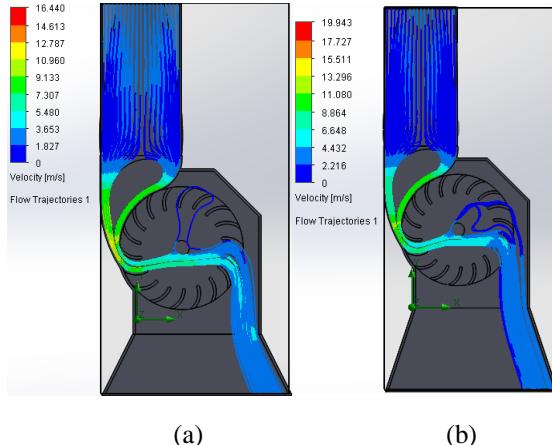
Pendekatan perhitungan dengan gaya drag pada permukaan sudu dilakukan karena perhitungan dengan segitiga kecepatan tidak dapat memprediksi gaya akibat dari bentuk sudu.

Efisiensi Turbin :

$$\eta = \frac{P_d}{P_{th}} \times 100 \% \quad (6)$$

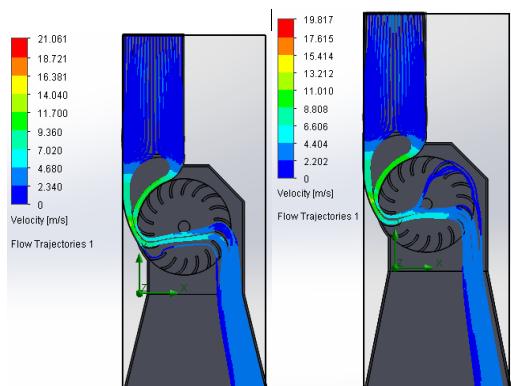
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Simulasi Kecapatan Aliran

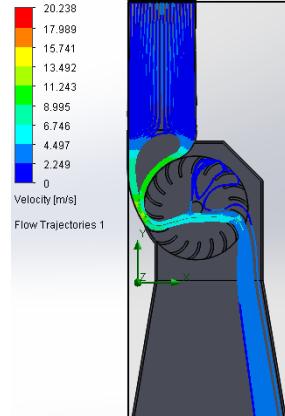


(a)

(b)



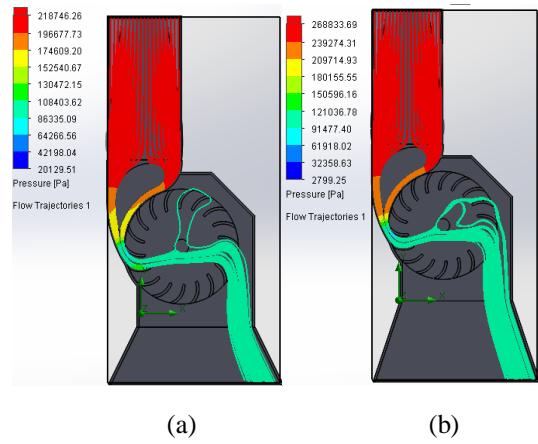
$$(c) \quad (d)$$



(e)

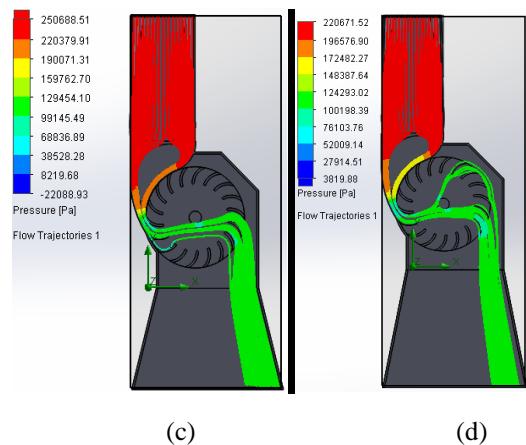
Gambar 5. Kontur Kecepatan (a) Varian DT-1, (b) Varian DT-2, (c) Varian DT-3, (d) Varian DT-4, dan (e) Varian DT-5.

Hasil Simulasi Tekanan Aliran



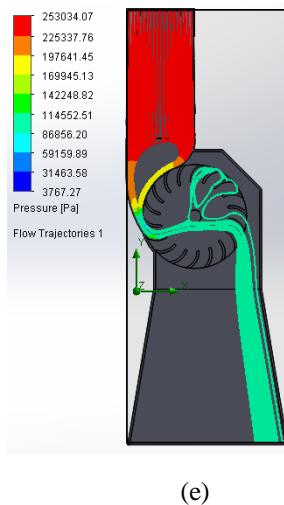
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Gambar 6. Kontur Tekanan (a) Varian DT-1, (b) Varian DT-2, (c) Varian DT-3, (d) Varian DT-4, dan (e) Varian DT-5.

Hasil Simulasi Drag Force

Tabel 4. Gaya Drag pada sudu tingkat pertama dan kedua.

Variasi Draft Tube	DT-1	DT-2	DT-3	DT-4	DT-5
F _d Sudu Tk 1 (N)	243,85	265,94	268,31	213,88	280,85
F _d Sudu Tk 2 (N)	80,34	58,67	59,63	52,34	52,44
Gaya Drag Total	324,19	324,61	328,08	266,23	333,3

Berikut merupakan hasil dari perhitungan berdasarkan persamaan (3) terhadap Drag Force menjadi Daya Drag pada sudu tingkat pertama dan kedua :

Tabel 5. Daya Drag pada sudu tingkat pertama dan kedua.

Variasi Bentuk Draft Tube	Pd (Watt)
DT-1	1548,04
DT-2	1550,05
DT-3	1566,61
DT-4	1271,27
DT-5	1591,54

Efisiensi

Berikut merupakan hasil dari perhitungan berdasarkan persamaan (2) Terhadap daya yang telah didapatkan dari drag force yang ada dalam tiap varian maka Efisiensi turbin dapat dilihat pada table 3, seperti dibawah ini :

Tabel 6. Efisiensi Turbin.

Variasi Lengkung Nozel	P _{th} (Watt)	Efisiensi (%)
DT-1	1798,5	86
DT-2		86,1
DT-3		87,1
DT-4		70,6
DT-5		88,4

Pembahasan

Dari hasil simulasi pada aliran kecepatan dan tekanan Variasi DT-3 dengan tinggi draft tube sebesar 1,7 D₁ dari posisi nozzle memiliki pola aliran yang baik karena tidak menabrak poros. Kelima variasi memiliki aliran yang seragam. Dan tekanan aliran cenderung lebih tinggi dengan kontur dominan berwarna hijau terang pada variasi DT-3 dan DT-4 sementara variasi DT-4 masih menabrak poros. Hasil daya yang diperoleh berdasarkan gaya drag pada sudu tingkat pertama dan kedua di peroleh daya yang paling tinggi yialah pemasangan draf tube pada variasi DT-5 yakni daya mencapai 1591,54 watt dan memiliki efisiensi sebesar 88,4% walaupun aliran masih menabrak poros.

Kesimpulan

Dari simulasi di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pemasangan jenis bentuk suatu draft tube mempengaruhi lintasan aliran air dari tingkat pertama dan kedua dari sudu runner dan apakah masih menabrak poros atau tidak
2. Perbedaan bentuk draft tube juga mempengaruhi kondisi tekanan dan kecepatan aliran pada air dari tingkat pertama dan kedua dari sudu runner dan apakah masih menabrak poros atau tidak
3. Dari segi efisiensi Variasi DT-3 dan DT-5 merupakan varian terbaik dengan efisiensi berturut-turut adalah 87,1% dan 88,4%. Varian DT-3 tidak menabrak poros, sedangkan aliran masih menabrak poros pada Varian DT-5.

Daftar Pustaka:

Agarwal, T., Chaudhary, S., & Verma, S. (2017): *Numerical and Experimental Analysis of Draft Tubes for Francis Turbine*, Indian Journal of Science and Technology, Vol 10(23), DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i23/115566

Chaman Pal, T Gulshan, Shashi, S., Ali Nisbat, & Mundhra Chandan. (2018). Experimental and CFD Analysis of Mixed Elbow Draft Tube and Comparative Analysis with Simple Elbow Draft Tube. *International Journal for Research in Engineering Application and Management*, 04(03), 15–21.

Choi, Y.-D., & Son, S.-W. (2012). Shape Effect of

- Inlet Nozzle and Draft Tube on the Performance and Internal Flow of Cross-Flow Hydro Turbine. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 36(3), 351–357. <https://doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.3.351>
- Bansal, R.K. (2005): A Text Book of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines : *S.I. Units*, New Delhi : Laxmi Publication
- Jeon, J. H., Byeon, S. S., & Kim, Y. J. (2013). Effects of draft tube on the hydraulic performance of a Francis turbine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 52(TOPIC 5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/52/5/052034>
- Menteri Energi Sumber Daya Mineral, Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Listrik Perdesaan Tahun Anggaran 2011. Kementerian ESDM RI. 2011
- Marsan, K. (2007). Koefisien lift dan drag pada sudut runner turbin aliran silang dengan menggunakan british profil 9c7/32,5 c50. *SMARTek*, 5(3), 181–189.
- Palde, U.J. (1972). Influence of Draft Tube Shape on Surging Characteristic. *ASCE National Engineering Meeting ; Atlanta, Georgia*.
- Patil, A., & Raghu, M. S. (2014). Optimum Design of Conical Draft Tube by Analysis of Flow Using CFD Simulation. *Ijltemas*, III(Vii), 99–103.
- Reddy, H., Seshadri, V., & Kothari, D. P. (1996). Effect of draft tube size on the performance of a cross-flow turbine. *Energy Sources*, 18(2), 143–149. <https://doi.org/10.1080/00908319608908755>
- Subekti, R. A. (2012). Analisis Aliran Fluida Dinamik Pada Draft Tube Turbin Air. *Puslit Tenaga Listrik dan Mekatronik – LIPI*.
- Suwignyo, I. M. & A. M. (2018). *Desain dan Pembuatan Turbin Gas*. 90–96.
- Tian, X., Pan, H., Hong, S., & Zheng, Y. (2015). Improvement of hydro-turbine draft tube efficiency using vortex generator. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(7), 1–8. <https://doi.org/10.1177/1687814015595339>
- White, M. F. (2017). Fluid Mechanics : Seventh Audition, New York : The McGraw-Hill Companies, Inc.