

UNJUK KERJA TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL BER-ENGSEL DENGAN MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*

Kennie A. Lempoy

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi Manado

Abstrak

Salah satu potensi sumber daya alam di Indonesia terutama potensi air sungai sangat banyak, dimana pada air sungai salah satu potensi energi yang sangat besar adalah energi kinetik akibat adanya kecepatan aliran dan bila kecepatan aliran ini dapat dimanfaatkan dengan baik, maka krisis energi di Indonesia dapat diatasi. Dari permasalahan tersebut, perlu dipikirkan adanya upaya untuk meningkatkan kinerja dari turbin kinetik yang akan berfungsi sebagai pembangkit listrik di pedesaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi yang optimum terhadap kinerja turbin kinetik poros vertikal menggunakan sudu ber-engsel. *Response Surface Method* digunakan untuk mendapatkan persamaan matematika kinerja turbin pada kondisi yang optimum. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan pada turbin sudu lengkung maupun sudu mangkok antara lain; kecepatan aliran divariasikan: 1,7; 2,2; dan 2,7 m/dtk, sudut pengarah aliran divariasikan dengan 30° , 40° , dan 50° . dan putaran turbin adalah 35, 45, dan 55 rpm. Dari hasil pengamatan dan analisis didapat Model Empiris Pengujian Model *Full Quadratic* untuk daya turbin sudu lengkung berdasarkan model analisis *response surface* didapatkan model matematika yaitu: $Y = 4,24 - 0,159X_1 + 0,422X_2 + 0,720X_3 - 0,21X_1^2 - 0,36X_2^2 + 0,058X_1^2 + 0,118X_1.X_2 - 0,071X_1.X_3 + 0,141X_2.X_3$ dan model *Full Quadratic* efisiensi turbin sudu lengkung berdasarkan model analisis *response surface* didapat model matematika yaitu: $Y = 6,71 + 0,98X_1 - 3,99X_2 + 1,11X_3 - 0,54X_1^2 + 0,68X_2^2 + 0,05X_3^2 - 0,54X_1.X_2 - 0,13X_1.X_3 - 0,37X_2.X_3$. Untuk daya turbin sudu mangkok berdasarkan model analisis *response surface* didapatkan model matematika yaitu: $Y = 6,193 - 0,17X_1 + 0,56X_2 + 0,94X_3 - 0,25X_1^2 - 0,4X_2^2 - 0,21X_3^2 + 0,25X_1.X_2 - 0,23X_1.X_3 + 0,24X_2.X_3$ dan model *Full Quadratic* efisiensi turbin sudu mangkok berdasarkan model analisis *response surface* didapat model matematika yaitu: $Y = 10,36 + 1,97X_1 - 6,38X_2 + 1,51X_3 - 0,62X_1^2 + 1,31X_2^2 - 0,04X_3^2 - 0,95X_1X_2 - 0,54X_1X_3 - 0,32X_2X_3$. dengan: $X_1 =$ Sudut pengarah ($^{\circ}$), $X_2 =$ Kecepatan aliran (m/dtk), dan $X_3 =$ Putaran turbin (rpm).

Kata Kunci : Energi air, Potensi energi, Turbin kinetik, *Response Surface Methodology*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Meningkatkan taraf hidup yang berkesinambungan bagi masyarakat pedesaan adalah dengan cara mengembangkan sumber-sumber energi yang ada disekitar. Untuk itu sumber energi alternatif khususnya energi terbarukan sangatlah diperlukan, salah satu energi tersebut adalah energi air. Energi air ini digunakan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran).

Beberapa penelitian dilakukan mengenai turbin kinetik, salah satunya dilakukan oleh Bo Yang dan Chris Lawn, 2011; penelitian dilakukan untuk mengetahui kinerja dinamik fluida turbin dengan menggunakan sumbu vertikal, prinsip kerja turbin ini adalah sudu dapat terbuka oleh adanya aliran air pada sisi kerja silinder yang berputar sampai pada posisi terbuka penuh. Penelitian lainnya dilakukan oleh S.J. Williamson dkk, 2012; penelitian dilakukan untuk mendapatkan kinerja dari Turbin Turgo Pico-Hidro.

Turbin kinetik pada penelitian ini menggunakan poros vertikal dengan memanfaatkan kecepatan aliran air pada permukaan sungai, poros diletakkan secara vertikal dengan harapan agar pemasangan generator lebih mudah. Sudu turbin berjumlah 8 buah, bentuk sudu yang digunakan bentuknya lengkung dan bentuk mangkok, sudu dilekatkan dengan menggunakan engsel pada runner turbin.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dan latar belakang di atas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana optimasi kinerja turbin bentuk sudu lengkung dengan menggunakan RSM?
2. Bagaimana optimasi kinerja turbin bentuk sudu mangkok dengan menggunakan RSM?
3. Bagaimana hasil perbandingan antara jenis sudu lengkung dan sudu mangkok?

Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kombinasi parameter-parameter: putaran, sudut pengarah dan kecepatan aliran untuk mendapatkan efisiensi dan daya turbin pada turbin kinetik poros vertikal.

Manfaat dan Kontribusi Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Membantu memecahkan masalah kekurangan energi listrik didaerah pedesaan,
2. Mengetahui unjuk kerja optimal pada turbin kinetik poros vertikal dengan sudu berengsel,

3. Memberikan masukan terhadap pengembangan pemanfaatan turbin kinetik, dan
4. Sebagai bahan arahan sumber data kepada peneliti dan perencana lain-nya.

Sedangkan kontribusi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kontribusi ke masyarakat; dapat dinikmati oleh masyarakat pedesaan dengan biaya pembuatan dan operasi yang relatif lebih murah.
2. Kontribusi terhadap lingkungan; pengoperasian dan hasil dari turbin kinetik ini tidak menimbulkan polusi terhadap lingkungan.
3. Kontribusi terhadap dampak nasional; hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat yang tinggal di daerah-daerah pedesaan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Ali Arslan, dkk. 2011; mendesain dan membuat turbin dengan memanfaatkan aliran sungai untuk pembangkit listrik. Bo Yang, dan Chris Lawn, 2011; menggunakan sudu terbuat dari lempengan pelat baja yang di-roll menjadi bentuk setengah lingkaran, setiap sudu dilekatkan pada poros dengan menggunakan engsel. Turbin ini dinamakan turbin Hunter, torsi yang dihasilkan akan menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga yang dapat diubah menjadi listrik oleh generator. Golecha, dkk. 2011; melakukan investigasi untuk mendapatkan kinerja dari suatu modifikasi turbin air jenis savonius dengan menggunakan 1 dan 2 pelat pengarah yang berfungsi untuk mengarahkan aliran air agar lebih tepat mengenai permukaan bagian depan sudu. Soenoko, dkk. 2011; melakukan penelitian untuk mengetahui kinerja dari prototipe turbin kinetik roda ganda sebagai sumber tenaga listrik pedesaan, tujuan penelitian ini untuk meminimalisasi tekanan balik aliran air. S.J. Williamson, dkk. 2012; melakukan penelitian untuk mendapatkan kinerja dari Turbin Turgo Pico-Hidro yang dilakukan pada aliran air dengan head rendah.

Semua penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin kinetik yang lebih optimal, seperti halnya pada penelitian ini. Poros turbin kinetik yang digunakan adalah poros vertikal dan memanfaatkan kecepatan aliran pada permukaan sungai, turbin ini menggunakan sudu yang berbentuk melengkung dan mangkok serta dilekatkan dengan engsel pada runner turbin.

Turbin Kinetik

Turbin kinetik adalah turbin yang mengandalkan kecepatan air, sehingga turbin jenis ini tidak membutuhkan tinggi jatuh (*head*). Turbin kinetik memiliki beberapa komponen utama antara lain :

1. *Runner*, meliputi 3 bagian utama, yaitu
 - a. Poros turbin,
 - b. Cakram turbin, dan
 - c. Sudu turbin.
2. Pengarah aliran masuk turbin

Daya Turbin Kinetik

Daya turbin kinetik ditentukan oleh besar daya yang dihasilkan oleh aliran tersebut, untuk daya air yang mengalir pada suatu penampang saluran adalah:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v^2 \dots\dots\dots (1)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas $Q = A \cdot v$ maka:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- P_a = Daya air (Watt).
- ρ = Massa jenis air (kg/m^3).
- A = Luasan pengarah saluran air menumbuk sudu turbin (m^2).
- v = Kecepatan aliran (m/s).

Menurut Arismunandar 2004, untuk menghitung besar daya turbin adalah:

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots (3)$$

diketahui $T = F_t \cdot R$ dan $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$

dengan:

- P_t = Daya turbin (Watt).
- T = Torsi (Nm).
- ω = Kecepatan *angular* (Radian/s).
- R = Radius *Pully* (m).
- n = Putaran poros atau roda turbin (rpm).
- F_t = Gaya tangensial (N).

Efisiensi Turbin Kinetik

Efisiensi turbin kinetik ditentukan oleh perbandingan antara daya air yang masuk dengan besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin;

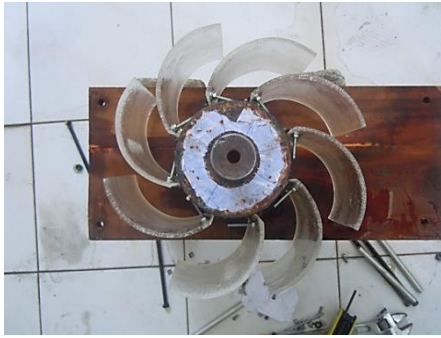
$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :

- η = Efisiensi (%)
- P_t = Daya Turbin (Watt)
- P_a = Daya Air (Watt)

Sudu Turbin

Bentuk sudu yang digunakan adalah bentuk sudu melengkung dan bentuk sudu mangkok, dalam penelitian ini sudu tersebut dihubungkan dengan engsel pada cakram turbin.



Gambar 1: Bentuk sudu melengkung



Gambar 2: Bentuk sudu mangkok

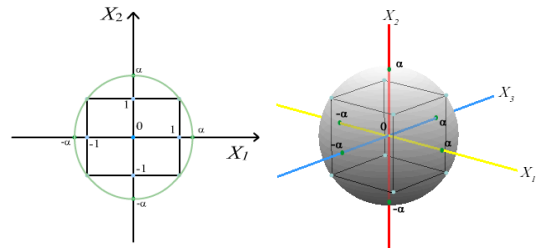
Metode Response Surface

Response Surface Methodology (RSM) adalah suatu himpunan metode matematika dan statistik yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu atau lebih variabel perlakuan berbentuk respon dalam suatu penelitian. Montgomery (2001). Metode *Response Surface* dapat digunakan untuk:

1. Menentukan proses optimal pada suatu sistem dengan cara memaksimalkan atau meminimumkan suatu respon.
2. Mereduksi variasi dengan menggunakan teknik POE (*Propagation Error*).

Central Composite Design (CCD)

Central Composite Design (CCD) adalah sebuah rancangan percobaan yang terdiri dari rancangan 2^k faktorial dengan ditambahkan beberapa *center runs* dan *axial run* (Vanderman, 1998). *Central Composite Design* untuk $k=2$ dan $k=3$ secara visual ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. *Central Composite Design* untuk $k=2$ dan $k=3$

Sumber: Vanderman, 1998

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

1. Runner Turbin meliputi 2 bagian utama, yaitu poros turbin dan cakram turbin. Poros turbin dibuat dari bahan aluminium, sedangkan cakram turbin terbuat dari bahan baja.
2. Sudu turbin dibuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 2 mm,
3. Saluran pengarah Aliran air.

ALAT UKUR

Alat ukur yang digunakan:

1. Neraca pegas,
2. Flowmeter digital,
3. Tachometer.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri atas :

- a. Variabel bebas; Variabel bebas yang ditetapkan adalah:
 1. Besar variasi sudut pengarah aliran adalah : 30° , 40° dan 50° .
 2. Kecepatan aliran divariasikan antara lain: 1,7; 2,2 dan 2,7 (m/dtk).
 3. Putaran turbin; 35, 45, 55 rpm.
- b. Variabel terikat; Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:
 1. Daya turbin (watt)
 2. Efisiensi turbin (%)
- c. Variabel kontrol; Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

Jumlah sudu 8 buah

Metode Penelitian dan Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, perangkat penelitian dibuat dengan ukuran skala laboratorium. Pengujian ini untuk mengetahui kinerja dari suatu turbin kinetik poros vertikal dengan bentuk sudu lengkung dan bentuk sudu mangkok. Pengolahan data digunakan *Response Surface Methodology* (RSM), tabel 1 menunjukkan rancangan percobaan orde kedua untuk $k = 3$ dengan menggunakan CCD.

Tabel 1. Rancangan percobaan orde kedua untuk k = 3 dengan CCD

No.	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,682	0	0
10	+1,682	0	0
11	0	-1,682	0
12	0	+1,682	0
13	0	0	-1,682
14	0	0	+1,682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

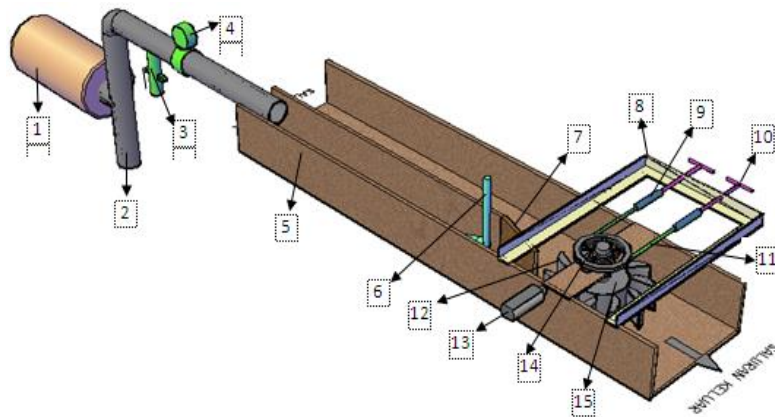
Berdasarkan variabel bebas yang digunakan maka ditentukan level dari variabel bebas seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Level variasi bebas

Nama Variabel	Sudut Pengarah (°) X ₁	Kecep. Aliran (m/dtk) X ₂	Putaran Turbin (rpm) X ₃
Level Rendah (-1)	30	1,7	35
Level Tengah (0)	40	2,2	45
Level Tinggi (+1)	50	2,7	55

Instalasi Alat Penelitian

Gambar Instalasi penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Tabel 3. Keterangan Gambar instalasi penelitian tampak tiga dimensi

No	Komponen	No	Komponen	No	Komponen	No	Komponen
1	Pompa	5	Saluran Air	9	Pegas	13	Tachometer
2	Pipa Isap	6	Flowwatch	10	Tuas Bebas	14	Pully
3	Katup Buang	7	Pengarah Aliran	11	Tali Penghubung	15	Runner
4	Flowmeter	8	Dudukan Pegas	12	Sudu Turbin		

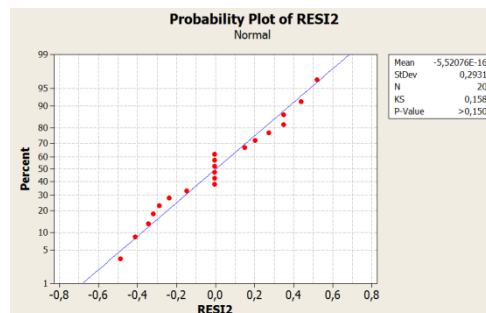
Hasil dan Pembahasan

Tabel 4: Hasil Percobaan daya dan efisiensi sudu lengkung dan sudu mangkok

Faktor			SUDU LENGKUNG		SUDU MANGKOK	
Sudut Pengarah (0°) X ₁	Kecep. Aliran (m/dtk) X ₂	Putaran Turbin (rpm) X ₃	Daya Turbin (Watt)	Efisiensi Turbin (%)	Daya Turbin (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
30	1,7	35	3,08	7,34	5,55	5,67
50	1,7	35	2,79	11,52	3,91	6,57
30	2,7	35	3,46	1,85	6,61	3,93
50	2,7	35	2,83	2,46	4,37	11,72
30	1,7	55	4,58	10,91	6,60	17,7
50	1,7	55	3,19	13,16	3,74	23,72
30	2,7	55	4,71	2,52	4,63	2,75
50	2,7	55	4,61	4,01	6,18	10,39
23,18	2,2	45	3,67	4,01	4,27	21,47
56,82	2,2	45	3,81	6,9	4,29	4,85
40	1,36	45	2,19	15,61	4,20	21,16
40	3,04	45	4,45	2,26	6,18	10,39
40	2,2	28,18	3,05	4,83	6,18	10,39
40	2,2	61,82	5,97	9,44	5,82	10,53
40	2,2	45	4,24	6,7	6,18	10,39
40	2,2	45	4,24	6,7	6,78	3,45
40	2,2	45	4,24	6,7	6,18	10,39
40	2,2	45	4,24	6,7	6,18	10,39
40	2,2	45	4,24	6,7	6,18	10,39
40	2,2	45	4,24	6,7	7,69	12,91
40	2,2	45	4,24	6,7	6,53	7,38

Sudu Lengkung

Uji kenormalan dari *residual* data daya turbin dilakukan di minitab 16 ditunjukkan gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Probability Plot dari Residual Daya Turbin Sudu Lengkung

Nilai *P-Value* lebih besar dari 0,05 yang artinya bahwa *residual* telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan *residual* pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model model regresi yang telah dibuat sehingga dapat digunakan.

Model *Empiris* Pengujian Model *Full Quadratic*: dari jumlah daya turbin berdasarkan model analisis *response surface* didapatkan model matematika sebagai berikut.

$$Y = 4,24 - 0,159X_1 + 0,422X_2 + 0,720X_3 - 0,21X_1^2 - 0,36X_2^2 + 0,058X_1^2 + 0,118X_1.X_2 - 0,071X_1.X_3 +$$

$$0,141X_2.X_3.$$

Dimana:

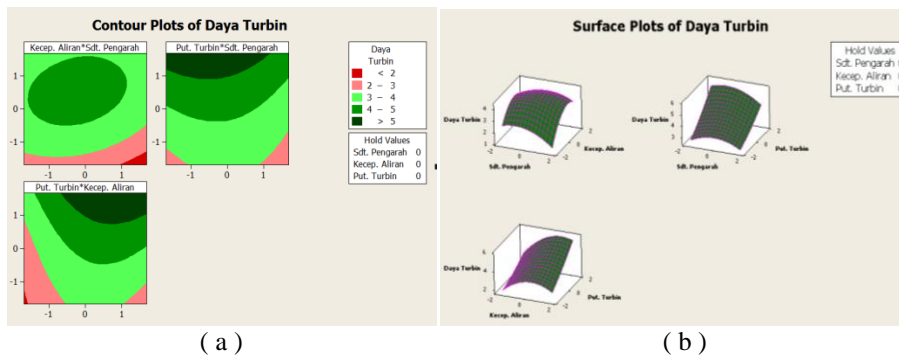
Y : Daya turbin sudu lengkung

X₂ : Kecepatan aliran

X₁ : Sudut pengarah

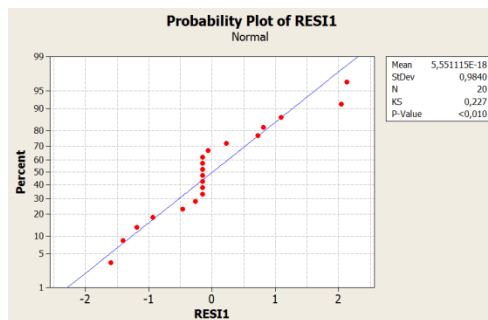
X₃ : Putaran turbin

Surface Plot dan *Counter Plot Model Full Quadratic*: Berdasarkan hasil analisis *response surface* model *full quadratic* ditunjukkan *contour plot* dan *surface plot* daya turbin, seperti ditunjukkan gambar 7 a dan b



Gambar 7: *Contour Plot* dan *Surface Plot* Daya Turbin Sudu Lengkung

Uji Kenormalan; Uji kenormalan dari *residual* data efisiensi turbin yang dilakukan di minitab 16 ditunjukkan gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Probability Plot dari Residual Efisiensi Turbin Sudu Lengkung

Nilai *P-Value* lebih besar dari 0,05 yang artinya bahwa *residual* telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan *residual* pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi yang telah dibuat. Model Empiris Pengujian Model *Full Quadratic* dari efisiensi turbin berdasarkan model analisis *response surface* didapatkan model matematika sebagai berikut.

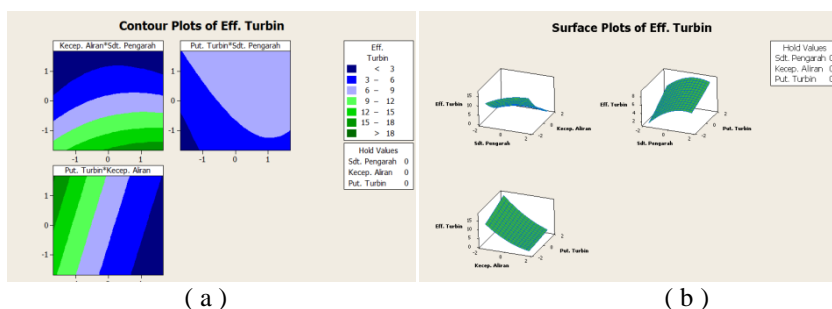
$$Y = 6,71 + 0,98X_1 - 3,99X_2 + 1,11X_3 - 0,54X_1^2 + 0,68X_2^2 + 0,05X_3^2 - 0,54X_1.X_2 - 0,13X_1.X_3 - 0,37X_2.X_3$$

Dimana:

- Y : Efisiensi turbin sudu lengkung
- X₂ : Kecepatan aliran
- X₁ : Sudut pengarah
- X₃ : Putaran turbin

Surface Plot dan Counter Plot Model Full Quadratic
Berdasarkan hasil analisis *response surface* model *full quadratic* akan ditunjukkan *contour plot* dan *surface*

plot dari efisiensi turbin sudu lengkung, seperti ditunjukkan gambar 9 a dan b.

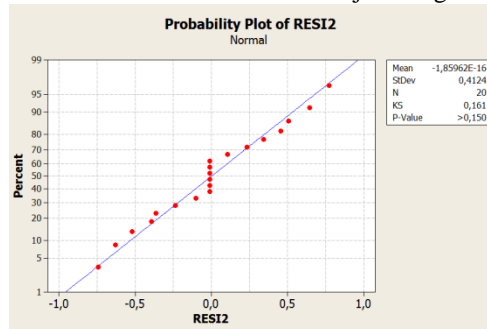


Gambar 9. *Contour Plot* dan *Surface Plot* Efisiensi Turbin Sudu Lengkung

Sudu Mangkok

Uji Kenormalan; Uji kenormalan dari residual data

efisiensi turbin yang dilakukan di minitab 16 ditunjukkan gambar 10. berikut ini.



Gambar 10. Uji kenormalan dari esidual daya turbin sudu mangkok

Nilai P-Value lebih besar dari 0,05 yang artinya bahwa residual telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi yang telah dibuat. Model Empiris Pengujian Model Full Quadratic dari daya turbin berdasarkan model analisis response surface didapatkan model matematika sebagai berikut.

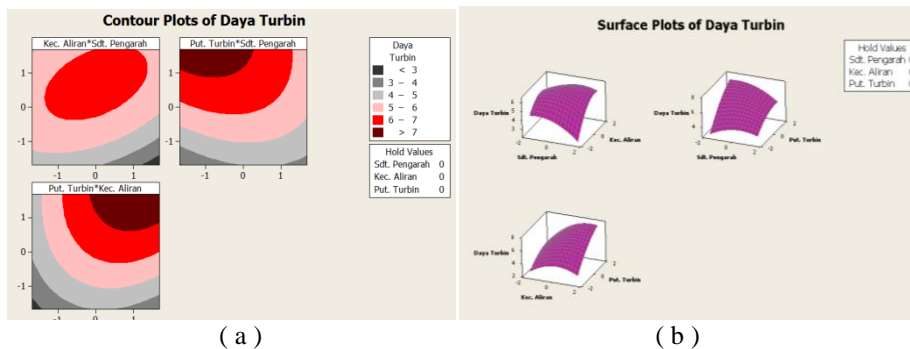
$$Y = 6,193 - 0,17X_1 + 0,56X_2 + 0,94X_3 - 0,25X_1^2 - 0,4X_2^2 - 0,21X_3^2 + 0,25X_1.X_2 - 0,23X_1.X_3 + 0,24X_2.X_3$$

dimana:

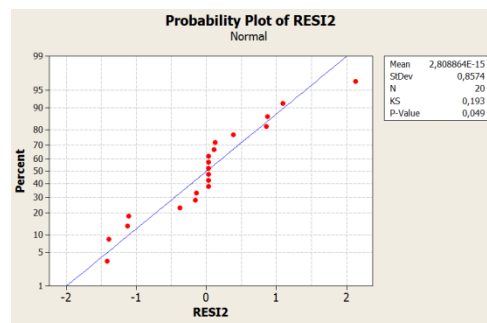
- Y : Daya turbin sudu mangkok
- X₂ : Kecepatan aliran
- X₁ : Sudut pengarah
- X₃ : Putaran turbin

Surface Plot dan Counter Plot Model Full Quadratic
Berdasarkan hasil analisis response surface model full

quadratic akan ditunjukkan contour plot dan surface plot dari daya turbin sudu mangkok, seperti ditunjukkan gambar 11 a dan b.



Gambar 11. Counter Plot dan Surface plot daya turbin sudu mangkok



Gambar 12. Probability Plot dari Residual efisiensi Turbin sudu mangkok

Uji Kenormalan

Uji kenormalan dari residual data efisiensi turbin yang dilakukan di minitab 16 ditunjukkan gambar 12 diatas.

Nilai P-Value lebih besar dari 0,05 yang artinya bahwa residual telah terdistribusi normal. Asumsi

kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi yang telah dibuat. Model Empiris Pengujian Model Full Quadratic dari efisiensi turbin berdasarkan model analisis response surface didapatkan model matematika sebagai berikut.

$$Y = 10,36 + 1,97X_1 - 6,38X_2 + 1,51X_3 - 0,62X_1^2 + 1,31X_2^2 - 0,04X_3^2 - 0,95X_1X_2 - 0,54X_1X_3 - 0,32X_2X_3$$

dimana:

Surface Plot dan Counter Plot Model Full Quadratic

Berdasarkan hasil analisis *response surface* model

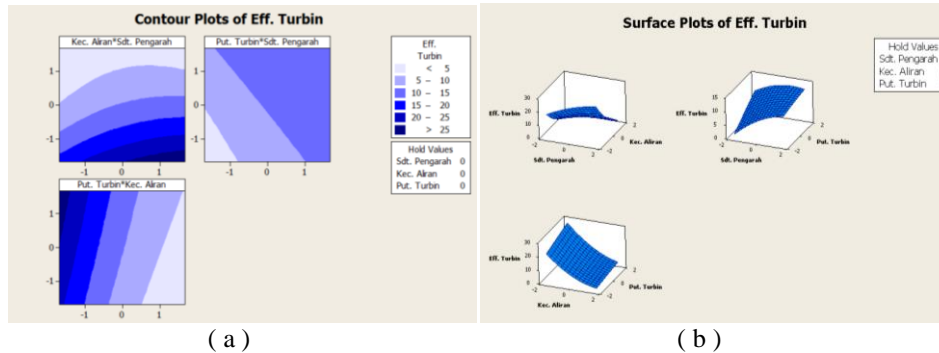
Y : Efisiensi turbin sudu mangkok

X₂ : Kecepatan aliran

X₁ : Sudut pengarah

X₃ : putaran turbin

full quadratic akan ditunjukkan *contour plot* dan *surface plot* dari efisiensi turbin sudu mangkok, seperti ditunjukkan gambar 13 a dan b



Gambar 13. *contour plot* dan *surface plot* efisiensi turbin sudu mangkok

Pembahasan

Optimasi Daya dan Efisiensi Turbin Sudu Lengkung Daya Turbin sudu lengkung

Berdasarkan hasil yang didapat, daya turbin pada hasil optimasi yang ditunjukkan pada nilai optimasinya yaitu kombinasi variabel bebas untuk sudut pengarah (X₁) 35,75°, kecepatan aliran (X₂) 2,78 m/dtk dan putaran turbin (X₃) 61,82 rpm. Model matematika yang disarankan kombinasi nilai parameter adalah:

$$Y = 4,24 - 0,159X_1 + 0,422X_2 + 0,720X_3 - 0,21X_1^2 - 0,36X_2^2 + 0,058X_1^2 + 0,118X_1.X_2 - 0,071X_1.X_3 + 0,141X_2.X_3$$

Koefisien kecepatan aliran dan putaran turbin yaitu 0,141X₂.X₃ lebih besar daya turbin, hubungan kecepatan aliran dengan daya turbin, dengan Y: pada putaran (x) 0,141X₂.X₃ lebih tinggi, pada putaran tinggi daya turbin dan koefisien putaran rendah, pada kecepatan aliran 0,422X₂ lebih kecil dari koefisien sudut pengarah aliran dengan pengaruh kecepatan aliran maka putaran turbin akan meningkat pada nilai putaran sangat rendah yang dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran.

Efisiensi Turbin sudu lengkung

Berdasarkan hasil yang didapat, efisiensi turbin pada hasil optimasi yang ditunjukkan pada nilai optimasi yaitu kombinasi variabel bebas untuk sudut pengarah (X₁) 55,46°, kecepatan aliran (X₂) 1,36 m/dtk dan putaran turbin (X₃) 61,82 rpm. Model matematika yang disarankan dari kombinasi nilai parameter adalah:

$$Y = 6,71 + 0,98X_1 - 3,99X_2 + 1,11X_3 - 0,54X_1^2 + 0,68X_2^2 + 0,05X_3^2 - 0,54X_1.X_2 - 0,13X_1.X_3 - 0,37X_2.X_3$$

Koefisien Kecepatan aliran dan putaran turbin yaitu 0,37X₂.X₃ lebih besar dari efisiensi turbin, hubungan Kecepatan aliran dengan efisiensi turbin, dengan Y: pada putaran (x) 0,37X₂.X₃ lebih tinggi. Pada putaran

tinggi efisiensi turbin dan koefisien putaran rendah, pada Kecepatan aliran 3,99X₂ lebih kecil dari koefisien sudut pengarah aliran dengan pengaruh Kecepatan aliran maka putaran turbin akan meningkat pada nilai putaran yang sangat rendah yang dipengaruhi oleh nilai Kecepatan aliran.

Optimasi Daya dan Efisiensi Turbin Sudu Mangkok

Daya turbin sudu mangkok

Dari hasil yang didapat, nilai daya turbin pada hasil optimasi yang ditunjukkan pada nilai optimasinya yaitu kombinasi variabel bebas untuk sudut pengarah (X₁) 33,71°, kecepatan aliran (X₂) 2,7 m/dtk dan putaran turbin (X₃) 61,82 rpm. Model matematika yang disarankan dari kombinasi nilai parameter adalah:

$$Y = 6,193 - 0,17X_1 + 0,56X_2 + 0,94X_3 - 0,25X_1^2 - 0,4X_2^2 - 0,21X_3^2 + 0,25X_1.X_2 - 0,23X_1.X_3 + 0,24X_2.X_3$$

Koefisien kecepatan aliran dan putaran turbin yaitu 0,24X₂.X₃ lebih kecil daya turbin, dengan Y: pada putaran (x) 0,24X₂.X₃ lebih rendah, pada putaran rendah daya turbin dan koefisien putaran menjadi tinggi, pada kecepatan aliran 0,56X₂ lebih besar dari koefisien sudut pengarah aliran dengan pengaruh kecepatan aliran maka putaran turbin akan menurun pada nilai putaran yang sangat tinggi yang dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran.

Efisiensi Turbin sudu mangkok

Dari hasil yang didapat, nilai efisiensi turbin pada hasil optimasi yang ditunjukkan pada nilai optimasinya yaitu kombinasi variabel bebas untuk sudut pengarah 56,820°, kecepatan aliran 1,359 m/dtk dan putaran turbin 61,82 rpm. model matematika yang disarankan dari kombinasi nilai parameter adalah:

$$Y = 10,36 + 1,97X_1 - 6,38X_2 + 1,51X_3 - 0,62X_1^2 + 1,31X_2^2 - 0,04X_3^2 - 0,95X_1X_2 - 0,54X_1X_3 - 0,32X_2X_3$$

Koefisien debit air dan putaran turbin yaitu $0,32X_2X_3$ lebih kecil efisiensi turbin, dimana Y : pada putaran (x) $0,32X_2X_3$ lebih rendah. Pada putaran rendah efisiensi turbin dan koefisien putaran akan meningkat, pada kecepatan aliran $6,38X_2$ lebih besar dari koefisien sudut pengarah aliran dengan pengaruh kecepatan aliran maka putaran turbin akan meningkat pada nilai putaran yang sangat tinggi yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan pendekatan optimasi dengan *response surface* maka didapatkan kesimpulan :

1. Berdasarkan nilai optimasi yang dilakukan, hasil optimasi daya turbin sudu lengkung sebesar 5,97 watt, pada kombinasi sudut pengarah $35,75^\circ$, kecepatan aliran 2,78 m/dtk dan putaran turbin 61,82 rpm, sedangkan untuk hasil optimasi efisiensi turbin sudu lengkung sebesar 19,74%, pada kombinasi sudut pengarah $55,46^\circ$, kecepatan aliran 1,36 m/dtk dan putaran turbin 61,82 rpm.
2. Berdasarkan nilai optimasi yang dilakukan, hasil optimasi daya turbin sudu mangkok sebesar 7,85 watt, pada kombinasi sudut pengarah $33,71^\circ$, kecepatan aliran 2,7 m/dtk dan putaran turbin 61,82 rpm, sedangkan untuk hasil optimasi efisiensi turbin sudu mangkok sebesar 30,91%, pada kombinasi sudut pengarah $56,82^\circ$, kecepatan aliran 1,36 m/dtk dan putaran turbin 61,82 rpm.
3. Daya dan efisiensi turbin jenis sudu mangkok lebih besar dibandingkan pada bentuk sudu lengkung, ini disebabkan karena pada bentuk jenis sudu mangkok jumlah air yang ditampung lebih banyak dibandingkan dengan jumlah air yang ditampung pada bentuk jenis sudu lengkung.

Saran

Adapun saran-saran yang dapat disampaikan sehubungan dengan penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian turbin kinetik dengan jenis bentuk sudu mangkok dan sudu lengkung dengan beberapa sudut pengarah aliran air terhadap kinerja turbin kinetik.
2. Perlu dilakukan suatu perencanaan eksperimen dengan menggunakan RSM (*Respon Surface Methodology*) untuk mendapatkan kinerja turbin kinetik yang optimum dengan menambahkan atau mengurangi jumlah sudu.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada turbin kinetik dengan beberapa bentuk model sudu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ali Arslan, Rizwan Khalid, Zohaib Hassan and Irfan A. Manarvi. 2011. **Design and Manufacture of a Micro Zero Head Turbine for Power Generation**, INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY SCIENCES AND ENGINEERING, VOL. 2, NO. 7
2. Arismunandar, W., 2004. **Pengerak Mula Turbin**, ITB, Bandung.
3. Bo Yang, Chris Lawn. 2011. **Fluid dynamic performance of a vertical axis turbine for tidal currents**, Journal of Renewable Energy
4. Bo Yang, Chris Lawn. 2012. **Three dimensional effects on the performance of a vertical axis tidal turbine**, Journal of Ocean Engineering
5. Dietzel, Fritz, 1993, **Turbin Pompa dan Kompresor**, Erlanga, Jakarta.
6. Golecha Kailash, T. I. Eldho, and S. V. Prabhu. 2012. **Performance Study of Modified Savonius Water Turbine with Two Deflector Plates**, International Journal of Rotating Machinery Volume 2012, Article ID 679247, 12 pages doi:10.1155/2012/679247
7. Kailash Golecha, T.I.Eldho and S.V.Prabhu. 2011. **Investigation on the Performance of a Modified Savonius Water Turbine with Single and Two Deflector Plates**, The 11th Asian International conference on Fluid Machinery and The 3rd Fluid power Technology Exhibition. Paper ID: AICFM_FM_002 November 21-23, 2011, IIT Madras, Chennai, India.
8. Kailash Golecha, T.I.Eldho and S.V.Prabhu. 2011. **Influence of the deflector plate on the performance of a modified savonius water turbine**, Journal of Applied Energy 88 (2011), pp 3207-3217. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy
9. Mohammed Shaheen, Mohamed El-Sayed, Shaaban Abdallah. 2015. **Numerical study of two-bucket Savonius wind turbine cluster**, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 137 (2015), pp 78-89. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jweia
10. Mitsuhiro Shiono, Kdsuyuki Suzuki, SezjiKiho, 2002, **Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations**, Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan, May 26-31.

11. Montgomery, D. C. (2005). **Introduction to Statistical Quality Control**, Fifth Edition, John Wiley and Sons, inc. New York.
12. Munson, B.R., Young, D.F., Okiishi, T.H., 2009. **Mekanika Fluida Jilid 1**. Edisi ke empat, Air Langga, Jogjakarta.
13. Munson, B.R., Young, D.F., Okiishi, T.H., 2009. **Mekanika Fluida Jilid 2**. Edisi keempat, Air Langga, Jogjakarta.
14. Nur Iriawan dan Septin P. Astuti., 2006. **Mengolah Data Statistik dengan Menggunakan Minitab 14**. Edisi ke-satu. Penerbit Andi Offset, Jogjakarta.
15. Pudjanarso, A. dan Nursuhud., D. 2008. **Mesin Konversi Energi**, Penerbit: Andi, Yogyakarta.
16. Soenoko, R., Rispiningtati, Sutikno D. 2011. **Prototype of a Twin Kinetic Turbine Performance as a Rural Electrical Power**, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 1(10)1686-1690, ISSN 2090-424X.
17. S.J. Williamson, B.H. Stark, J.D. Booker. 2012. **Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine**, Journal of Applied Energy
18. Vardar Ali and Bulent Eker, 2006, **Principle of Rotor Design for Horizontal Axis Wind Turbines**, journal of applied sciences 6(7):1527-1533.
19. Victor, L. Sreeter, E. Benjamin Wylie, 1988. **Mekanika Fluida** edisi Delapan. Andi Yogyakarta.
20. Warsito, Sri Wahyudi, dan Wildan Khoiron, 2011, **Realisasi dan Analisa Sumber Energi Baru Terbarukan Nano hidro dari aliran air Berdebit kecil**, Jurnal Material dan Energi Indonesia, Volume 01 Nomor 01 Tahun 2010
21. Zahri K.M dan Bambang. 2010, **Pengaruh Tinggi Kincir Air Terhadap Daya dan Efisiensi yang dihasilkan** .Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke 9 Palembang