

# Analisis Kecepatan Masuk Sudut *Runner* Turbin *Cross flow* dengan Simulasi CFD

Heri Suropto<sup>1</sup>, Arifal Hidayat<sup>2</sup>

<sup>#</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pasir Pengaraian

<sup>\*</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pasir Pengaraian

Jl. Tuanku Tambusai, Kumu Rambah Hilir

E-mail: heri.suriptodotone@gmail.com

**Abstrak** — Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kemiringan sudut *runner* turbin jenis *cross flow* yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan daya 34,3 kW. Penentuan besar sudut *runner* turbin yang tepat dapat meningkatkan efisiensi turbin. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan metode simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan model turbulensi k-epsilon. Langkah simulasi CFD meliputi simulasi dengan memvariasikan besar sudut *runner* turbin yang digunakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut 30° dapat menghasilkan kecepatan sebesar 48,67 m/s pada *parametric distance* 19 simulasi ini menunjukkan kecepatan masuk sudut turbin mengalami peningkatan. Simulasi dilakukan pada keadaan *steady state* dengan kecepatan masuk turbin dibuat tetap.

**Kata Kunci** — CFD, kecepatan masuk *runner*, sudut *runner* turbin, Turbin *cross flow*.

**Abstract** — This study was conducted to analyze the impact of a cross-flow turbine runner angle that was used for micro-hydropower plants with a power of 34.3 kW. The precise determination of the right turbine runner angle can increase turbine efficiency. The research method used is by simulating the *Computational Fluid Dynamic* (CFD) method with the *Turbulent K-Epsilon* model. The CFD simulation step involves simulating by varying the large angle of the turbine runner used. Simulated results showed that a 30° angle could result in a speed of 48.67 m/s in the simulated *parametric distance* 19, indicating the speed of the turbine corner increased. Simulation is done at *steady-state* with the turbine inlet speed made fixed.

**Keywords** — CFD, cross-flow turbine, runner inlet speed, turbine runner angle.

## I. PENDAHULUAN

Gutu Birhanu Oliy dan Auch Venkata Ramayya (2017), memaparkan bahwa efisiensi turbin *Cross flow* dapat ditingkatkan melalui beberapa parameter turbin yang dianalisis oleh beberapa peneliti, seperti Khosrowpanah meneliti tentang pengaruh jumlah sudut, efisiensi meningkat dengan bertambah jumlah sudut dari 58° menjadi 90° dengan dilakukan pengurangan lebar *Runner*.

Hayati Olgun (1998), memaparkan bahwa dalam beberapa pemaparan turbin *Cross flow* dapat dioperasikan secara efisien. Pada tekanan konstan efisiensi turbin mengalami peningkatan pada diameter *runner* 0,67 dibandingkan dengan diameter 0,54, 0,58 dan 0,78. Durgin dan Fay (1984), memaparkan bahwa efisiensi maksimum sebesar 87% dengan uji eksperimen pada ekstraksi arus silang dengan pengamatan pola aliran *internal*.

Aziz dan Desai (1991), memaparkan bahwa efisiensi maksimum pada rasio diameter 0,68 pada uji

eksperimen dengan kecepatan dikontrol secara otomatis. Dari beberapa pembahasan literatur yang telah dipaparkan ini yang melatarbelakangi dilakukan penelitian, maka penelitian ini difokuskan pada Analisis Kecepatan Masuk Sudut *Runner* Turbin *Cross flow* dengan Simulasi CFD

### A. Deskripsi Model Numerik

#### 1. Perhitungan kecepatan air sebelum masuk

Kecepatan air masuk *runner* turbin dapat dihitung dengan persamaan (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$V_1 = C \sqrt{2gH} \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

#### 2. Perhitungan diameter luar *runner*

Diameter luar *runner* dapat dihitung dengan persamaan (Marco Sinagra dkk):

$$D_r = \frac{40 \cdot \sqrt{Hn}}{N} \quad (\text{m}) \quad (2)$$

### 3. Perhitungan panjang *runner*

Panjang *runner* dapat dihitung dengan persamaan (Marco Sinagra dkk):

$$L_r = \frac{Q}{D_r \cdot k \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}} \quad (\text{m}) \quad (3)$$

### 4. Perhitungan *pitch* dari lingkaran

Besar *pitch* dari lingkaran dapat dihitung dengan persamaan (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$p = 0,326 \cdot r_1 \quad (\text{m}) \quad (4)$$

### 5. Perhitungan lebar *rim radial*

Lebar *rim radial* dapat dihitung dengan persamaan (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$a = 0,17 D_r \quad (\text{m}) \quad (5)$$

### 6. Perhitungan jumlah *blade*

Jumlah *blade* dari *runner blade* dapat dihitung dengan persamaan (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$n = \frac{\pi D_r}{\tau} \quad (\text{m}) \quad (6)$$

### 7. Perhitungan *inner circle*

*Inner circle* dapat dihitung dengan persamaan (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$r_2 = 0,66 r_1 \quad (\text{m}) \quad (7)$$

### 8. Perhitungan *radius* lingkaran *pitch*

Radius lingkaran *pitch* dapat dihitung dengan persamaan (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$r_0 = 0,73 r_1 \quad (\text{m}) \quad (8)$$

### 9. Jarak pancaran dari pusat poros

Menurut (Nang Saing Nuet dkk 2016):

$$y_1 = (0,1986 - 0,945 k) D_r \quad (\text{m}) \quad (9)$$

### 10. Jarak pancaran dari tepi dalam *runner*

Menurut (Nang Saing Nuet dkk 2016):

$$y_2 = (0,1314 - 0,945 k) D_r \quad (\text{m}) \quad (10)$$

### 11. Perhitungan sudut tengah

Menurut (C. A. Mockmore dan Fred Merryfield 1949):

$$\delta = 2 \tan^{-1} \left( \frac{\cos \beta_1}{\sin \beta_1 + \left( \frac{r_2}{r_1} \right)} \right) \quad (^\circ) \quad (11)$$

### 12. Tebal *blade*

Menurut (Alief Avicenna Luthfie 2017):

$$t_b = K_1 \cdot D_r \quad (\text{m}) \quad (12)$$

### 13. Diameter *shaft*

Menurut (Alief Avicenna Luthfie 2017):

$$d_s = 0,22 \cdot D_r \quad (\text{m}) \quad (13)$$

### 14. Efisiensi turbin

Efisiensi turbin didefinisikan sebagai rasio *Output* daya turbin ke generator dan energi yang mengalir ke turbin (Zeina Bitar dkk 2015):

$$\eta_t = \frac{T_s \omega}{\rho Q g H_n} \quad (\%) \quad (14)$$

### 15 Efisiensi generator

Efisiensi generator dapat dihitung dengan persamaan (Kyu-Jung Chae dkk 2015):

$$\eta_g = \frac{P}{T_s \cdot \omega} \quad (\%) \quad (15)$$

### 16. Daya *output* generator

Daya *output* generator dapat dihitung dengan persamaan (Zeina Bitar dkk 2015)

$$P_g = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad \text{kW} \quad (16)$$

## B. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Dinesh Kumar dan Bhingole P. P (2015), memaparkan bentuk distribusi kecepatan untuk setiap daerah dalam bentuk profil tekanan dan kecepatan dapat disimulasikan pada simulasi CFD. Anup KC dkk (2016), memaparkan dalam keadaan *steady state* analisis simulasi CFD menunjukkan tidak membutuhkan perlakuan turbulensi yang kuat dibanding dengan keadaan *unsteady state*.

Iomax dkk (1999), memaparkan bahwa fenomena-fenomena fisis yang terjadi di sekitar benda uji dapat dianalisis dengan metode simulasi CFD, karena fenomena-fenomena tersebut sulit

diketahui oleh uji eksperimental. Oleh karena itu CFD banyak digunakan untuk menganalisis fenomena-fenomena tersebut.

langkah-langkah yang dilakukan dalam penggunaan metode CFD adalah sebagai berikut (Alief Avicenna Luthfie 2017):

1. Pendefinisian masalah dan persiapan geometri
2. Pemilihan *governing equations* dan *boundary condition*
3. Penilaian *gridding strategy* dan metode numeris
4. Penilaian dan interpretasi hasil

## II. METODE PENELITIAN

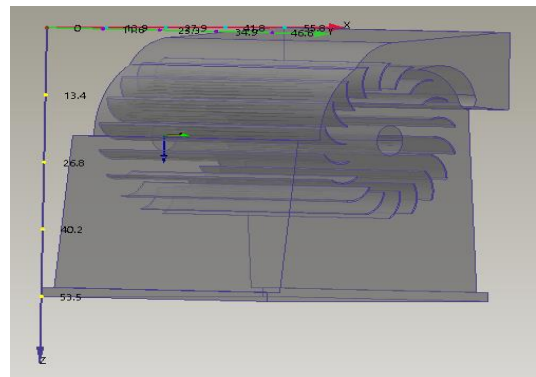
Dalam proses analisis, turbin yang dianalisis adalah jenis turbin *Cross Flow*, dimana turbin ini digunakan sebagai penggerak generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Simulasi yang digunakan untuk menganalisis turbin *Cross flow* ini adalah *Computational Fluid Dynamic (CFD)*, besar sudut *runner* turbin *Cross flow* akan divariasikan hingga didapat sudut yang optimal. Besar sudut yang akan disimulasi adalah  $20^\circ$  sampai  $32,5^\circ$ . dalam penelitian sebelumnya untuk daya 34,3 kW besar sudut *runner* yang digunakan adalah sebesar  $35^\circ$ .

Setelah turbin dirancang secara numerik maka tahap proses selanjutnya adalah mensimulasikan hasil perancangan tersebut kedalam simulasi CFD, dimana *input* tekanan setatis dan *output* dari simulasi adalah kecepatan *magnitude*. Untuk tahapan simulasi dapat dimulai dengan *input* sebagai berikut:

1. *Material input*
2. *Boundary Condition*
3. *Geometry Meshing*
4. *Solve*

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3.1 adalah gambar turbin hasil perancangan dimana turbin *Cross flow* dirancang dengan *software Pro Engineer Wildfire 5.0* yang kemudian akan disimulasikan kedalam simulasi CFD. Geometri dibuat dengan gambaran yang berbeda dan disederhanakan untuk *visual* penelitian.



Gambar 3.1 Profil tiga dimensi turbin *Cross flow*

### 1. Analisis CFD

#### a. *Geometry Meshing*

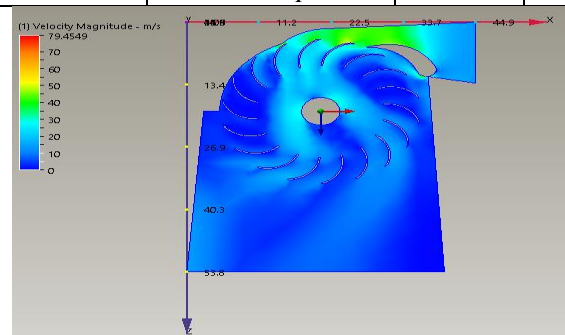
Inisial relatif *coarser mesh* kurang lebih 200.000 *cell* terdiri dari *tetrahedral* dan *hexahedral*. Dimana *BC inlet* adalah kecepatan dan *outlet* adalah tekanan. Ketelitian hasil *numeric CFD* dilihat pada *input mesh*.

#### b. *Boundary Condition*

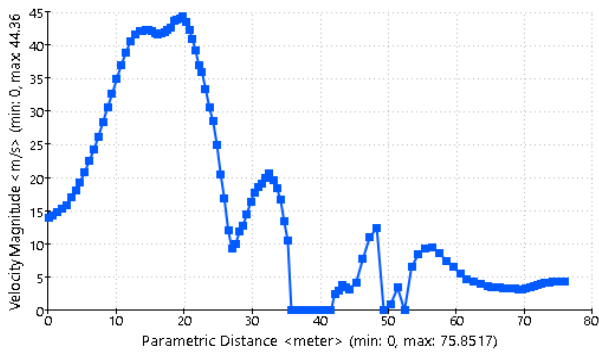
*Boundary conditions* digunakan menurut kebutuhan dari model. Nozel turbin dipertimbangkan sebagai saluran masuk kecepatan, dan saluran keluar turbin dipertimbangkan untuk tekanan. Sepesifik *wall* secara terpisah dengan respektif *boundary conditions*. Kondisi “*No slip*” adalah kondisi untuk setiap *wall*.

Tabel 3.1 *Boundary Condition*

<i>BC</i>	<i>BC type</i>	<i>Fluid</i>	<i>Unit</i>
<i>Inlet</i>	<i>Velocity inlet</i>	13,74	<i>m/s</i>
<i>Outlet</i>	<i>Pressure outlet</i>	0	<i>bar</i>
<i>Interface</i>	<i>Wall</i>	-	-
<i>Surface</i>	<i>Wall</i>	<i>No slip</i>	-
<i>Wall</i>	<i>No slip</i>	-	-

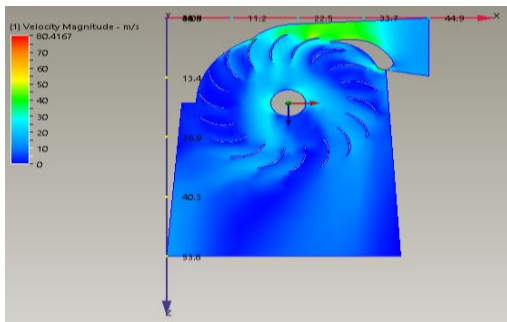


Gambar 3.2 Kecepatan *magnitude* sudut  $20^\circ$

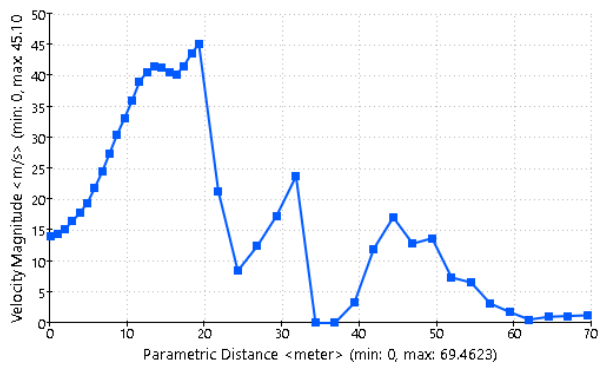


Gambar 3.3 Grafik kecepatan *magnitude* sudut 20°

Analisis CFD untuk sudut *blade* sudut 20° menghasilkan kecepatan *magnitude*. Pada grafik kecepatan *magnitude* dapat dianalisis, dan hasil simulasi menghasilkan kecepatan sebesar 44,36 m/s pada *parametric distance* 19 pada keluaran nozel atau kecepatan masuk sudu turbin

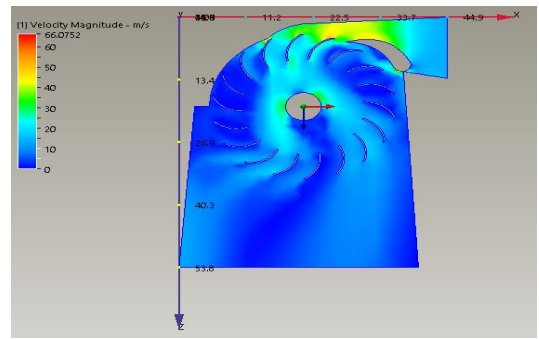


Gambar 3.4 Kecepatan *magnitude* sudut 25°

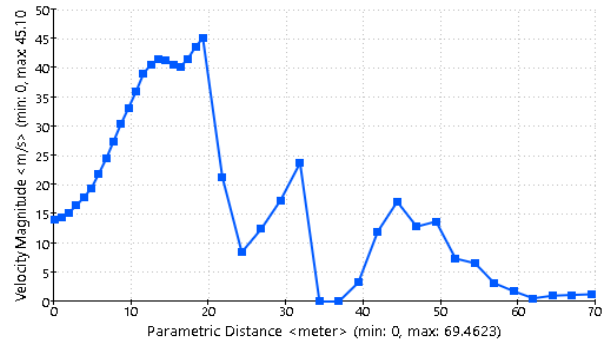


Gambar 3.5 Grafik kecepatan *magnitude* sudut 25°

Analisis CFD untuk sudut *blade* sudut 25° menghasilkan kecepatan *magnitude*. Pada grafik kecepatan *magnitude* dapat dianalisis, dan hasil simulasi menghasilkan kecepatann sebesar 43,45 m/s pada *parametric distance* 18 pada keluaran nozel atau kecepatan masuk sudu turbin mengalami penurunan.

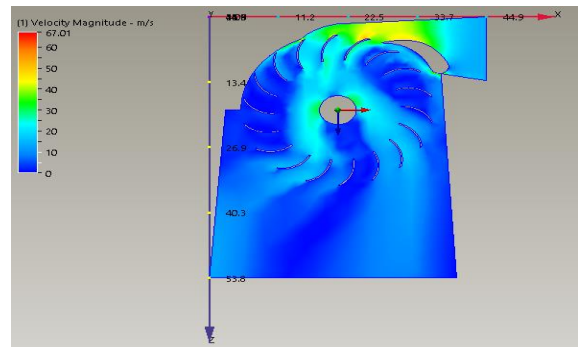


Gambar 3.6 Kecepatan *magnitude* sudut 27,5°

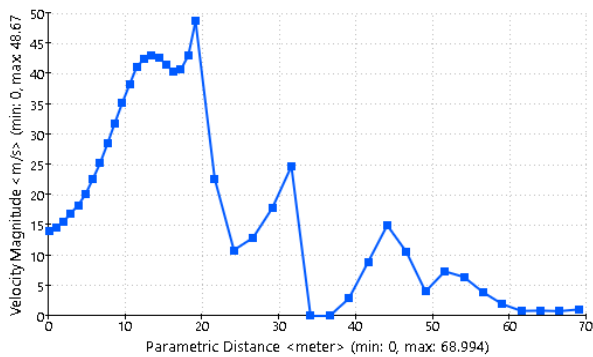


Gambar 3.7 Grafik kecepatan *magnitude* sudut 27,5°

Analisis CFD untuk sudut *blade* sudut 27,5° menghasilkan kecepatan *magnitude*. Pada grafik kecepatan *magnitude* dapat dianalisis, dan hasil simulasi menghasilkan kecepatan sebesar 45,10 m/s pada *parametric distance* 19 pada keluaran nozel atau kecepatan masuk sudu turbin mengalami peningkatan.

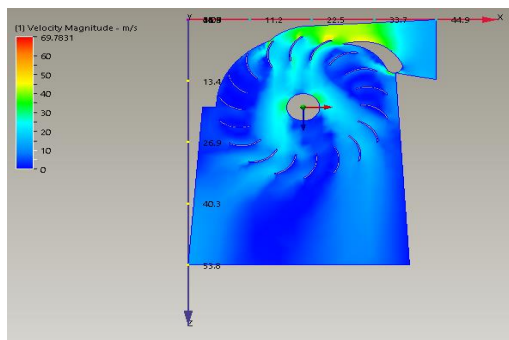


Gambar 3.8 Kecepatan *magnitude* sudut 30°

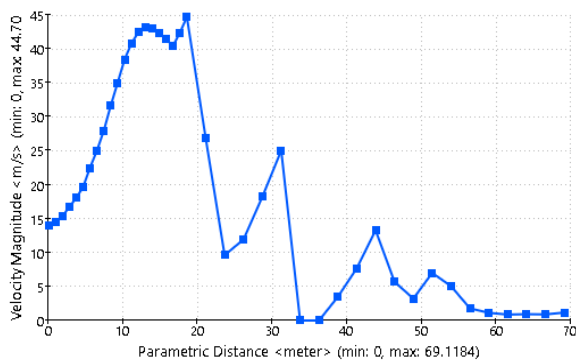


Gambar 3.9 Grafik kecepatan *magnitude* sudut 30°

Analisis CFD untuk sudut *blade* sudut 30° menghasilkan kecepatan *magnitude*. Pada grafik kecepatan *magnitude* dapat dianalisis, dan hasil simulasi menghasilkan kecepatannya sebesar 48,67 m/s pada *parametric distance* 19 pada keluaran nozel atau kecepatan masuk sudu turbin mengalami peningkatan.



Gambar 3.10 Kecepatan *magnitude* sudut 32,5°



Gambar 3.11 Grafik kecepatan *magnitude* sudut 32,5°

Analisis CFD untuk sudut *blade* sudut 32,5° menghasilkan kecepatan *magnitude*. Pada grafik kecepatan *magnitude* dapat dianalisis, dan hasil simulasi menghasilkan kecepatannya sebesar 44,70 m/s pada *parametric distance* 18 pada keluaran nozel

atau kecepatan masuk sudu turbin mengalami penurunan setelah naik pada sudut 30°.

Kecepatan air masuk turbin atau keluar nozel dalam analisis CFD *Boundary Condition Inlet* kecepatan sebesar 13,74 m/s ini telah divalidasi melalui simulasi. Kecepatan *magnitude* adalah dirubah melalui aliran *area cross-sectional* dari pipa melalui aliran yang fluktuasi. Kecepatan di dalam turbin dihitung melalui nilai maksimum dan minimum. Aliran kecepatan ini diilustrasikan bagaimana kecepatan yang melalui *blade* turbin bisa menaikkan *shaft* torsi turbin, dengan tujuan generator dapat menghasilkan daya yang lebih baik.

Visualisasi aliran pada gambar 3.2 dapat membantu menganalisis besar kecepatan *magnitude* pada turbin *cross flow*. Kecepatan meningkat secara teratur pada bagian *inlet* sudut *runner* menuju sisi masuk *runner* dan sedikit menurun pada sisi keluar *runner* turbin. Informasi kavitas dapat terlihat pada bagian sisi depan turbin, dimana kavitas merupakan fenomena penguapan pada tekanan rendah. Dimana tekanan rendah ditunjukkan pada gambar 3.2 yang berwarna biru.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil dari simulasi CFD berupa grafik yang telah dianalisis dapat diambil kesimpulan bahwa sudut *runner* yang optimal ditunjukkan pada sudut *runner* 30°. Simulasi CFD dilakukan untuk mendapatkan beberapa analisis diantaranya adalah kecepatan *magnitude*. Model simulasi CFD yang digunakan adalah CFD model turbulensi k-epsilon. Pada grafik hasil simulasi menerangkan bahwa pada sudut 30° dapat menghasilkan kecepatan *magnitude* sebesar 48,67 m/s pada *parametric distance* 19. Dimana simulasi dilakukan pada keadaan *steady state* dengan kecepatan masuk turbin dibuat tetap.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan *template* dan penerbitan artikel ini kedalam *journal.upp* (Aptek).

1. Dekan FT Teknik
2. Kaprodi Teknik Mesin
3. Pengelola *Journal APTEK UPP*

## DAFTAR PUSTAKA

- Gutu Birhanu Oliy, Auch Venkata Ramayya: *Design and Computational Fluid Dynamic Simulation Study of High Efficiency Cross Flow Hydro-power Turbine*, *International Journal of Science, Technology and Society* 2017, ISSN: 2330-7412 (Print); ISSN: 2330-7420 (Online)
- Hayati Olgun, “Investigation of the Performance of a CrossFlow Turbine”, *International Journal of Energy Research*, John Wiley & Sons, pp 953-964, 1998.
- Durgin W. W and Fay W. K, “Some Fluid Flow Characteristics of a Cross-Flow Type Hydraulic Turbine” *Small Hydro Power Fluid Machinery*, 1984, p77-83. *The Winter Annual meeting of ASME, New Orleans, L. A, December 9-14, 1984.*
- Nadim M. Aziz and V. R. Desai, “An Experimental Study of the Effect of Some Design Parameters in Cross-Flow Turbine Efficiency”, *Engineering Report, Department of Civil Engineering, Clemson University*, 1991.
- C. A. Mockmore, Fred Merryfield: *The Banki Water Turbine*, *Bulletin Series No. 25 February 1949.*
- Marco Sinagra, Vincenzo Sammartano, Costanza Aricò, Alfonso Collura, Tullio Tucciarelli: *Cross-Flow turbine design for variable operating conditions*, *Procedia Engineering* 00 (2014) 1539-1548.
- Nang Saing Nuet, myat Myat Soe, Aung Myat Thu: *Experimental Investigation of Cross-Flow Turbine*, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, Volume- 4, Issue-12, Dec.-2016 ISSN: 2320-2092.
- Alief Avicenna Luthfie: Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD), *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*: Vol. 06, No. 1, Februari 2017, ISSN 2549 – 2888.
- Zeina Bitar, Imad Khamis, Ziad Alsaka. SAMih Al Jabi: *Pre Feasibility Study for Construction of Mini Hydro Power Plant*, *Energy Procedia* 74 (2015) 404 – 413.
- Kyu-Jung Chae, In-Soo Kim, Xianghao Ren, Kyeong-Ho Cheon: *Reliable energy recovery in an existing municipal wastewater treatment plant with a flow-variable micro-hydropower system*, *Energy Conversion and Management* 101 (2015) 681–688.