

KAJI KOMPUTASIONAL KARAKTERISTIK ALIRAN AIR GAMBUT PADA IMPELLER DAN VOLUTE POMPA SENTRIFUGAL

Arie Julianto¹, Iwan Kurniawan², Kahar Osman³

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau^{1,2}

Faculty of Biosciences and Medical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia³

Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293^{1,2}

IJN-UTM Cardiovascular Centre³

¹ariejulianto14@gmail.com, ²iwan.ktm@gmail.com, ³kaharosman@utm.my

Abstract

In order to fulfil the need for higher water supply, water from the swamp may be used as an alternative. If one is to use the usual clean water centrifugal pump to operate in swampy condition, problem such as decreased in the pump head maybe encountered. This study aims to explore the modifications needed to counter the mentioned problem. Pumps with number of blades from 7 to 10 are tested to obtain optimum operating conditions. Peat water pump design is used in the modelling using Computational Fluid Dynamics technique. The results show that the head deviation difference between CFD and theoretical calculations is -5.85 % for clean water and 0.4% for peat water. For best operating conditions, the number of blade that generates the best result is 10 with head and efficiency of 70.23 m and 0.63 respectively.

Keywords: Peat Water, Computational Fluid Dynamics, Centrifugal Pump, Impeller, Volute

1. Pendahuluan

Pompa sentrifugal adalah sebuah mesin yang berputar dimana aliran dan tekanan dibangkitkan secara dinamik [1]. Pompa sudah banyak digunakan pada perusahaan-perusahaan salah satunya yaitu perusahaan PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) Tirta Siak yang berlokasi didaerah Riau. Di PDAM, air sungai siak dipompa dengan menggunakan pompa *submersible* dan dialirkan kerumah penduduk dengan pompa *distributor*. Pompa *distributor* yang digunakan PDAM adalah pompa sentrifugal EBARA 100 x 80 FSJA dengan konstruksi *impeller* adalah *enclosed*.

Pompa sentrifugal memiliki berbagai komponen, salah satu komponen yang paling mempengaruhi kinerja pompa adalah *impeller*. *Impeller* merupakan komponen yang berputar dan memiliki sudu.

Pompa sentrifugal telah diteliti melalui penelitian sebelumnya dengan berbagai macam parameter yang berbeda yaitu fluida kerja, jumlah sudu dan sudut keluar. Jumlah sudu yang berbeda (8, 16 dan 24) akan mempengaruhi pola aliran, tekanan, *head* dan efisiensi pompa dimana semakin banyak jumlah sudu suatu *impeller* akan membuat tekanan bertambah dan *head* semakin tinggi dan efisiensi meningkat sampai debit maksimal [2, 3]. Pada sudut keluar sudu (45° dan 60°) [4] dan sudut keluar sudu (36.5°, 46.5°, 56.5° dan 66.5°) [3] dimana semakin besar sudut keluar sudu akan membuat *head* dan efisiensi semakin rendah.

Wen Guang Li telah membahas pengaruh fluida kerja pada pompa sentrifugal antara viskositas kinematik (mm²/s) air (1,0087) dengan 4

jenis oli (24,46, 48,48, 90 dan 120) dan densitas yang berbeda dimana oli dengan viskositas kinematik yang lebih besar membuat *head* pompa pada debit yang sama mengalami penurunan *head* dan efisiensi hidrolik dari pada fluida kerja air [5]. Buratto et al membahas pengaruh fluida kerja pada pompa sentrifugal antara viskositas kinematik (mm²/s) air (0,0008926) dengan *virtual fluid (newtonian)* (90,91) dan *tomato paste (non-newtonian)* dimana *virtual fluid* dengan viskositas kinematik yaitu 90,91 mm²/s memiliki *head* yang paling kecil dari pada *tomato paste* dan air pada debit yang sama [6].

Dapat dilihat bahwa adanya hubungan antara pompa sentrifugal dengan fluida kerja dan jumlah sudu. Jika pompa dihubungkan juga dengan meningkatnya kebutuhan air pada daerah Riau maka hal ini sangat bagus untuk diaplikasikan. Dimana diketahui bahwa sumber air pada beberapa daerah Riau sangat sulit dijangkau namun jumlah air gambut pada rawa dan sungai sangat banyak.

Air gambut adalah air permukaan yang banyak terdapat didaerah berawa atau dataran rendah dengan ciri-ciri berwarna coklat kemerahan, keasamannya tinggi dan kandungan zat organik yang tinggi [7]. Air gambut telah diteliti dari penelitian sebelumnya mengenai pengolahan air gambut menjadi air bersih. Pengolahan air gambut dapat dilakukan proses adsorpsi menggunakan adsorben limbah ampas tebu [8] dan lempung desa gema dengan aktivator H₂SO₄ [9] dimana hasil penjernihan menjadi air bersih dengan limbah ampas tebu mengalami perubahan sesuai standar PERMENKES RI yaitu untuk kekeruhan (18,2 NTU; 54,15%), TDS (98 mg/L; 52,65%) dan

kandungan logam Fe (0,128 mg/L; 52,65%). Selanjutnya, hasil penjernihan menjadi air bersih dengan lempung desa gema menunjukkan perbandingan dengan standar PERMENKES RI yaitu untuk pH (10,03%), turbidity (30,98%), TSS (58,59%), TDS (59,28%) dan penurunan warna (30,84%). Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, air gambut masih memiliki perbedaan sifat kimia dengan air jernih. Bagaimana jika air gambut dipompakan dengan pompa sentrifugal untuk keperluan rumah tangga? Apakah akan mempengaruhi *head* dan tekanan pada pompa sentrifugal?

Untuk mengetahui fluida kerja dan jumlah sudu dapat mempengaruhi *head* dan tekanan pada pompa sentrifugal, ada *software* yang tepat digunakan yaitu CFD (*Computational Fluid Dynamics*). CFD telah banyak digunakan pada pompa sentrifugal dimana pompa sering diterapkan dengan metode FVM (*Finite Volume Method*) untuk melihat pola aliran, kecepatan dan tekanan pompa dengan SIMPLE solver [10]. [11] Houlin et al membuktikan bahwa dengan simulasi CFD pada *impeller* pada fluida kerja air dengan jumlah sudu (4, 5, 6 dan 7) dalam kondisi *steady* dengan *moving reference frame* (MRF) dapat dianalisa dan jika dibandingkan antara hasil eksperimental *head* (27,51 m) dan hasil CFD (28.84 m) untuk jumlah sudu 4 menunjukkan hasil yang hampir sama. Dari pola aliran yang ditampilkan CFD dapat diketahui fenomena seperti kavitasi dimana kavitasi sering terjadi pada daerah *inlet* pompa yang bertekanan rendah [12].

Dari parameter yang telah dijelaskan, penelitian ini akan menggunakan air gambut dan air sebagai fluida kerja untuk mengetahui *head*, efisiensi dan tekanan pada pompa rancangan Simon petrus dengan menggunakan *software* CFD lalu membandingkannya dengan hasil teoritis dari saudara Simon petrus. Untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu, pompa sentrifugal air gambut akan divariasikan dengan jumlah sudu 7, 8 dan 10 untuk mengetahui pola *head*, efisiensi dan tekanan.

2. Metode

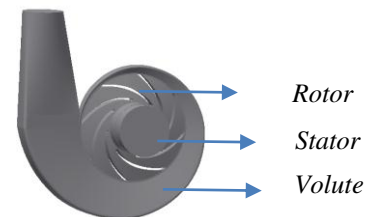
Metodologi dalam penelitian ini menggunakan CFD pada pompa sentrifugal dengan model Ebara 100 x 80 FSJA pada fluida kerja air dan air gambut. Penelitian ini diawali dengan studi literatur pada pompa sentrifugal, air gambut, air dan CFD.

Selanjutnya dilakukan pembuatan skema simulasi. Kemudian dilakukan simulasi secara CFD terhadap pompa sentrifugal dengan fluida kerja air dan terhadap pompa sentrifugal dengan fluida kerja air gambut secara metode *mesh independent solution*. Untuk fluida kerja air, hasil *head* didapatkan maka dapat dibandingkan dengan *head* eksperimental untuk validasi model. Validasi model dapat dilakukan dengan membandingkan pola aliran penelitian ini dengan peneliti lain.

Untuk fluida kerja air gambut akan dilakukan variasi jumlah sudu 7, 8 dan 10 untuk mengetahui *head*, efisiensi dan tekanan pada pompa sentrifugal.

2.1 Studi literatur

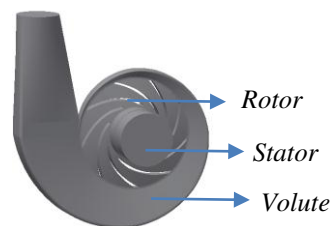
Tahapan penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai pompa sentrifugal dengan fluida kerja air dan air gambut. Pada Gambar 1 dan Gambar 2 dapat dilihat komponen pada pompa sentrifugal air dan air gambut dari rancangan Simon petrus.



Gambar 1. Pompa sentrifugal air

Tabel 1 Speksifikasi *Impeller* dan *Volute* air
Speksifikasi *impeller* untuk fluida kerja air *volume*

Jumlah <i>blade</i>	8
Tebal <i>blade</i>	5 mm
Sudut keluar <i>blade</i>	35°
Sudut masuk <i>blade</i>	19,62°
Diameter 1	100 mm
Diameter 2	207,69 mm
Tinggi <i>Blade</i> 1 (b1)	29,06 mm
Tinggi <i>Blade</i> 2 (b2)	17,57 mm
Speksifikasi <i>volute</i> untuk fluida kerja air <i>volume</i>	
<i>Outlet</i> diameter	80 mm
<i>Degree of tounge</i>	13,70°



Gambar 2 Pompa sentrifugal air gambut

Tabel 2 Speksifikasi *impeller* dan *volute* air gambut
Speksifikasi *impeller* untuk fluida kerja air gambut *volume*

Jumlah <i>blade</i>	9
Tebal <i>blade</i>	4,4 mm
Sudut keluar <i>blade</i>	35°
Sudut masuk <i>blade</i>	19,45°
Diameter 1	100 mm
Diameter 2	203,82 mm
Tinggi <i>Blade</i> 1 (b1)	29,33 mm
Tinggi <i>Blade</i> 2 (b2)	18,08 mm
Speksifikasi <i>volute</i> untuk fluida kerja air gambut <i>volume</i>	

Outlet diameter	80 mm
Degree of tongue	13,97°

Fluida kerja yang akan disimulasi yaitu air dan air gambut. Air gambut telah diuji pada laboratorium Teknik Kimia Universitas Riau didapat hasil perbandingan dengan air yaitu temperatur, densitas dan viskositas dinamik dapat dilihat pada Tabel 3 [13].

Tabel 3 Perbandingan air dan air gambut

Fluida kerja	Temperatur (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas dinamik (kg/m.s)
Air	27	996,6	0,00074
Air gambut	27	910	0,000000945

Setelah simulasi telah selesai dilakukan dapat dihitung head dan efisiensi dengan persamaan [14]:

$$H = \frac{P_{out} - P_{in}}{\rho \cdot g} \quad (2.1)$$

Dimana P_{out} adalah total pressure pada volute outlet, P_{in} adalah total pressure pada impeller inlet, ρ adalah densitas dari fluida dan g adalah percepatan gravitasi. Perhitungan efisiensi hidraulik yaitu

$$\eta_h = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{M \cdot \omega} \quad (2.2)$$

Q adalah debit aliran pompa, H adalah head pompa, M adalah torsi impeller dan ω adalah kecepatan angular. Perhitungan efisiensi volume yaitu

$$\eta_v = \frac{1}{1 + 0,68n_s^{-2/3}} \quad (2.3)$$

Perhitungan efisiensi total yaitu

$$\eta = \left(\frac{1}{\eta_v \eta_h} + \frac{\Delta P d}{Pe} + 0,03 \right)^{-1} \quad (2.4)$$

Pe adalah tenaga air, $Pe = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$ dan $\Delta P d$ adalah disk friction loss.

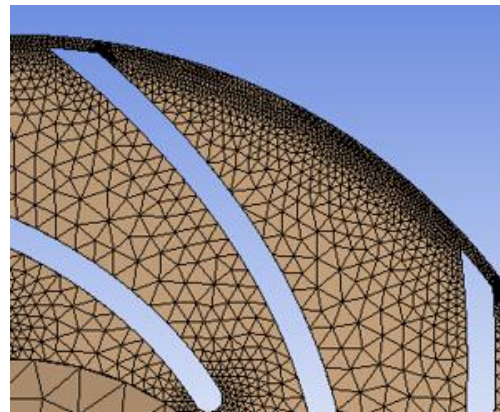
2.2 Mesh Generation

Setelah geometri pompa dimodelkan dengan Autodesk Inventor 2015 Professional versi student, pompa air pada Gambar 3 dan pompa air gambut pada Gambar 4 ditentukan boundary condition dan

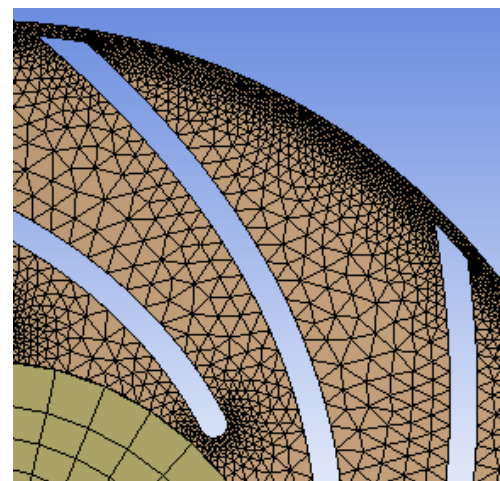
di mesh dengan metode mesh independent solution pada jumlah mesh yang berbeda yang dapat dilihat pada Table 4.

Tabel 4 Mesh pada fluida kerja air dan air gambut

Pompa air	Jumlah cell (Million)
Mesh 1	2,4
Mesh 2	2,600
Mesh 3	2,752
Pompa air gambut	Jumlah cell (Million)
Mesh 1	2,352
Mesh 2	2,473
Mesh 3	2,680

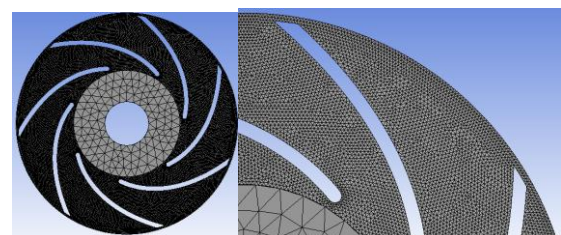


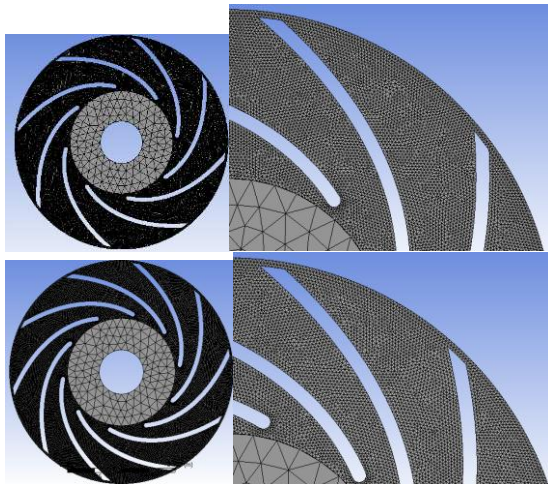
Gambar 3 Mesh pada impeller air



Gambar 4 Mesh pada impeller air gambut

Setelah mesh generation dari rancangan Simon petrus selesai, akan dilakukan mesh generation pada fluida kerja air gambut untuk variasi jumlah sudu 7, 8 dan 10 yang dapat dilihat pada Gambar 5.





Gambar 5. Mesh generation jumlah sudu 7(2,27 M), 8(2,34 M) dan 10 (2,33 M)

2.3 Setup CFD

Pada simulasi CFD digunakan simulasi dengan kondisi *steady state* untuk model 3D. Selanjutnya *turbulence model* yang digunakan k- ω SST serta *solution method SIMPLE* digunakan untuk mendukung simulasi. Pada bagian *residuals* menggunakan *convergence* sampai 10^{-6} .

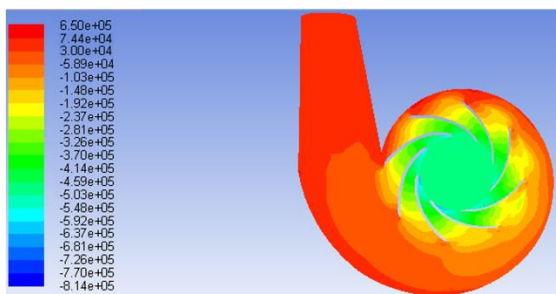
2.4 Pengambilan Data

Data-data yang akan diambil setelah simulasi CFD pada fluida kerja air dan air gambut adalah:

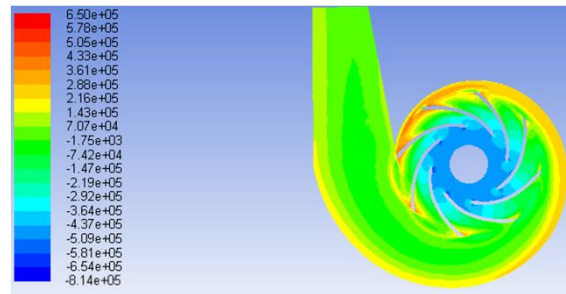
1. Total pressure outlet
2. Static pressure outlet
3. Kecepatan outlet

3. Hasil dan Pembahasan

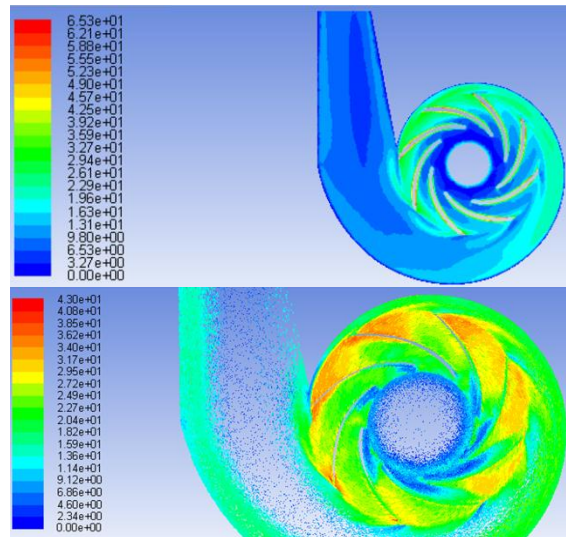
Hasil simulasi untuk fluida kerja air dapat dilihat pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 6. Static pressure air



Gambar 7. Total pressure air



Gambar 8. Kecepatan contour dan vektor air

Pada pompa sentrifugal dengan fluida kerja air telah disimulasi dengan CFD akan divalidasi dengan membandingkan secara hasil *head* dan pola aliran pompa sentrifugal. Hasil *head* dan efisiensi CFD dihitung dari persamaan 2.1, persamaan 2.2, persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 pada Microsoft Excel.

Hasil *head* CFD akan dibandingkan dengan hasil *head* teoritis dari saudara Simon petrus dan hasil *head* eksperimental (H_{eks}) dari pompa sentrifugal Ebara 100 x 80 FSJA. Hasil perbandingan *head* dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.

Dari validasi berdasarkan *head* dapat dilihat pada Tabel 5 bahwa menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu jauh dengan deviasi CFD vs ekperimental (-1,15%) dan deviasi CFD vs teori (-5,85%) sehingga masih bisa dikatakan akurat.

Tabel 5 Perbandingan antara *head* teori, CFD dan eksperimental

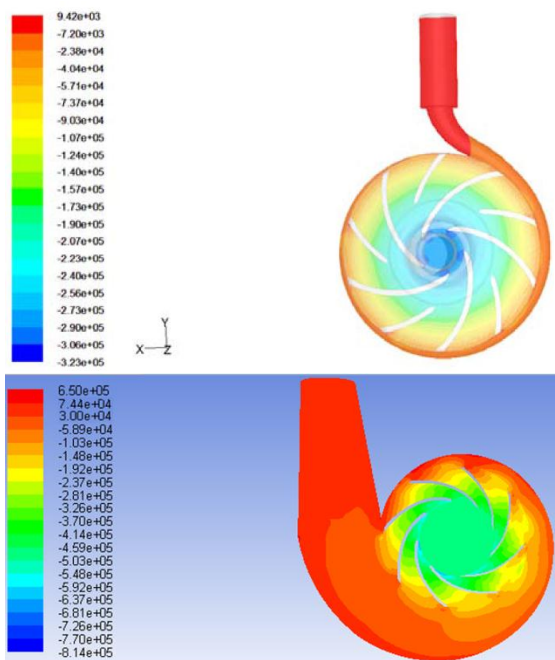
	H (m) teori	H (m) CFD	H (m) eks	Dev. CFD vs eks (%)	Dev. CFD vs teori (%)
Air	62,79	60	59,32	-1,15	-5,85

Hasil perbandingan efisiensi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan antara efisiensi CFD dengan teori

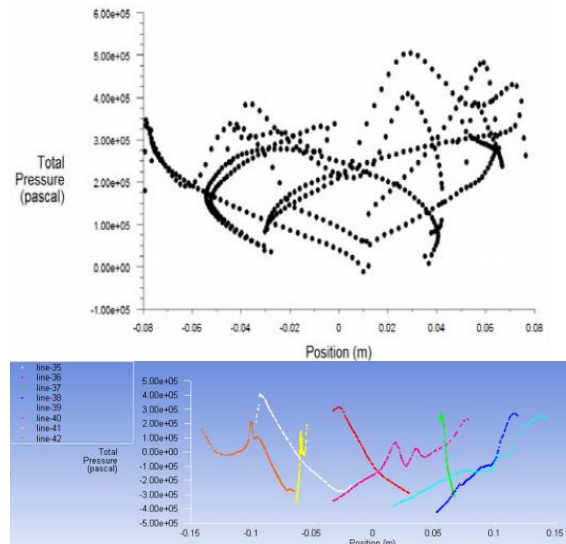
Pompa	Efisiensi CFD	Efisiensi teori	Deviasi teori vs CFD (%)
Air	0,5310	0,759	-42,947

Selanjutnya dilakukan validasi berdasarkan pola aliran dari peneliti Ragoth singh dan M. nataraj yang akan dibandingkan dengan hasil pola aliran CFD pada penelitian ini. Gambar 9 menunjukkan pola aliran dari Ragoth singh dan M. nataraj dan Gambar 6 menunjukkan pola aliran dari penelitian ini.



Gambar 9. Pompa (atas): Ragoth S. dan M. Nataraj [15] dan pompa (bawah): hasil simulasi pompa air penelitian ini

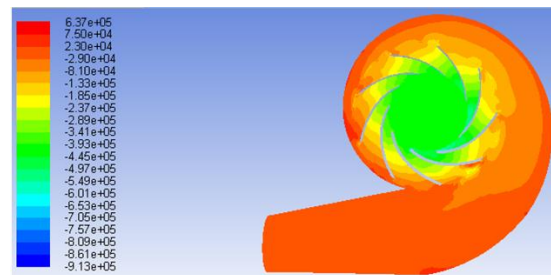
Dari pola aliran yang terbentuk dari peneliti Ragoth dan penelitian ini yang sama-sama menggunakan air sebagai fluida kerja menunjukkan pola yang hampir sama. Dari *line plot* yang terbentuk dari peneliti Chakraborty dan penelitian ini yang sama-sama menggunakan air sebagai fluida kerja menunjukkan *line plot* yang hampir sama yang dapat dilihat pada Gambar 10.



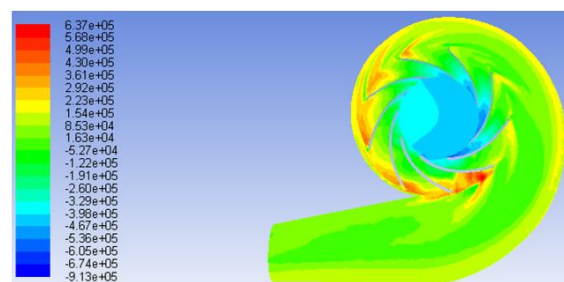
Gambar 10. Pompa (atas): S. Chakraborty dan K. M. Pandey [16] dan pompa (bawah): hasil simulasi pompa air penelitian ini

Maka validasi dari segi hasil *head*, pola aliran dan *line plot* dapat dikatakan akurat. Pada *static pressure* dapat dilihat bahwa tekanan yang dihasilkan pompa sebesar $7,44 \times 10^4$ Pa.

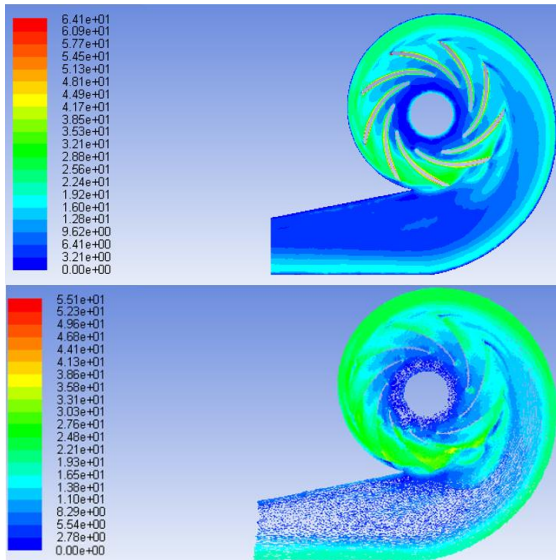
Hasil simulasi CFD pada pompa sentrifugal dengan fluida kerja air gambut dapat dilihat pada Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13.



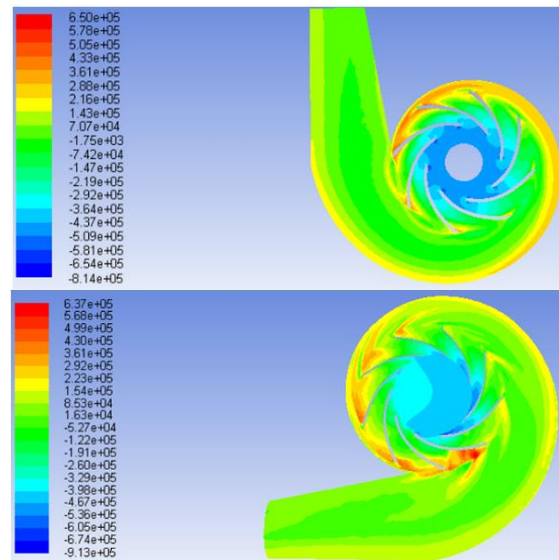
Gambar 11. *Static pressure* air gambut



Gambar 12. *Total pressure* air gambut



Gambar 13. Kecepatan *contour* dan vektor air gambut



Gambar 14. Perbandingan *total pressure* air (atas) dan air gambut (bawah)

Dari hasil simulasi untuk pompa sentrifugal dengan fluida kerja air gambut dimasukkan nilainya kedalam persamaan 2.1 pada Microsoft Excel dan hasil *head* yang dihasilkan pompa dapat dilihat pada Tabel 7. Pada Tabel 7 dapat dilihat deviasi *head* CFD dengan teoritis sebesar 0,42 % sehingga hasil simulasi masih bisa dikatakan akurat. Pada *Static pressure* dapat dilihat bahwa tekanan pada pompa sebesar $7,50 \times 10^4$ Pa.

Tabel 7 Perbandingan antara *head* CFD dengan teori

Pompa	<i>Head</i> (m) teoritis	<i>Head</i> (m) CFD	Deviasi (%)
Air gambut	61,6	61,86	0,420304

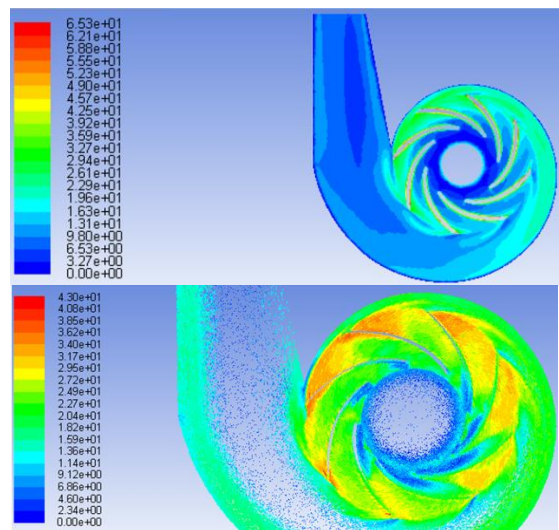
Hasil efisiensi dengan persamaan 2.2, persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 dapat dilihat pada Tabel 8.

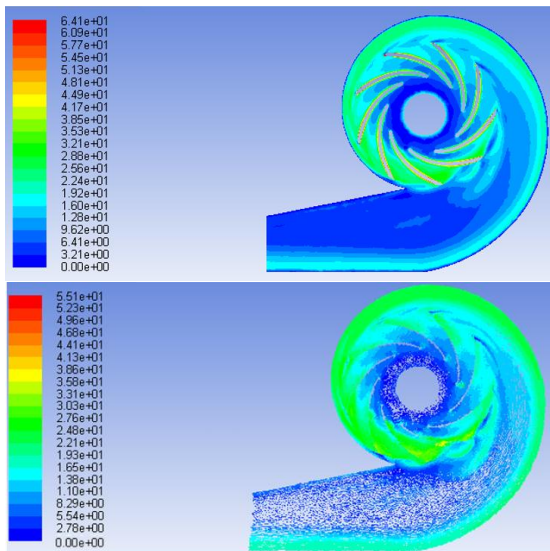
Tabel 8 Perbandingan antara efisiensi CFD dengan teori

Pompa	Efisiensi teori	Efisiensi CFD	Deviasi teori vs CFD (%)
Air gambut	0,759	0,5633	-34,75

Pola aliran pada *total pressure* pompa sentrifugal pada fluida kerja air gambut memiliki tekanan yang lebih tinggi diantara sudu –sudu dari pada fluida kerja air dimana pada fluida kerja air gambut memiliki viskositas dinamik lebih kecil dari pada fluida kerja air. Perbandingan *total pressure* air dan air gambut dapat dilihat pada Gambar 14.

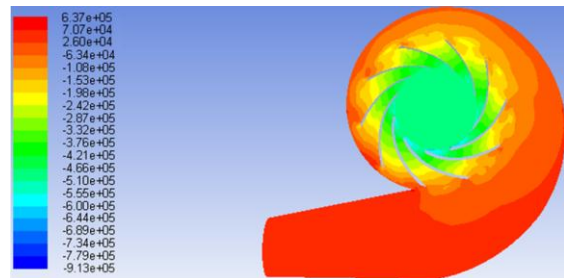
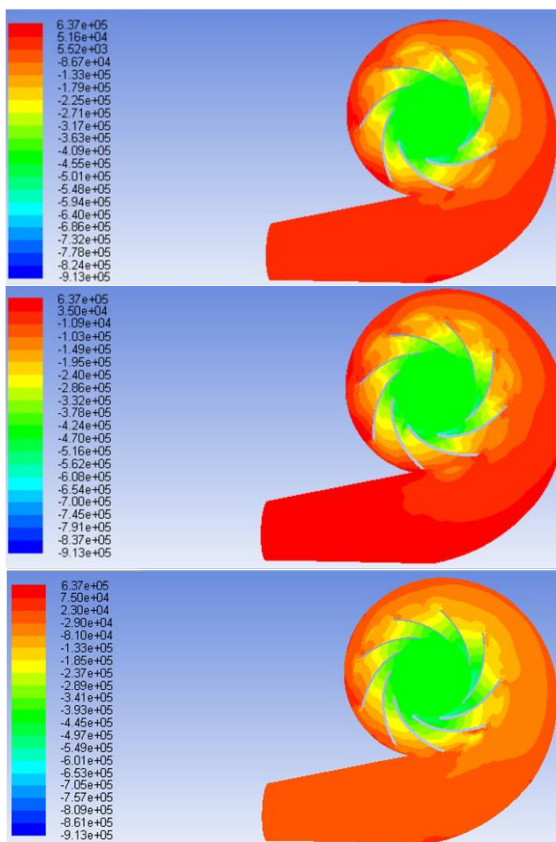
Pada bagian vektor arah aliran air dan air gambut mengikuti arah perputaran dari *impeller backward* namun kecepatan vektor pada fluida kerja air dan air gambut memiliki perbedaan yaitu kecepatan pada fluida kerja air memiliki kecepatan yang lebih tinggi pada bagian *impeller* dibandingkan kecepatan pada fluida kerja air gambut. Hal ini terjadi akibat perbedaan jumlah sudu pada pompa sentrifugal air yaitu 8 sudu dan air gambut yaitu 9 sudu dimana fluida yang mengalir diantara sudu-sudu yang sempit akan membuat dorongan *impeller* pada fluida lebih lambat dengan jumlah sudu yang lebih banyak karena jarak dorongan sudu yang lebih dekat. Perbandingan kecepatan vektor air dan air gambut dapat dilihat pada Gambar 15.



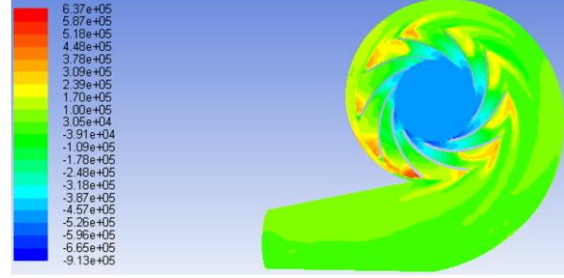
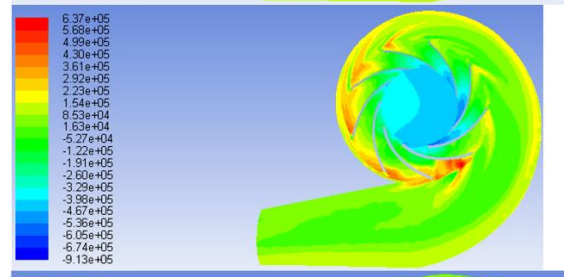
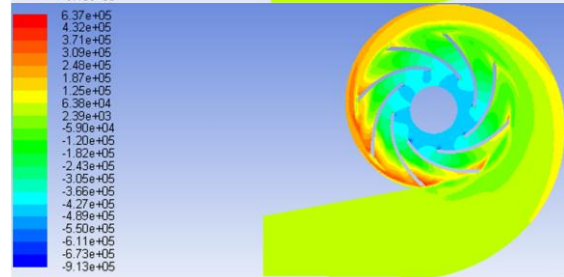
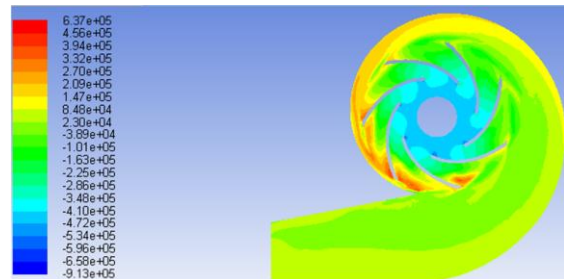


Gambar 15. Perbandingan kecepatan vektor air (atas) dan air gambut (bawah)

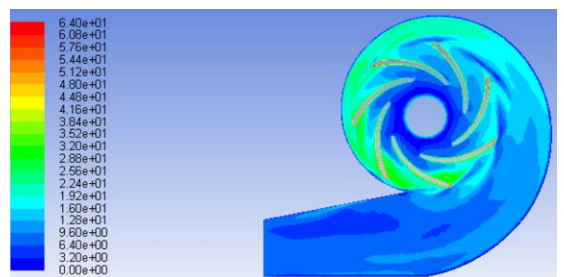
Setelah pompa sentrifugal untuk fluida kerja air dan air gambut telah disimulasi pada CFD. Selanjutnya pompa sentrifugal untuk fluida kerja air gambut akan divariasikan dengan jumlah sudu yang berbeda. Jumlah sudu yang telah disimulasi dapat dilihat pada Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18.

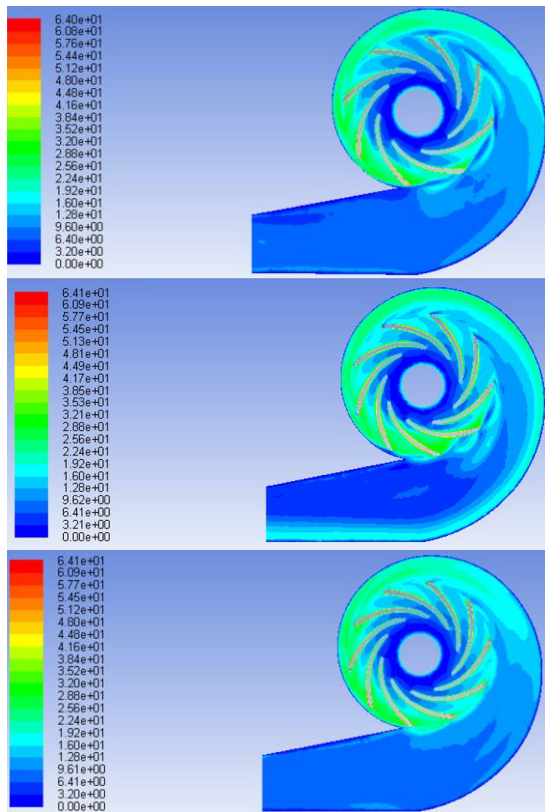


Gambar 16. *Static pressure* dengan jumlah sudu 7, 8, 9 dan 10



Gambar 17. *Total pressure* dengan jumlah sudu 7, 8, 9 dan 10





Gambar 18. Kecepatan *contour* dengan jumlah sudu 7, 8, 9 dan 10

Dari hasil simulasi, nilainya akan dimasukkan ke persamaan 2.1 pada Microsoft Excel. Hasil *head* dengan variasi jumlah sudu 7, 8, 9 dan 10 dapat dilihat pada Tabel 9.

Dari hasil simulasi dengan jumlah sudu yang berbeda dapat dilihat hasil *head* mengalami peningkatan dari jumlah sudu 7 ke jumlah sudu 10. Hasil *head* yang dihasilkan pompa, didukung dari hasil pola aliran yang terbentuk pada pompa sentrifugal untuk fluida air gambut dimana menunjukkan bahwa baik pada jumlah sudu 7, 8 dan 9 membuat tekanan dari *impeller* meningkat hanya pada bagian *volute* yang kecil dan pada bagian *volute* makin membesar membuat tekanan dari *impeller* menurun. Namun pada jumlah sudu 10 pada fluida kerja air gambut membuat tekanan dari *impeller* meningkat dari $(-4,57 \times 10^5 \text{ Pa})$ sampai $(2,39 \times 10^5 \text{ Pa})$ hampir merata pada setiap sudu dari pada jumlah sudu 7, 8 dan 9 sehingga membuat *head* pada jumlah sudu 10 lebih tinggi.

Tabel 9. Perbandingan *head* CFD dengan jumlah sudu 7, 8, 9 dan 10

Pompa	<i>Head</i> (m) CFD			
	7	8	9	10
Air gambut	48,5	54,97	61,86	70,23

Hasil perhitungan dalam Tabel 10 menunjukkan bahwa pada jumlah sudu 10 memiliki efisiensi yang lebih baik dari jumlah sudu 7, 8 dan

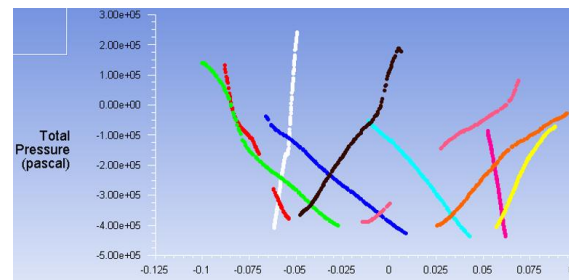
9. Hal ini menyatakan bahwa semakin besar jumlah sudu maka efisiensi pompa sentrifugal semakin besar.

Tabel 10. Perbandingan efisiensi CFD dengan jumlah sudu 7, 8, 9 dan 10

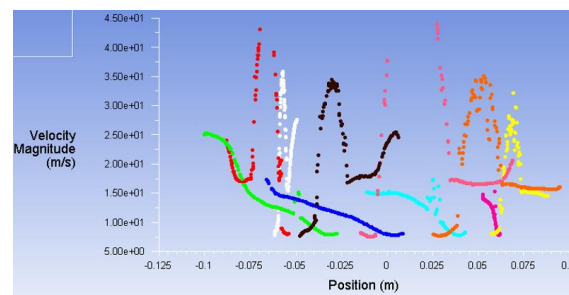
Pompa air gambut	Efisiensi CFD
7 sudu	0,4433
8 sudu	0,50
9 sudu	0,5633
10 sudu	0,638

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah sudu maka *head* dan efisiensi pompa sentrifugal semakin besar pada penelitian ini. Peneliti lain yang menyatakan hal yang sama yaitu Thoharudin et al [3], Musyafa dan Indra [17] dan Rohman dan Indra [18].

Pada jumlah sudu 10 yang paling optimal akan ditampilkan *line plot* distribusi *total pressure* yang berada dekat daerah sudu pada Gambar 19 dan distribusi *velocity* yang berada dekat daerah sudu pada Gambar 20.



Gambar 19. Distribusi *total pressure* yang berada dekat daerah sudu



Gambar 20. Distribusi *velocity* yang berada dekat daerah sudu

Pada hasil simulasi pompa sentrifugal untuk fluida kerja air dan air gambut pada Gambar 7, Gambar 12 dan Gambar 17 menunjukkan bahwa terjadi fenomena kavitasi pada daerah yang bertekanan rendah karena fluida kerja pada tekanan rendah lebih cepat mencapai titik didih. Hal ini tentu akan berpengaruh pada umur *impeller* dan *volute* dimana kavitasi adalah sumber terjadinya korosi.

4. Simpulan

Adapun kesimpulan pada tugas akhir dengan topik simulasi CFD pompa sentrifugal ini ialah bahwa simulasi CFD telah selesai dilakukan. Adapun simulasi ini dimulai dengan menggambarkan secara 3 D sesuai dengan rancangan Simon petrus. Selanjutnya dilakukan simulasi CFD dengan metode *mesh independent solution* sesuai rancangan Simon petrus dan dilakukan juga simulasi CFD dengan jumlah sudu yang berbeda untuk fluida kerja air gambut.

Pada penelitian ini, parameter yang menjadi pusat perhatian adalah viskositas air gambut dimana viskositas air gambut memiliki nilai yang lebih kecil dari pada viskositas air. Viskositas air dan air gambut akan dilihat pengaruhnya dalam simulasi terhadap *head*, efisiensi, tekanan dan pola aliran yang telah dirancang oleh Simon petrus dimana menunjukkan bahwa hasil *head* yang dicapai sesuai keinginan. Selanjutnya, pada simulasi variasi jumlah sudu untuk fluida kerja air gambut dimana menunjukkan bahwa hasil *head*, efisiensi dan tekanan mengalami peningkatan setiap jumlah sudu ditambah. Dapat dikatakan bahwa penelitian yang dilakukan telah berhasil.

Daftar Pustaka

[1] Karassik, Igor J., Messina Joseph P., Cooper P. and Heald C. C. 2001. *Pump Handbook*. McGraw-Hill Companies, Inc.

[2] Baoling, CUI, ZHU Zuchao, ZHANG Jianci and CHEN Ying. 2006. The Flow Simulation and Experimental Study of Low-Specific-Speed High-Speed Complex Centrifugal Impellers. *Chinese Journal Chemical Engineering* 14(4) 435-441.

[3] Thoharudin, A. S. Nugroho dan S. Unjanto. 2014. Optimasi Tinggi Tekan dan Efisiensi Pompa Sentrifugal Dengan Perubahan Jumlah Sudu Impeller dan Sudut Sudu Keluar Impeller(β_2) Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, pp. 35-40.

[4] Anagnostopoulos, J.S., 2009. A Fast Numerical Method for Flow Analysis and Blade Design in Centrifugal Pump Impellers. *Computers & Fluids*, pp.284-289.

[5] Li, W. G. 2015. Effects of Viscosity on Turbine Mode Performance and Flow of a Low Specific Speed Centrifugal Pump. *Applied Mathematical Modelling*. Elsevier Inc.

[6] Buratto, C., M. Pinelli, P. R. Spina, A. Vaccari and C. Verga, 2015. CFD Study on Special Duty Centrifugal Pumps Operating with Viscous and Non-Newtonian Fluids. *Proceedings of 11th European Conference on Turbomachinery Fluid dynamics & Thermodynamics ETC11*.

[7] Kusnaedi. 2006. *Mengolah Air Gambut dan Kotor untuk Air Minum*. Jakarta: Penebar Swadaya.

[8] Yoseva, P. Lucky, A. Muctar, H. Sophia. 2015. Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Adsorben untuk Peningkatan Kualitas Air Gambut. *JOM FMIPA Volume 2 No.1*.

[9] Rotua, V., A. Muctar dan H. Sophia. 2015. Pemanfaatan Lempung Desa Gema Teraktivasi H₂SO₄ untuk Peningkatan Kualitas Air Gambut.

Journal Teknik Mesin Universitas Surabaya. Volume 02 Nomer 1.

[10] Bacharoudis, E.C., Filios A.E., Mentzos M.D. and Margaris D.P., 2008. Parametric Study of A Centrifugal Pump Impeller by Varying The Outler Blade Angle. *The Open Mechanical Engineering Journal*. pp. 75-83.

[11] Houlin LIU., Yong WANG, Shouqi YUAN, Minggao TAN, Kai WANG, 2010. Effects of Blade Number on Characteristics of Centrifugal Pumps. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* Vol. 23.

[12] Cunha, M. A. R. and Helcio F. V. N. 2013. Cavitation Modelling of a Centrifugal Pump Impeller. *Proceesiding of International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)*, pp. 1633-1644.

[13] Cengel, Y. A. and J. M. Cimbala. 2006. *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. New York: MCGraw-Hill.

[14] Mingpao, TAN, YUAN Shouqi, LIU Houlin, WANG Yong and WANG Kai. 2009. Numerical Research on Performance Prediction for Centrifugal Pumps. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* Vol. 23 No. 1.

[15] Singh, R. R. and Nataraj M., 2012. Parametric Study and Optimization of Pump Impeller by varying the Design Parameter Using Computational Fluid Dynamics. *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E)* Vol. 6, N. 7. pp. 1581-1585.

[16] Chakraborty, S. and K. M. Pandey. 2011. Numerical Studies on Effects of Blade Number of Variations on Performance of Centrifugal Pumps at 4000 rpm. *International Journal of Engineering and Technology* Vol. 3 No. 4.

[17] Musyafa, A. A. dan Indra H. S. 2015. Pengaruh Jumlah Sudu Sentrifugal Impeller Terhadap Kapasitas dan Efisiensi Pompa Sentrifugal. *Journal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*. Volume 03 Nomer 03, 136-144.

[18] Rohman, E. W. dan Indra H. S. 2015. Uji Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Torque Flow Impeller Terhadap Kinerja Pompa Sentrifugal. *Journal Teknik Mesin Universitas Surabaya*. Volume 03 Nomer 03, 145-152.