

## SIMULASI NUMERIK PENGARUH KEMIRINGAN SUDUT SUDU BERPENAMPANG PLAT DATAR TERHADAP KINERJA TURBIN ALIRAN VORTEX

**Iqswanda Pradana Aspriliansyah**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : iqswandaaspriliansyah16050754014@mhs.unesa.ac.id

**Priyo Heru Adiwibowo**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

### Abstrak

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air untuk diubah menjadi energi mekanik. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik pada kondisi *steady* dan *unsteady* menggunakan software CFD (*Computational Fluid Dynamic*) yaitu Ansys Fluent 19.2 dengan memvariasikan jumlah kemiringan sudut sudu pada turbin aliran *vortex* poros vertikal. Kemiringan sudut sudu plat datar yang digunakan adalah  $0^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $22,5^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $37,5^\circ$ ,  $45^\circ$ . Mesh yang digunakan model *Test/Hybrid Tgrid* atau segitiga. Model turbulen yang digunakan *k-omega standard* dengan variasi *Reynolds Number*  $4,04 \times 10^6$ ;  $4,18 \times 10^5$ ;  $4,46 \times 10^5$ ;  $4,95 \times 10^5$ . Hasil dari penelitian turbin aliran *vortex* poros vertikal dengan variasi kemiringan sudut sudu adalah daya tertinggi pada kemiringan sudut  $37,5^\circ$  pada RE  $4,46 \times 10^5$  sebesar 45,01 watt. Sedangkan efisiensi tertinggi pada kemiringan sudut  $37,5^\circ$  pada *reynold number*  $4,46 \times 10^5$  sebesar 70,25 %. Dari hasil analisis tersebut bahwa variasi kemiringan sudut sudu memiliki pengaruh terhadap kenaikan daya pada turbin reaksi *vortex*, hal ini dikarenakan arah jatuh aliran yang mengenai permukaan sudut sudu mendekati tegak lurus sehingga membuat putaran turbin lebih cepat dibandingkan dengan turbin tanpa menggunakan variasi kemiringan sudut.

**Kata Kunci:** *Vortex*, Kemiringan Sudut Sudu, CFD

### Abstract

*Hydroelectric power plant (PLTA) is a power plant that utilizes water flow to be converted into mechanical energy. The research method used is numerical simulation under steady and unsteady conditions using CFD (Computational Fluid Dynamic) software, Ansys Fluent 19.2 by varying the number of blade angles in the vertical shaft vortex flow turbine. The slope angle of the flat plate blade used is  $0^\circ$ ,  $7.5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $37.5^\circ$ ,  $45^\circ$ . The mesh used is a Test / Hybrid TGrid or triangle model. The turbulent model used k-omega epsilon with variations of Reynolds Number  $4.04 \times 10^6$ ;  $4.18 \times 10^5$ ;  $4.46 \times 10^5$ ;  $4.95 \times 10^5$ . The results of the study of vertical shaft vortex flow turbines with variations in the angle of the flat plate blades are the highest power produced in this vortex flow turbines namely at  $37.5^\circ$  blade angle at  $4.46 \times 10^5$  reynold number of 45.01 watts. While the highest efficiency obtained in the vortex flow reaction turbine is at a slope of  $37.5^\circ$  blade angle at a  $4.46 \times 10^5$  reynold number of 70.25%. From the results of the analysis that the variation of the angle of the blade affects the increase in power in the vortex reaction turbine, this is because the direction of flow falling on the surface of the blade angle approaches perpendicular to make the turbine spin faster than the turbine without using angular tilt variations.*

**Keywords:** *Vortex*, Angle of Slope, CFD

### PENDAHULUAN

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat karena hampir seluruh aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Sebagian besar energi yang digunakan di Indonesia khususnya masih berasal dari energi fosil yang berbentuk minyak bumi dan gas bumi. Ditambahnya dengan meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat dan diikuti dengan permintaan dan konsumsi energi listrik yang semakin tinggi.

Permasalahan tersebut secara tidak langsung akan berdampak pada berkurangnya jumlah energi fosil yang

saat ini sering kita gunakan. Permasalahan tersebut menjadi masalah utama dan vital untuk beberapa negara, dan tidak terkecuali di Indonesia. Selain factor jumlah energi fosil yang terus meningkat, ada dampak lain yang bisa menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan apabila penggunaan energi fosil tersebut dipergunakan secara berlebihan.

Dari permasalahan tersebut kita harus memulai dengan berbagai opsi lain demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi fosil yang saat ini jumlahnya kian menipis. Hal tersebut pula yang membuat banyak orang berusaha mencari sumber energi baru terbarukan dan tentunya yang ramah lingkungan.

Saat ini banyak sekali energi – energi yang belum diketahui maupun yang belum dimanfaatkan potensinya dengan baik.

Di Indonesia sendiri pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) ini masih sedikit. Banyaknya jumlah potensi energi baru terbarukan yang ada di Indonesia saat ini, tidak dibarengi dengan tersedianya sarana dan prasarana yang mencukupi untuk memulai, mengolah dan memanfaatkan energi tersebut menjadi energi alternatif yang bisa dijadikan alternatif lain apabila energi fosil saat ini mulai menipis.

Berdasarkan data Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi ESDM, pada tahun 2011 Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) lebih dari 158.288 MW. Tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar dibandingkan dengan sumber – sumber energi terbarukan lainnya. Potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75.091 MW.

Dengan melihat kondisi sumber energi khususnya yang berasal dari air, Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan energi air sebagai energi alternatif atau bahkan energi baru terbarukan di masa kini dan juga di masa yang akan datang. Air tersebut bisa diolah dan dimanfaatkan untuk sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Potensi dan prospek yang bagus untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang mulai tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan dapat dikembangkan sebagai sumber daya untuk energi local, khususnya untuk daerah – daerah terpencil.

Seiring dengan besarnya potensi dari pembangkit listrik tenaga air tersebut diperlukan banyak penelitian untuk dapat memaksimalkan potensi diatas. Salah satunya adalah dengan didirikannya beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di daerah – daerah terpencil yang ada di Indonesia khususnya. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan suatu pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan air sebagai tenaga penggerak, seperti saluran irigasi, jumlah debit air dan sungai atau air terjun dengan memanfaatkan tinggi dari terjunan. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator.

Turbin air merupakan sebuah mesin konversi energi yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi menjadi energi potensial dan selanjutnya menjadi energi listrik. Selain itu PLTMH tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA dan sebagian besar PLTMH yang ada saat ini memanfaatkan *head air* yang tinggi untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan untuk aliran sungai dengan *head* yang rendah belum dimanfaatkan secara optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Hudan dan Adiwibowo, 2017. Penelitian yang berjudul “Pengaruh

Sudut Inlet Notch Pada Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Terhadap Daya Dan Efisiensi”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan variasi sudut sudu pengarah (Guide Vane) dengan peningkatan sudut ½ jari jari turbin, yaitu 17,82°, 13,32°, 7,26°, dan 0° (tanpa sudu pengarah). Hasil dari penelitian ini adalah variasi sudut sudu pengarah sangat berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *vortex*. Sudu pengarah dengan sudut 17,82° memiliki daya dan efisiensi paling optimal daripada sudut 13,32°, 7,26° dan 0° (tanpa sudu pengarah) . Pada sudu pengarah 17,82° memiliki daya tertinggi yang terjadi pada kapasitas 8,1327077 L/s dengan pembebanan 20.000 g (23,96 W), dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas 5,6472274 L/s dengan pembebanan 15.000 g (57,26 %).

Penelitian yang dilakukan oleh Afryzal dan Adiwibowo, 2017. Penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar”. Didapatkan bahwa daya turbin terbesar menggunakan turbin dengan 8 sudu pada beban 2000gr dengan kapasitas air sebesar 8,89 L/s diperoleh daya turbin sebesar 21,84 watt. Sedangkan efisiensi yang dihasilkan pada turbin dengan 8 sudu pada beban 2000gr dengan kapsitas air sebesar 6,94 diperoleh efisiensi terbesar yaitu 44,3 %. Tetapi penelitian diatas belum menjelaskan pengaruh variasi kemiringan sudut sudu.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Aripasetya dan Adiwibowo, 2018. Penelitian yang berjudul “Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran *Vortex*”. Dalam penelitiannya menguji kinerja turbin reaksi aliran *vortex* dengan variasi pengaruh kemiringan sudut sudu berpenampang lurus dengan variasi 0°, 7,5°, 15°, dan 22,5 °. Hasil penelitian ini kemiringan sudut sudu 22,5 ° dengan kapasitas 13,4434 L/s dengan daya yang didapatkan 51,03 Watt pada pembebanan 50000g. Sedangkan efisiensi tertinggi dengan kemiringan sudut sudu 22,5 ° yang terdapat kapasitas 7,9987 L/s dengan efisiensi yang didapatkan 64,58% pada pembebamam 25000gram. Variasi kemiringan sudut sudu memiliki pengaruh terhadap kenaikan daya pada turbin reaksi vortex, hal ini disebabkan karena arah jatuh aliran yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus. Sehingga membuat putaran turbin lebih cepat dan tahan terhadap pembebanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan variasi sudut turbin.

Menurut Nandhika dan Permatasari, 2018. Penelitian yang berjudul “Analisis Profil Sudu Turbin Mikro Hidro *Vortex* Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum”. Dalam penelitiannya dilakukan dengan metode simulasi dengan jumlah sudu tetap dan nilai kecepatan angular yang

divariasikan antara 50 rpm sampai 250 rpm dengan interval 50 rpm. Simulasi performa turbin dilakukan dengan metode CFD menggunakan software ANSYS Fluent. Hasil simulasi menunjukkan bahwa profil sudu crossflow pada 150 rpm memiliki efisiensi yang paling tinggi pada angka 76%.

Penelitian Prasetyo dan Siregar, 2017. Berjudul “Simulasi Numerik Pengaruh Perbedaan Sudut Kemiringan Bilah Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis *Helical* Terhadap Kinerja Turbin Angin”. Penelitian turbin angin jenis *Helical* ini menggunakan metode simulasi numerik aliran udara atau Computational Fluid Dynamic (CFD). Dengan perbandingan variasi sudut kemiringan bilah turbin yang digunakan adalah 15°, 30°, 45°, 55°, 60°, 65° dan 75° untuk mengetahui pengaruh perbedaan sudut kemiringan bilah pada turbin angin sumbu vertikal jenis *Helical* terhadap kinerja turbin dengan metode simulasi numerik dan mendapatkan sudut kemiringan bilah yang optimal sehingga luaran yang dihasilkan lebih efektif dan efisien. Dari hasil simulasi didapatkan nilai rpm tertinggi diperoleh sebesar 705,1 rpm pada turbin dengan sudut kemiringan bilah 55° dengan kecepatan angin 10 m/s. Nilai torsi tertinggi diperoleh sebesar 0,425 Nm pada sudut kemiringan bilah 55° dengan kecepatan angin 10 m/s. Daya turbin tertinggi diperoleh sebesar 31,36 Watt pada sudut kemiringan bilah 55° dengan kecepatan angin 10 m/s. Nilai efisiensi ( $C_p$ ) terbaik diperoleh sebesar 46,8% didapat pada turbin angin dengan sudut kemiringan bilah 55° dengan kecepatan angin 10 m/s.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah diuraikan diatas peneliti akan melakukan penelitian turbin air reaksi aliran *vortex* dengan menggunakan metode simulasi numerik aliran air atau *Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD merupakan ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, dan beberapa fenomena lainnya dengan menggunakan model matematika. Penggunaan aplikasi CFD akan membutuhkan spesifikasi dan keandalan computer yang tinggi agar proses – proses iterasi yang dilakukan akan lebih cepat dan akurat. Dengan menggunakan simulasi numerik akan lebih efisien dalam segi waktu dan biaya serta bisa melakukan percobaan yang tidak bisa dilakukan dengan uji eksperimental.

**METODE**

**Jenis Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik.

**Variabel Penelitian**

Variabel Bebas

Menurut Sugiyono (2012:61) variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Model turbin aliran vortex sudu plat datar dengan kemiringan sudut sudu 0°, 7,5°, 15°, 22,5°, 30°, 37,5°, 45°
- Variasi *Reynolds number* yang digunakan adalah  $4,04 \times 10^6$  ;  $4,18 \times 10^5$  ;  $4,46 \times 10^5$  ;  $4,95 \times 10^5$  .

**Variabel Terikat**

Menurut Sugiyono (2014), variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi:

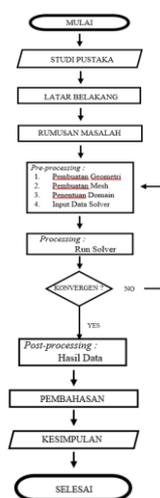
- Efisiensi turbin air.
- Daya turbin air.
- *Velocity contour* model turbin air.
- *Pressure contour* model turbin air.

**Variabel Kontrol.**

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Jumlah sudu yang digunakan pada turbin air.
- Spesifikasi dimensi turbin air.
- Material turbin air.
- Kondisi fluida (air) yang digunakan.

**Diagram Alir Penelitian**



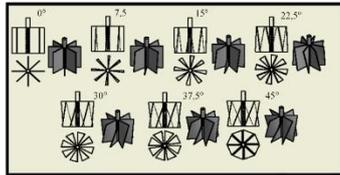
Gbr 1 Diagram Alir Penelitian

**- Teknik Pengumpulan Data**

Tahap Pre-processing:

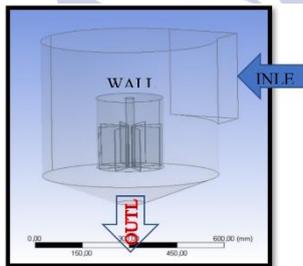
Tahap ini merupakan tahap awal dalam membuat dan menganalisa sebuah model dengan menggunakan metode CFD (Computation Fluid Dynamics). Dalam tahap ini dibagi menjadi beberapa sub-tahapan yaitu:

- Pembuatan Geometri  
Pembuatan geometri turbin menyerupai dengan bentuk aslinya menggunakan inventor 2020



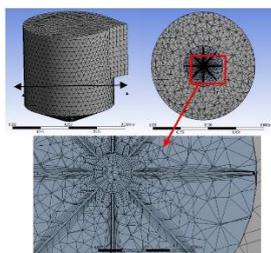
Gbr 2. Pembuatan Geometri

- Pembuatan Domain  
Pembuatan domain untuk simulasi ini menggunakan aplikasi ANSYS Design Modeler 19.2. Dimulai dengan import geometri yang telah disiapkan kemudian membentuk desain seperti saluran air yang ada dilaboratorium mekanika fluida



Gbr 3. Pembuatan Domain

- Pembuatan Meshing  
Proses pembuatan mesh dilakukan dengan menggunakan software ANSYS meshing 19.2 dengan bentuk meshing triangle.



Gb 4. Pembuatan Meshing

- Pengaturan Solver  
Menentukan solver berguna agar kondisi dalam pengujian mendekati keadaan sesungguhnya dalam bentuk geometri 2D atau 3D, menentukan model turbulen (viskositas model), menentukan kondisi batas (boundary condition) dari basin tunnel yang dibuat dengan bagian inlet dijadikan velocity inlet, bagian outlet dijadikan pressure outlet, pembagian untuk bagian bawah samping sebagai wall.

*Processing/Solving*

Pada tahapan *processing*, semua kondisi yang sudah ditetapkan di tahap sebelumnya akan dilakukan perhitungan (iterasi). Pada tahap iterasi, diharapkan tercapai hasil yang *convergen*

*Post-Processing*

Pada tahap ini hasil dari perhitungan (iterasi) yang telah dilakukan di tahap sebelumnya (*processing*) ditampilkan berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa data distribusi gaya dan tekanan. Kemudian data yang bersifat kualitatif ditampilkan secara visualisasi berupa kontur kecepatan dan tekanan sebagai data bersikap kualitatif.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini peneliti akan menguraikan proses simulasi numerik serta data yang diperoleh dari proses simulasi dalam kondisi steady maupun unsteady. Data yang didapatkan dari simulasi numerik antara lain: velocity contour, velocity streamline dan pressure contour serta nilai torsi, daya turbin dan efisiensi

- Validasi Model  
Pada penelitian simulasi, validasi model dilakukan untuk membandingkan data dari hasil simulasi dengan data hasil eksperimen. Karena metode simulasi memiliki nilai yang acak, apapun kondisi yang diberikan pada saat simulasi proses iterasi akan tetap menghasilkan nilai.
- Persentase Nilai Error Torsi

Tabel 1. Validasi Model

No	Penelitian	Re 4,04 x 10 <sup>6</sup>	
		Torsi (N.m)	Error (%)
1	Eksperimen	0,76	
2	Kepsilon Standard	0,71	5,48
3	Kepsilon RNG	0,69	8,73
4	Kepsilon Reliaezble	0,70	7,93
5	Komega Standard	0,79	3,97
6	Komega BSL	0,80	4,25
6	Komega STT	0,81	6,65

Model viskos *k-omega Standard* memiliki nilai *error* paling kecil yaitu 3.98 % yang mana nilai Torsi sebesar 0,79 N.m . Menurut Tuakia (2008) Model *k-omega Standard* yang terdapat pada FLUENT merupakan model *Wilcox k-omega* yang memasukkan beberapa modifikasi untuk menghitung efek aliran pada bilangan *Reynolds* rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser (*shear flow*). Model ini dapat diaplikasikan pada aliran dalam saluran maupun aliran bebas geseran (*free shear flow*). Maka model viskos yang tepat dalam simulasi CFD adalah *k-omega Standard*.

- Grid Independent Test

Tabel 2 Grid Independent Test

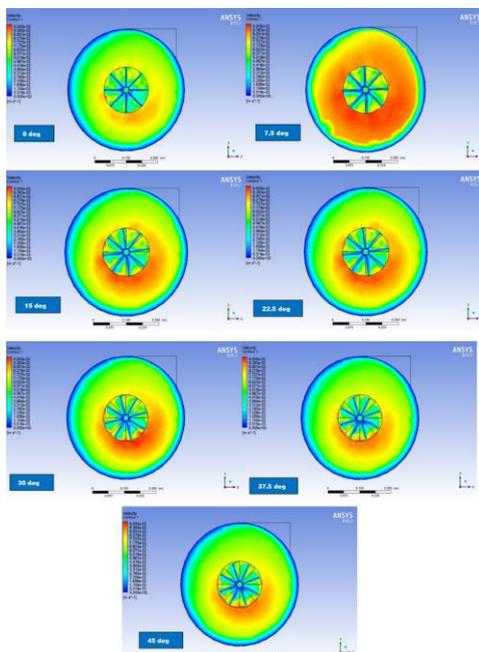
No	Element	Jumlah Nodes	Torsi (N.m)	Error
1	108281	22823	0,70	6,93
2	94824	20093	0,71	5,92
3	91367	19363	0,71	5,48
4	86080	18160	0,78	3,31
5	86159	18190	0,80	5,73
6	86238	18220	0,81	6,60

*Grid* terbaik dimana persentase *error* 3.31 % dengan nilai Torsi 0.78 N.m adalah *grid* keempat. *Grid* keempat memiliki jumlah *elements* dan *nodes* sebanyak 86080 dan 18160. Jumlah *elements* dan *nodes* yang lebih sedikit akan membuat proses iterasi semakin cepat sehingga waktu yang dibutuhkan lebih cepat dan efisien.

- Hasil Pengujian Simulasi Numerik

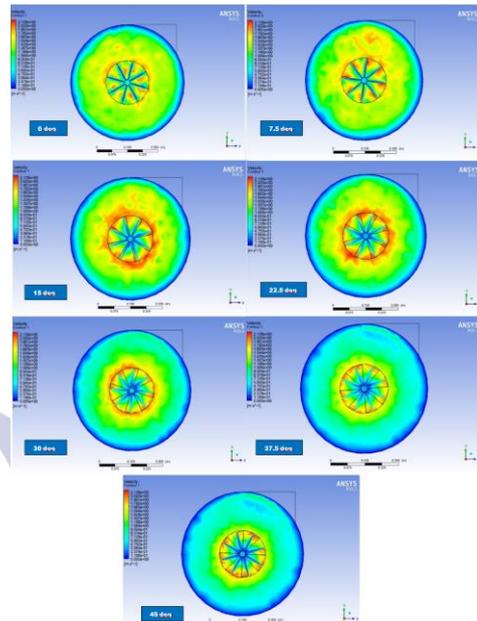
Velocity Contour

Velocity Contour Kondisi Steady pada RE 4,04 x 10<sup>6</sup>



Gbr 5. Velocity Contour Kondisi Steady pada RE 4,04 x 10<sup>6</sup>

Velocity Contour Kondisi Unsteady pada RE 4,04 x 10<sup>6</sup>



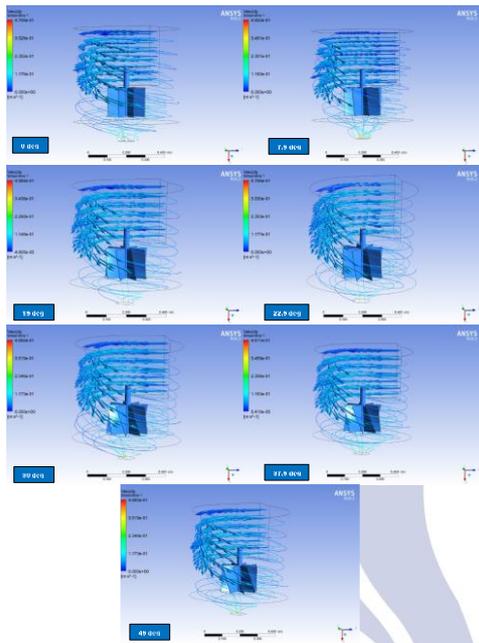
Gbr 6. Velocity Countour kondisi unsteady pada RE 4,18 x 10<sup>5</sup>

Kontur kecepatan pada turbin dengan sudut 0° dapat dilihat aliran ketika masuk melalui *inlet* mengalami *stagnasi* (berwarna biru) berada pada dinding *boundary wall* dimana pada titik tersebut kecepatan air berada pada titik terendah. Sedangkan ketika berada disekeliling turbin air mengalami *accelerate flow* yang ditunjukkan dengan warna hijau berangsur kuning dengan nilai kisaran 7,12e-02 m/s (0.071 m/s).

Kontur kecepatan pada kondisi *unsteady*. Berbeda dengan kondisi sebelumnya pada kondisi *unsteady* turbin berputar pada porosnya karena ada dorongan dari aliran yang menabrak sudu – sudu turbin. Kontur kecepatan pada variasi sudut 0° aliran yang berada disekeliling sudu turbin berwarna hijau dan berwarna kuning yang berangsur oranye ketika aliran jatuh menabrak sudu turbin dengan nilai berkisar 1,445e+0 m/s (1,445 m/s) yang menunjukkan bahwa aliran mengalami *accelerate flow* dan ketika aliran melewati sudu turbin kontur kecepatan berwarna oranye berangsur hijau dan mengalami *stagnasi* di dekat dinding *boundary wall*.

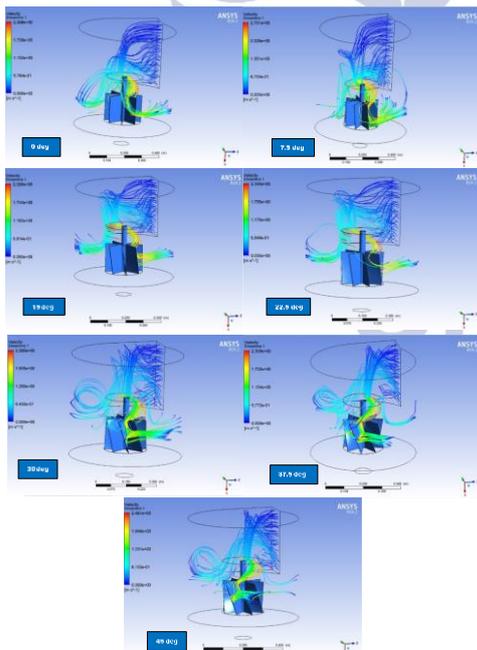
*Velocity Streamline*

*Velocity Streamline* Kondisi *Steady* pada RE  $4,04 \times 10^6$



Gbr. 7 *Velocity Streamline* kondisi *steady* pada RE  $4,04 \times 10^6$

*Velocity Streamline* Kondisi *Unsteady* pada RE  $4,04 \times 10^6$



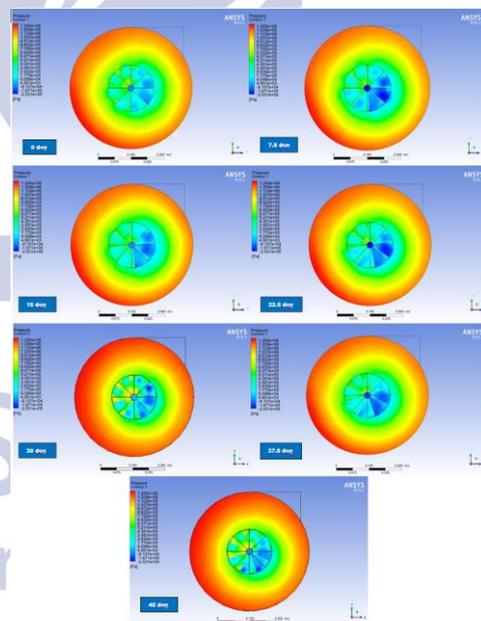
Gbr 9. *Velocity Streamline* Kondisi *Unsteady* pada RE  $4,04 \times 10^6$

Kondisi *streamline* turbin pada *Reynold number*  $4,04 \times 10^6$  dalam keadaan *steady* dimana aliran yang masuk dari *inlet* mengelilingi turbin didalam *boundary wall* pada variasi sudut  $0^\circ$  aliran yang masuk dan mengelilingi turbin berwarna biru yang menunjukkan bahwa aliran tersebut mengalami *stagnasi* dan berangsur berwarna biru muda didekat turbin yang menandakan terjadinya perubahan kecepatan aliran didekat turbin.

*Velocity streamline* turbin aliran *vortex* dengan variasi kemiringan sudut sudu keadaan *unsteady*. Bahwa aliran *streamline* dengan variasi sudut  $0^\circ$  aliran *streamline* turun dalam keadaan *stagnasi* sebelum menabrak turbin aliran *streamline* mengalami *accelerate flow* disaat berada pada sekitar poros turbin berwarna hijau menuju kuning dan ketika aliran menabrak sudu turbin aliran berubah berwarna merah setelah itu mengalami *disaccelerate flow* setelah melewati sudu turbin dengan ditunjukkan perubahan warna dari hijau menuju ke biru muda setelah itu mengalami *stagnasi* setelah melewati sudu turbin.

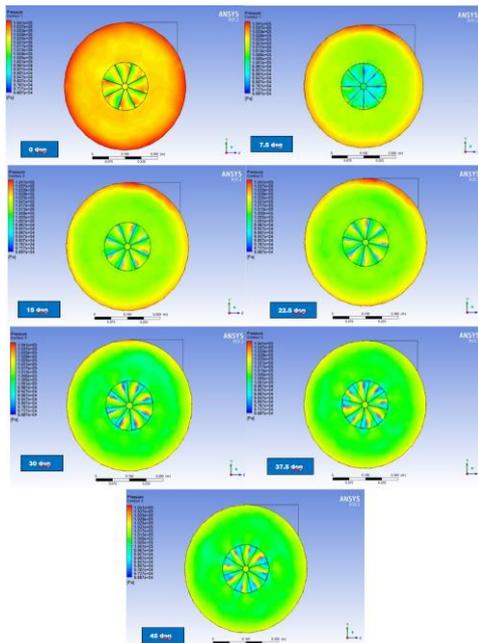
*Pressure Contour*

*Pressure Contour* Kondisi *Steady* pada RE  $4,04 \times 10^6$



Gbr 10. *Pressure Contour* kondisi *Steady* pada RE  $4,04 \times 10^6$

Pressure Contour Kondisi Unsteady pada RE  $4,04 \times 10^6$



Gbr 11. Pressure Contour Kondisi Unsteady pada RE  $4,04 \times 10^6$

Pressure contour kondisi steady pada turbin aliran vortex dengan variasi kemiringan sudut sudu. Terdapat beberapa warna yang menunjukkan tekanan pada tiap bagian dari aliran turbin apabila cenderung semakin merah memiliki tekanan maksimal dan semakin biru merupakan tekanan minimum.

Pressure contour pada kondisi unsteady variasi sudut  $0^\circ$  tekanan paling tinggi terjadi disekeliling dinding ditunjukkan dengan warna merah dengan nilai tekanan  $1,023e+5$  pa ( $102300$  pa) ketika aliran menabrak sudu turbin terjadi penurunan tekanan ditunjukkan warna hijau dan selanjutnya ketika turbin berputar terdapat tekanan dari arah berlawanan dari putaran turbin terjadi disudu – sudu turbin yang ditunjukkan dengan warna oranye berangsur ke kuning dengan nilai tekanan berkisar  $1,017e+5$  pa ( $101700$  pa).

- Perhitungan Efisiensi dari Turbin Air

Dari hasil data berupa torsi dan omega yang dihasilkan dari proses simulasi, data tersebut digunakan untuk menghitung besar daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin kemudian dilakukan analisa pengaruh kemiringan sudut sudu terhadap kinerja turbin.

- Menghitung Kapasitas Air (Q)

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}} \text{ (Pritchard and Leylegian, 2012:648)}$$

Keterangan:

- Q = Kapasitas air ( $m^3/s$ )
- Cd = Coefficient of Discharge
- $\theta$  = Sudut pada V-notch weir ( $^\circ$ )
- g = Gravitasi ( $9,81 m/s^2$ )
- H = Tinggi ambang (m)

- Menghitung Luas Penampang Aliran (A)  
Luas penampang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = T.l \text{ (Pritchard and Leylegian, 2011:638)}$$

Keterangan:

- A = Luas penampang saluran ( $m^2$ )
- T = Tinggi ambang ujung keluaran pengarah (m)
- l = Lebar keluaran pengarah (m)

- Menghitung Kecepatan Aliran (V)  
Kecepatan Aliran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V = Q/A \text{ (Pritchard and Leylegian, 2011:617)}$$

Keterangan:

- V = Kecepatan Aliran (m/s)
- Q = Kapasitas Aliran ( $m^3/s$ )
- A = Luas Penampang saluran ( $m^2$ )

- Menghitung Daya Air yang Mengalir (Pa)

Daya air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Pa = 1/2 \rho \cdot A \cdot V^3 \text{ (Pritchard and Leylegian, 2011:504)}$$

Keterangan:

- Pa = Daya air (Watt)
- $\rho$  = Massa jenis Fluida ( $kg/m^3$ )
- A = Luas penampang saluran ( $m^2$ )
- V = Kecepatan Aliran ( $m^3/s^3$ )

- Menghitung Daya Turbin (Pt)

Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Pt = T \cdot \omega \text{ (Pritchard and Leylegian, 2012:504)}$$

Keterangan:

- Pt = Daya turbin (Watt)
- T = Torsi (N.m)
- $\omega$  = Kecepatan angular (rad/s)

- Menghitung Efisiensi Turbin ( $\eta$ )

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

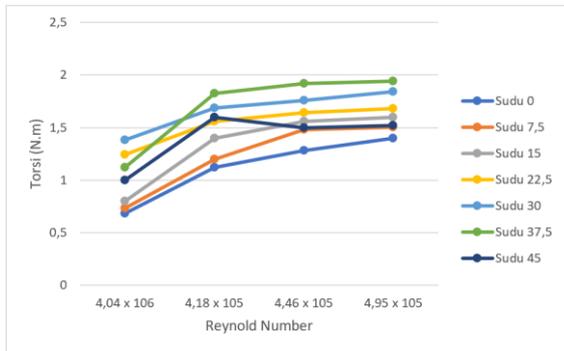
$$\eta = P_t/P_a \cdot 100\% \text{ (Pritchard and Leylegian, 2012:504)}$$

Keterangan:

- $\eta$  = Efisiensi turbin
- P\_t = Daya turbin (Watt)
- P\_a = Daya air (Watt)

- Pembahasan
  - Pengaruh Variasi Reynold Number Terhadap Torsi Turbin.

Pengaruh variasi Reynold number terhadap torsi yang dihasilkan turbin, dapat dilihat pada grafik berikut.

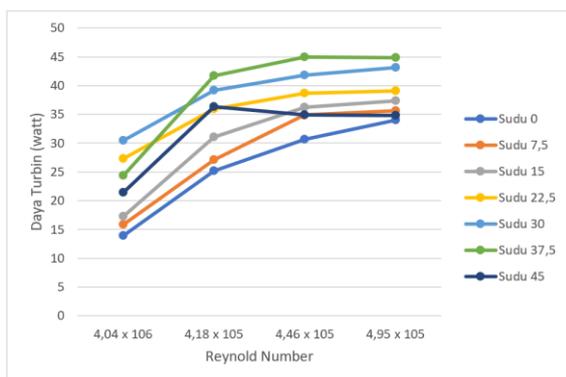


Gbr 12. Grafik Hasil Perolehan Torsi

Dilihat dari grafik diatas bahwa rata – rata hasil perolehan torsi menunjukkan tren menaik secara konstan. Kenaikan torsi juga berbanding lurus dengan kecepatan aliran air yang semakin tinggi. Namun terjadi fenomena kenaikan yang signifikan pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 37,5° pada variasi *reynold number* 4,18 x 10<sup>5</sup> dengan nilai 1.82 N.m. Hal ini bisa terjadi karena luasan sudut yang ditimpa oleh aliran air cukup merata pada setiap sudu nya sehingga lebih efisien dibandingkan dengan variasi sudut kemiringan yang lain. Sehingga dorongan yang terjadi pada sudu turbin semakin optimal dan cepat yang akan menghasilkan torsi yang semakin besar pula. Semakin besar nilai torsi yang dihasilkan akan berpengaruh terhadap efisiensi turbin.

Hasil torsi terbesar pada proses simulasi ini yaitu pada variasi sudut 37,5° pada *reynold number* 4,95 x 10<sup>5</sup> menghasilkan torsi sebesar 1.94 N.m sedangkan untuk perolehan nilai torsi terendah yaitu pada variasi sudut 0° pada variasi *reynold number* 4,04 x 10<sup>6</sup> sebesar 0,68 N.m dikarenakan pada kondisi *reynold number* 4,04 x 10<sup>6</sup> memiliki kecepatan aliran yang terendah dari pada variasi yang lainnya.

- Pengaruh Variasi Reynold Number Terhadap Daya Turbin

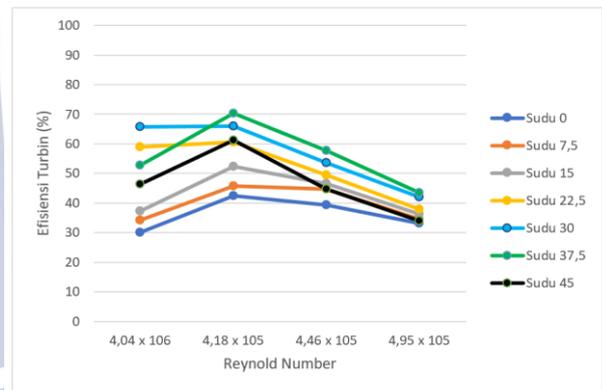


Gbr 13. Hasil Perhitungan Daya Turbin

Grafik daya yang dihasilkan turbin dengan kemiringan sudut sudu 0°, 7,5°, 15°, 22,5°, 30°, 37,5°, 45°. Dari grafik hasil perhitungan daya turbin diatas rata – rata hasil daya turbin menunjukkan tren menaik secara konstan.

Pada grafik diatas kemiringan sudut sudu 37,5° pada variasi *Reynold number* 4,95 x 10<sup>5</sup> menghasilkan daya turbin tertinggi sebesar 45,01 watt. Hal ini disebabkan pada variasi *reynold number* tersebut turbin menerima aliran air yang menimba permukaan sudu turbin yang paling optimal dengan menghasilkan torsi yang besar dari pada variasi *Reynold number* yang lainnya. Sedangkan penurunan daya turbin disebabkan oleh sedikit melambatnya putaran turbin dan menghasilkan torsi yang lebih rendah dari sebelumnya akibatnya daya turbin yang dihasilkan ikut menurun.

- Pengaruh Variasi Reynold Number Terhadap Efisiensi Turbin



Gbr 14. Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin

Grafik hasil efisiensi turbin, hasil efisiensi didapatkan dengan membagi antara daya yang dihasilkan turbin dengan daya air pada setiap variasi *reynold number*.

Dari grafik diatas maka dapat disimpulkan bahwa variasi kemiringan sudut sudu 37,5° pada *reynold number* 4,18 x 10<sup>5</sup> memiliki efisiensi terbesar. Hal ini disebabkan karena pada turbin dengan sudut 37,5° arah jatuh aliran mengenai sudu turbin pada arah yang optimal yang artinya gaya dorong mengenai sudu turbin pada arah hampir tegak lurus. Untuk turbin dengan sudut 45°, efisiensi yang dihasilkan cenderung lebih kecil dari efisiensi yang dihasilkan pada turbin dengan sudut 37,5°. Hal ini dikarenakan aliran air yang menerpa turbin sudah tidak pada sudut yang paling optimal sehingga mengalami penurunan kinerja. Penurunan efisiensi disebabkan karena dalam perumusan efisiensi daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikalikan 100%, jika pembagi atau daya air semakin besar maka hasil efisiensi yang dicapai akan semakin kecil atau menurun.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari hasil analisa data penelitian pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Berdasarkan velocity contour semakin besar variasi kemiringan sudut sudu kecepatan aliran yang mengenai permukaan sudu turbin semakin merata. Berdasarkan velocity streamline, semakin besar variasi kemiringan sudut sudu arah jatuh aliran hampir tegak lurus mengenai permukaan sudu yang menyebabkan turbin berputar lebih cepat dan optimal. Berdasarkan pressure contour variasi kemiringan sudut paling besar memiliki tekanan di setiap sudu – sudu turbin yang mempengaruhi torsi yang dihasilkan.
- Daya tertinggi yang dihasilkan pada turbin aliran vortex ini yaitu pada kemiringan sudut sudu  $37,5^\circ$  pada reynold number  $4,46 \times 10^5$  sebesar 45,01 watt. Pada reynold number  $4,04 \times 10^6$  dengan daya yang didapatkan sebesar 24,39 watt. Pada reynold number  $4,18 \times 10^5$  dengan daya turbin sebesar 36,35 watt. Pada reynold number  $4,95 \times 10^6$  dengan daya yang didapatkan sebesar 44,81 watt. Sedangkan daya turbin terendah dihasilkan sudut  $0^\circ$  pada reynold number  $4,04 \times 10^5$  dengan daya yang didapatkan sebesar 13,95 watt. Turbin  $45^\circ$  mengalami penurunan daya turbin pada reynold number  $4,46 \times 10^5$  dengan daya turbin sebesar 34,92 watt. Pada reynold number  $4,95 \times 10^5$  dengan daya yang didapatkan sebesar 34,8 watt. Hal ini dikarenakan aliran air yang menepi turbin sudah tidak pada sudut yang paling optimal sehingga mengalami penurunan kinerja.
- Nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan pada turbin reaksi aliran vortex ini yaitu pada kemiringan sudut sudu  $37,5^\circ$  pada reynold number  $4,46 \times 10^5$  sebesar 70,25 %. Pada reynold number  $4,04 \times 10^6$  dengan efisiensi yang didapatkan sebesar 52,70 watt. Pada reynold number  $4,18 \times 10^5$  dengan efisiensi turbin sebesar 57,71 watt. Pada reynold number  $4,95 \times 10^6$  dengan efisiensi yang didapatkan sebesar 43,57 watt. Sedangkan efisiensi turbin terendah dihasilkan sudut  $0^\circ$  pada reynold number  $4,04 \times 10^5$  dengan efisiensi yang didapatkan sebesar 30,15 watt. Penurunan efisiensi disebabkan karena dalam perumusan efisiensi daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikalikan 100%, jika pembagi atau daya air semakin besar maka hasil efisiensi yang dicapai akan semakin kecil atau menurun.
- Dengan menggunakan variasi kemiringan sudut sudu pada turbin aliran vortex, mulai dari sudut

$0^\circ, 15^\circ, 22,5^\circ, 30^\circ, 37,5^\circ, 45^\circ$  memiliki hasil performa turbin yang bervariasi. Pada sudut  $37,5^\circ$  kemiringan sudut yang dimiliki paling optimal.

### Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka penulis mencantumkan beberapa saran sebagai berikut :

- Diharapkan pada penelitian simulasi numerik selanjutnya bisa menggunakan perangkat computer atau laptop yang lebih baik sehingga hasil akan lebih akurat, tepat dan tidak lama.
- Pada penelitian selanjutnya diharapkan variabel penelitian yang digunakan baru dan lebih banyak sehingga hasil akan lebih baik dan diikuti dengan penelitian eksperimen sehingga hasil bisa dibandingkan secara bersamaan.
- Diharapkan pada penelitian selanjutnya proses meshing bisa disempurnakan dengan kerapatan meshing lebih tinggi dan memiliki nilai yang mendekati sempurna.
- Diharapkan penelitian selanjutnya simulasi dilakukan dengan time step dan iterasi yang lebih banyak sehingga hasil simulasi akan menjadi semakin baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Afryzal, Nikita Randy dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar”. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 147 - 157
- Agung, Achmad Imam 2013. “Potensi Sumber Energi Alternatif Dalam Mendukung Kelistrikan Nasional”. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*. Vol. 2, No. 2, Tahun 2013: 892-897.
- Ardianyah, Mohammad Andrian dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. “Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lengkung L Dengan Variasi Sudut Pada Ujung Sudu”. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 111-112.
- Arikunto. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Arismunandar, Kuwahara S. 1974. *Pembangkitan dengan Tenaga Air*. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid 1. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Arsana, I Made. Wulandari, Cicik Sri. 2019. *Alat Industri Kimia*. ISBN 9786237398202. Malang : Kuantum Buku Sejahtera.

- Baskoro, Mahendra Bagus dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Pengaruh Sudut *Inlet Notch* Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya Dan Efisiensi". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 81-91.
- Basyirun. 2008. *Buku Ajar Mesin Konversi Energi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Energy, E. 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro*. Retrieved from Ezkhel Energy blogspot : (<https://ezkhelenergy.blogspot.com/2013/11/pembangkit-listrik-tenaga-microhydro.html>, diakses 15 Oktober 2019).
- Faisal Hajj, Syahril Gultom, Andianto Pintoro, Farida Ariani, dan Tugiman Mahadi. 2015. "Analisa Performansi Turbin Vortex Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Pada Dua Variasi Dimensi Sudu Serta Debit Air Masuk". *Jurnal Dinamis*. Vol. 3 (3).
- Hudan, Acmad K dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Pengaruh Sudut *Inlet Notch* Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya Dan Efisiensi". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 05. No. 2: hal 61-69.
- Irham F. Tanjung, Syahril Gultom, Farel H. Napitupulu, Dian M. Nasution dan Taufiq bin Nur. 2015. "Analisa Performansi Turbin Vortex Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Dengan Variasi Dimensi Sudu I Dan Sudu III, Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang". *Jurnal Dinamis*. Vol 13. No 2.
- Khurmi, R. S., J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Lexy, J Moleong. 2008. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H., 2006. *Fundamental of Fluid Mechanics Fifth Edition*. Jhon Wiley & Sonc Inc.
- Nandhika, Fera Syafitri dan Permatasari, Rosyida. 2018. "Analisis Profil Susu Turbin Mikro Hidro Vortex Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol 05. No 2.
- Pramesti, Y. S. 2018. "Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik". *Jurnal Mesin Nusantara*, Vol 1 (1): Hal. 51-59.
- Pritchard, Philip J., Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*. Danver: Jhon Wiley & Sonc Inc.
- Prasetyo, Yani Bagus dan Herlambang, Indra 2018. "Simulasi Numerik Pengaruh Perbedaan Sudut Kemiringan Bilah Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis *Helical* Terhadap Kinerja Turbin Turbin Angin". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 8 (2): hal 86-88.
- Rohermanto, A. 2007. "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)". *Jurnal Pembangkit Listrik*, Vol.4 (1) : 28-36.
- Satrio. 2018. "Studi Simulasi Penambahan Sirip Vertikal Pada Turbin Savonius L Menggunakan Pemodelan Cfd Dua Dimensi". *Jurnal Teknik Mesin Surakarta*. Vol. 2 (1).
- Sena Aripasetya dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2018. "Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudu Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 03. No. 2: hal 67-72.
- Sigit Purnomo Hadi, Sutopo Purnomo Fitri dan Taufik Fajar. 2014. "Simulasi Aliran Fluida (Minyak) Pada *Hydraulic Wave Energy Converter* Menggunakan Pendekatan Cfd (*Computational Fluid Dynamics*)". *Jurnal Teknik POMITS*. Vol 3. No 1 : ISSN 2337-3539.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Tim. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Tuakia. Firman. 2008. *Dasar - Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Informatika: Bandung.
- Waisnawa S. 2012. "Pemilihan Jenis Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)". *Jurnal Matrix*. 3(2) : 176-182.
- Zain. 2016. "Analisis Pengaruh Jumlah Foil Terhadap Performansi Turbin Arus Air Vertikal Aksis Jenis Helical Dengan Cascade Foil Berbasis Cfd". *Jurnal Teknik POMITS*. Vol 1. No 1 : ISSN 1776-2443
- Muladi dan Arief, Barda Nawawi. 1988. *Teori dan Kebijakan Pidana*. Bandung: Alumni.
- Wahyono, Padmo, dkk. 1988. *Kerangka Landasan Pembangunan Hukum*. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.
- Garner, Bryan A. (ed). 2009. *Black's Law Dictionary*, 9<sup>th</sup> ed. United State of America: Thomson West.
- Dewan Kelautan Indonesia. 2012. *Kebijakan Kelautan Indonesia: Buku I*. Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan.