

## STUDI NUMERIK PENGARUH SUDUT $\alpha$ NOSEL PADA BLADE ROTOR TURBIN UAP IMPLUS UNTUK SIKLUS RANKINE ORGANIK

Habibatu Nihayah<sup>1)</sup>, Aditya Eka Yuliadi<sup>2)</sup>, Teguh Hady Ariwibowo<sup>3),\*</sup>

<sup>1,3</sup> Sistem Pembangkit Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111.

<sup>2</sup> PT PLN (Persero) UPDK Minahasa, Jalan B.W Lapiaan, Tondano, Minahasa, Sulawesi Utara.

E-mail: \*teguhady@pens.ac.id

### Abstract

The Organic Rankine Cycle (ORC) is used to generate power from geothermal. It works at low temperature and pressure. The main component of ORC is the turbine, condenser, pump, and evaporator. Refrigerant R-134a was selected as working fluid. The kind of turbine which is used as the turbine is Impulse turbine. This research investigates the effect of Nozzle  $\alpha$  Angle on Rotor Blade of Impulse Steam Turbine. The Two-dimensional model of the turbine was done according to a certain condition. The variation of the Nozzle  $\alpha$  Angle is  $20^\circ$  and  $22^\circ$ . The Simulation was conducted on standard  $\kappa$ - $\epsilon$  turbulence model. The result of the simulation is pressure distribution decrease slowly on the rotor when the passage flows through the blade. The higher Nozzle  $\alpha$  Angle makes the pressure of the blade decrease. Velocity distribution decreases slowly when the fluid flows through the blade. At  $20^\circ$ , numerical simulation shows that the torque is 41.7 Nm and the power is 8.9 kW. Meanwhile, numerical simulation results that the torque is 41.1 Nm and the power is 8.7 kW, at  $22^\circ$ .

**Keywords:** Rotor Blade, ORC, Impulse Turbine, Nozzle  $\alpha$  Angle, R-134a.

### Abstrak

Siklus Rankine Organik (ORC) digunakan untuk menghasilkan daya dari panas bumi. ORC bekerja pada temperatur dan tekanan rendah. Komponen utama ORC adalah turbin, kondensor, pompa, dan evaporator. Fluida kerja yang dipilih pada penelitian ini adalah refrigerant R-134a. Jenis turbin yang digunakan adalah jenis turbin Impuls. Penelitian ini menyelidiki efek nosel sudut  $\alpha$  pada *blade* rotor di turbin uap implus. Pemodelan turbin dua dimensi dilakukan pada kondisi tertentu. Variasi sudut nosel  $\alpha$  adalah  $20^\circ$  dan  $22^\circ$ . Simulasi dilakukan pada model turbulensi standar  $\kappa$ - $\epsilon$ . Hasil dari simulasi yang dilakukan adalah menurunnya distribusi tekanan pada rotor secara perlahan ketika bagian *blade* teraliri. Nosel dengan sudut  $\alpha$  yang tertinggi mengakibatkan tekanan pada *blade* menurun. Distribusi kecepatan menurun perlahan ketika fluida kerja mengalir melalui *blade*. Pada variasi sudut  $20^\circ$ , simulasi numerik menunjukkan bahwa torsi adalah 41,7 Nm dan tenaganya 8,9 kW. Sementara itu pada variasi sudut  $22^\circ$ , hasil simulasi numerik bahwa torsi adalah 41,1 Nm dan dayanya 8,7 kW.

**Kata Kunci:** Blade Rotor, ORC, Turbin Impuls, Sudut  $\alpha$  Nosel, R-134a.

## PENDAHULUAN

Organic Rankine Cycle (ORC) adalah salah satu teknologi yang dapat memanfaatkan energi panas bumi. Siklus ORC adalah modifikasi siklus Rankine yang

dapat bekerja di bawah tekanan dan temperatur rendah dengan menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja. Komponen utama pada ORC adalah turbin, kondensor, pompa, dan evaporator sebagai pengganti boiler (Kurnianto dkk, 2013). ORC dapat menggunakan sumber dengan temperatur 50 C- 350 C. Pemilihan refrigerant sebagai fluida kerja disebabkan oleh karakteristik refrigerant yang dapat menguap pada temperatur ambient. Dalam penelitian ini, R-123 dipilih sebagai cairan kerja karena memiliki temperatur penguapan kurang dari 95 ° C dan temperatur kondensasi lebih tinggi dari 45°C. Sehingga mampu digunakan pada sistem ORC pada tekanan kerja 7 bar.

Turbin uap merupakan salah satu alat konversi energi yang merubah energi potensial yang dimiliki oleh uap menjadi energi mekanik pada poros turbin. Pada umumnya turbin uap adalah suatu mesin yang memanfaatkan fluida kerja uap *superheat* yang berasal dari hasil pemanasan air di dalam boiler (Arismunandar, 1988). Namun pada siklus ORC fluida kerja yang digunakan untuk memutar turbin uap adalah fluida kerja organik seperti *silicone oil*, *hydrocarbon*, dan *flourocarbons*. Karena turbin uap bekerja pada tekanan yang tinggi sehingga terdapat partikel-partikel seperti silikon, sulfur dan elemen lainnya. Elemen-elemen tersebut akan berdampak pada internal parts dari turbin uap, hal ini dikarenakan karena adanya erosi pada bagian *blade* turbin sehingga dapat mempengaruhi performance dari turbin uap. Selain itu terjadinya fenomena vibrasi akibat interaksi antara fluida dan *blade* turbin akan mengakibatkan penurunan performance dari turbin uap. Untuk mengetahui fenomena aliran, karakteristik aliran dan distribusi tekanan yang terjadi di dalam turbin uap perlu dilakukan simulasi numerik menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Penelitian ini menyelidiki pengaruh nosel sudut  $\alpha$  pada bilah rotor di turbin uap implus dengan variasi sudut nosel  $\alpha$  adalah 20° dan 22°.

## METODE PENELITIAN

Turbin uap dirancang untuk menghasilkan kekuatan 11 kW. Tingkat aliran massa, densitas fluida, enthalpi, dan viskositas adalah 0,4206 kg / s, 29,158 kg / m<sup>3</sup>, 416,42 kJ/kg, dan 0,0012838 kg/m-s. Laju aliran massa diperoleh dengan mengasumsikan efisiensi isentropik turbin sebesar 80%. Dengan kondisi aliran fluida yang masuk turbin memiliki tekanan sebesar 5 bar dan temperatur 86°C. Sedangkan aliran fluida yang keluar turbin memiliki tekanan 1 bar dengan temperatur sebesar 37°C.

Turbin uap menggunakan nosel konvergen-divergen, nosel telah dipilih untuk tekanan keluar nosel ( $P_2$ ) lebih kecil dari tekanan kritis ( $P_{KR}$ ). Hasil desain yang diperoleh dari dimensi nosel sebagai berikut:

Tabel 1. Dimensi nosel

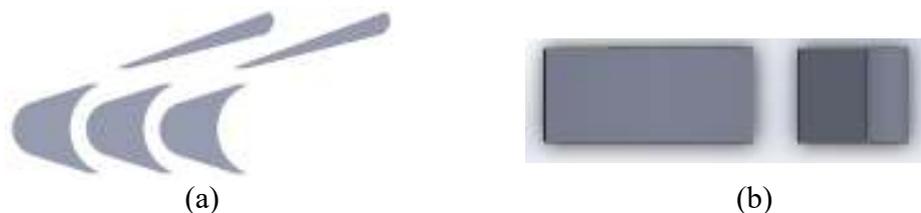
Komponen	Nilai	Satuan
ukuran maks ( $A'max$ )	70,6	mm <sup>2</sup>
ukuran min ( $A'min$ )	40,74	mm <sup>2</sup>
tinggi nosel ( $l$ )	11	mm
Jumlah nosel ( $Z$ )	4	Pcs
Lebar maks ( $max$ )	6,42	mm
Lebar min ( $menit$ )	3,7	mm
Panjang divergensi	25,94	mm

Tabel 2 memperlihatkan model fisik turbin yang disimulasikan dan dimensinya. Nosel dan rotor adalah tahap pertama dari turbin. Dalam pemodelan gerakan nosel dan blade, dipilih domain konfigurasi blade gerakan impuls tanpa nosel. Selain kemudahan analisis, pendekatan ini dimaksudkan untuk menghemat biaya komputasi.

Tabel 2. Dimensi nosel dan blade rotor

Komponen	Nilai	Satuan
Tinggi sisi inlet blade ( $l_1$ )	12,95	mm
Tinggi sisi outlet blade ( $l_2$ )	21,3	mm
Ketebalan blade ( $s$ )	2	mm
Lebar blade ( $b$ )	20	mm
Radius kelengkungan luar ( $R$ )	10,64	mm
nomor blade ( $Z$ )	70	pcs
Pitch( $t$ )	15,589	mm
Radius kelengkungan( $r$ )	5,88	mm

Untuk detail lebih lanjut konfigurasi dapat dilihat pada gambar berikut



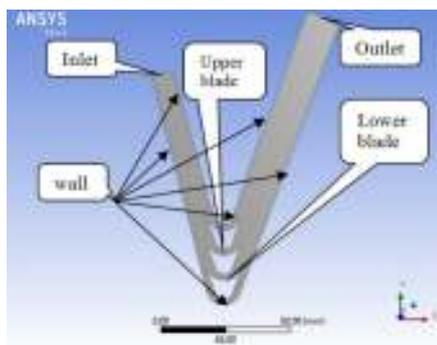
Gambar 1. a. Tampilan atas b. tampilan samping turbin impuls

Sudut  $\alpha$  yang disarankan dari nosel ke turbin adalah  $16^\circ$ - $22^\circ$ . Berikut adalah komponen kecepatan uap pada baris pertama dan kedua.

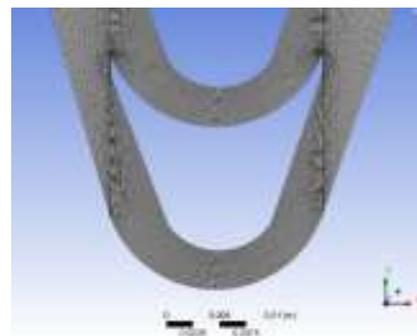
Tabel 3. Komponen Kecepatan Uap pada baris pertama dan kedua

Komponen	Baris <sup>ke-1</sup>	Baris <sup>ke-2</sup>	Satuan
$C_1$	227,344	110,6732	m/s
$U$	196,73	196,73	m/s
$\alpha_1$	16	25,6475	derajat
$w_1$	175,541	65,865	m/s
$w_2$	166,174	62,572	m/s
$\alpha_2$	27,6475	102,8773	derajat
$\beta_1$	20,915	46,659	derajat
$\beta_2$	18,915	44,659	derajat
$C_2$	116,4981	45,116	m/s

Gambar 2 menunjukkan sudut inlet dan outlet rotor. Sudut adalah representasi dari sudut  $\alpha$  nosel. Variasinya adalah  $20^\circ$  dan  $22^\circ$ . Variasi sudut  $\alpha$  nosel menghasilkan perbedaan dalam distribusi tekanan dan gaya pada setiap sudut  $\alpha$  nosel. Sisi masuk dari kondisi batas didefinisikan sebagai kecepatan inlet  $48,8935 \text{ m/s}$ . Sisi output dari kondisi batas didefinisikan sebagai tekanan outlet dengan tekanan  $1 \text{ bar}$ . Bagian atas dan bawah domain, blade bawah dan atas didefinisikan sebagai dinding.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Kondisi Batas Simulasi (b) Mesh rotor turbin uap

Dalam penelitian ini, domain utama dibagi menjadi beberapa domain kecil. Hal ini bertujuan untuk menyederhanakan proses *meshing*. Proses utamanya adalah penentuan metode *meshing*. Metode dominan quad otomatis yang dipilih untuk metode ini akan menghasilkan sel dominan dalam *mesh* persegi panjang. Kemudian, dipilih ukuran tipe mesh edge lokal untuk menghasilkan *mesh* halus di sisi tepi domain.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil simulasi menggunakan ANSYS FLUENT dan perhitungan manual menggunakan persamaan segitiga kecepatan. Perhitungan manual digunakan sebagai validasi simulasi numerik. Simulasi dilakukan dengan variasi sudut  $\alpha$  nosel  $20^\circ$  dan  $22^\circ$ . Parameter yang diamati adalah gaya, torsi, dan efisiensi turbin di setiap variasi. Karena turbin memiliki empat nosel, maka untuk menganalisis kecepatan fluida pada nosel dihitung sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \times V \times 4A \quad (7)$$

Untuk menentukan kompresi aliran, digunakan *Mach Number* :

$$M = \frac{v}{c} \quad (8)$$

Menurut tabel 4, daya, torsi, dan efisiensi turbin pada sudut nosel dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

- Daya

$$P = \frac{\dot{m}}{102g} U(C_{1u} - C_{2u}) \quad (9)$$

- Torsi

$$\tau = \frac{\dot{m}}{g} \bar{R}(C_{1u} - C_{2u}) \quad (10)$$

- Efisiensi

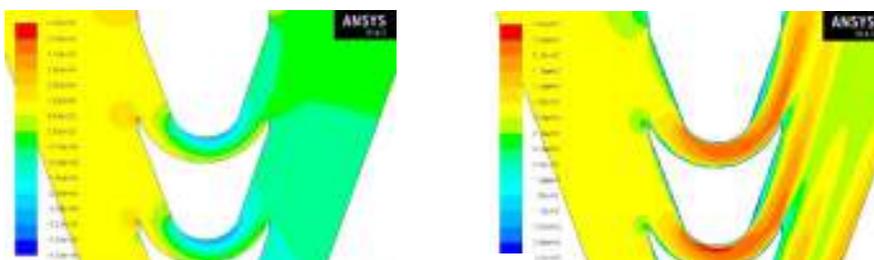
$$\eta = \frac{2U(C_{1u} - C_{2u})}{C_{1t}^2} \times 100\% \quad (11)$$

Hasil penghitungan variasi sudut  $\alpha = 20^\circ$  dan  $\alpha = 22^\circ$  dapat ditabulasi sebagai berikut :

Tabel 4. Perhitungan daya, torsi, dan efisiensi dengan menggunakan kecepatan segitiga

Parameter	$20^\circ$	$22^\circ$	Satuan
Torsi(t)	41,471	40,402	Nm
Daya (P)	8,742	8,516	Kw
Efisiensi (h)	80,742	78,663	%

Dalam variasi sudut  $\alpha = 20^\circ$ , tekanan terbesar adalah 14,2 kPa, dan menurun hingga -3,18 kPa. Gangguan tekanan pada *blade* bawah berkaitan dengan peningkatan kecepatan aliran di *blade* bawah dari *leading edge* ke *trailing edge*. Hal ini dapat diamati dalam kontur kecepatan pada Gambar 4b.

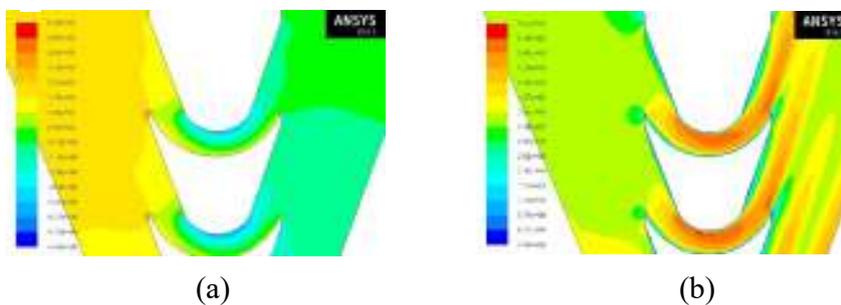


(a)

(b)

Gambar 4. (a) Distribusi Tekanan Sudut  $\alpha = 20^\circ$  (b) Distribusi Kecepatan Sudut  $\alpha = 20^\circ$

Di zona ini, titik stagnasi muncul yang disebabkan oleh pengereman adiabatik dan tanpa gesekan. Pada titik ini, Tekanan memiliki nilai terbesar jika dibandingkan dengan tekanan pada area lain. Kemudian aliran yang masuk dibagi menjadi dua bagian, satu bagian melewati permukaan *blade* atas sementara bagian lain melewati permukaan bawah *blade*. Di tengah permukaan atas *blade*, kecepatan telah meningkat secara signifikan dari 39,8 m / s menjadi 55,8 m / s. Hal ini disebabkan oleh kesamaan waktu transit fluida yang melewati permukaan atas dan bawah. Dengan demikian, sisi atas kecepatan fluida harus lebih besar dari sisi bawah. Ini adalah karakter aliran yang tidak dapat dikompresi.



(a)

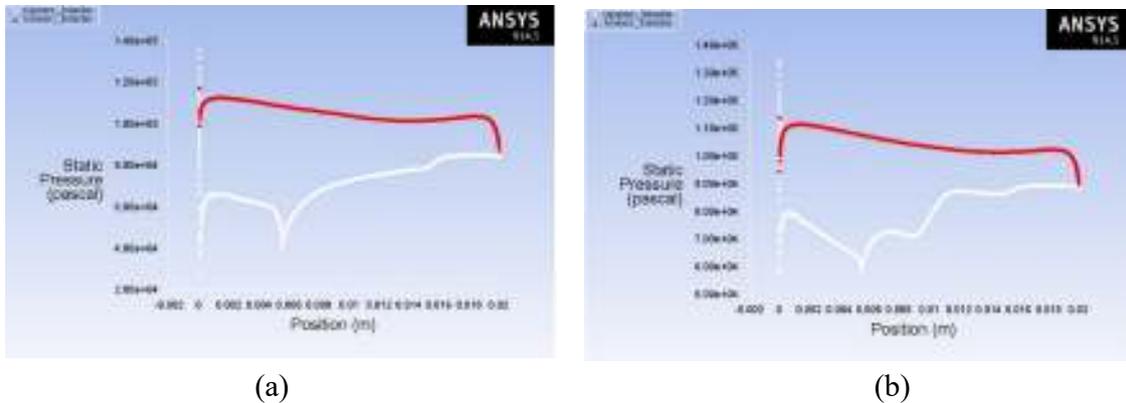
(b)

Gambar 5. (a) Distribusi Tekanan Sudut  $\alpha = 22^\circ$  (b) Distribusi Kecepatan Sudut  $\alpha = 22^\circ$

Pada gambar 5a, menunjukkan variasi distribusi tekanan dari *leading edge* ke *trailing edge*. Ketika *exhaust* nosel mengenai *leading edge*, tekanannya adalah 17,5 kPa. Uap mengalir melalui sisi *blade* turbin diikuti oleh penurunan tekanan, tekanan menurun secara bertahap dari 17,5 kPa menjadi -4,13 kPa. Setelah uap melewati *trailing edge*, tekanan uap meningkat menjadi -4,13 kPa. Ini menunjukkan uap yang telah melewati *blade* memiliki kecepatan konstan dan tekanan konstan. Pada *blade* atas, tekanan menurun hingga mencapai nilai -40,2 kPa. Penurunan tekanan ini menunjukkan kecepatan tinggi 56,8 m / s. Fenomena ini dapat dilihat pada gambar 5b.

Pada variasi  $\alpha = 22^\circ$ , kecepatan yang melewati *blade* bawah adalah 43,7 m/s. Kecepatan ini meningkat untuk melintasi *blade* bawah menjadi 56,8 m/s. Pada *leading edge* aliran fluida masuk dengan kecepatan rendah, dengan kecepatan aliran sebesar 30,6 m/s. Kemudian arus masuk terbagi menjadi dua, aliran pertama mengalir melewati *blade* atas sementara yang lain melewati *blade* bawah. Pada *blade* bawah, kecepatan

meningkat secara bertahap dari *leading edge* ke *trailing edge*. Hal ini dapat dilihat pada gradasi warna dalam kontur kecepatan pada  $\alpha = 22^\circ$ . Setelah melewati *trailing edge*, kecepatan uap turun secara bertahap sampai mencapai kecepatan konstan.



Gambar 6. (a) Distribusi tekanan pada  $\alpha=20^\circ$  (b) Distribusi tekanan pada  $\alpha=22^\circ$

Pada gambar 6a, tekanan bervariasi di permukaan atas dan bawah. Tekanan menurun secara konstan setelah aliran uap melalui turbin. Akan tetapi tekanan menurun tajam pada *blade* bawah. Karena bentuk profil *blade* bawah yang memiliki lengkungan *streamline* sehingga aliran dapat terpisah dengan mudah. Fenomena ini juga dipengaruhi oleh *streamline* nosel yang menyebabkan perubahan tekanan secara drastis. Pada gambar 6b, distribusi tekanan di sisi bawah memiliki profil yang mirip dengan gambar sebelumnya, namun tekanannya lebih rendah dari pada tekanan pada sudut  $\alpha = 20^\circ$ . Karena fluida lebih miring ke arah horizontal sehingga terjadi penurunan tekanan di *leading edge*. Sedangkan, alirannya lebih mudah dipisahkan di sisi atas *blade*.

Setelah melakukan perhitungan solusi analitik dan numerik dari data daya yang dihasilkan, torsi, dan efisiensi turbin uap, seperti yang terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan antara Solusi Analitis dan Numerik

Parameter	Solusi Analitis			Parameter	Solusi Numerik		
	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 22^\circ$	Satuan		$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 22^\circ$	Satuan
Torsi	41,471	40,402	Nm	Torsi	41,748	41,144	Nm
Daya	8,742	8,516	kW	Daya	8,904	8,776	kW
Efisiensi	80,742	78,663	%	Error Torsi	1,847	2,914	%
				Error daya	0,670	1,842	%

Dari hasil ini, torsi dan daya terbesar pada solusi secara analitik adalah 41,471 Nm dan 8,742 kW pada  $\alpha = 20^\circ$ . Sedangkan dalam solusi secara numerik, torsi dan daya terbesar adalah 8,904 Nm dan 41,748 kW pada  $\alpha = 20^\circ$ . Efisiensi juga

mengalami penurunan ketika sudut  $\alpha$  semakin besar . Dari tabel 5 ditunjukkan bahwa eror daya terbesar adalah 1,842% ( $\alpha = 22^\circ$ ) dan eror terkecil dari daya adalah 0,670% ( $\alpha = 20^\circ$ ). Kemudian, eror torsi terbesar adalah 2,914% ( $\alpha = 20^\circ$ ) dan eror torsi terkecil adalah 1,847%. Nilai eror ini adalah hasil dari pengaruh *mesh* dan model fisik pada simulasi. Nilai eror tersebut dapat ditoleransi karena nilainya kurang dari 10%.

## SIMPULAN

Berdasarkan konsep kecepatan-triangle dan simulasi numerikal, efek perubahan sudut  $\alpha$  nosel terhadap torsi, daya dan efisiensi dapat diketahui. Peningkatan sudut  $\alpha$  nosel menyebabkan penurunan torsi, daya, dan efisiensi turbin uap. Distribusi tekanan pada *blade* turbin akan menurun perlahan ketika fluida mengalir melalui turbin. Meningkatnya sudut  $\alpha$  menyebabkan penurunan tekanan pada *blade*. Di sisi bawah, distribusi tekanan tidak terlalu berfluktuasi. Sedangkan di sisi atas, tekanan berfluktuasi. Hal ini disebabkan oleh adanya pemisahan aliran di sisi atas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. (1988). *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: Penerbit ITB.
- Kurnianto, F., & Prabowo (2013). *Studi Numerik Pengaruh Variasi Jarak Antar Gigi, Tinggi Gigi, Tekanan Inlet dan Kecepatan Putaran Poros Turbin ORC Pada Refrigerant R123 Melewati Labirin Seal Tipe Balance Drum*. Jurnal Teknik POMITS, Vol. 2, No. 1, pp B26-B30.
- Mardhanu, Ardyan A., & Prabowo (2011). *Analisa Numerik Dua Dimensi pada Sudu Gerak Turbin Uap Organic Rankine Cycle (ORC) Untuk Fluida Kerja R-123 Variasi Sudut Nozzle ( $\alpha=16^\circ, 18^\circ$ )*. Bachelor Final Project: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Surabaya).
- Prafulla, Ms. B. K., Babu, V. C., & Rao, S. P. G. (2013). *CFD Analysis of Convergent-Divergent Supersonic Nozzle*. International Journal of Computational Engineering Research, vol. 03, no. 5.
- Yuliadi, A. E., & Ariwibowo, T. H. (2015). *Studi Numerik Dua Dimensi pada Sudu Gerak Turbin Uap Impuls dengan Variasi Sudut  $\alpha$  Nosel*. Prosiding Seminar Nasional Energi 4, Jember.