

Optimasi Turbin Arus Lintang Menggunakan Reponse Surface Methodology (RSM)

Adrian Maidangkay¹, Silvy Dollorossa Boedi², Nelson S. Lupp³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado, 0431-811568, 95252, Indonesia

adrianmaidangkay@yahoo.co.id

085342085251

Abstrak

Sesuai data potensi energi terbarukan tahun 2009, pemanfaatan energi mikrohidro baru 17,22 % atau 86 MW dari 500 MW potensi yang tersedia. Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Keunggulan PLTMH terletak pada biaya pembangkitan energi listrik yang kompetitif dan teknologi yang sederhana sehingga dapat dikelola dan dioperasikan oleh masyarakat setempat. Dari permasalahan diatas, perlu dipikirkan upaya untuk meningkatkan unjuk kerja dari turbin arus lintang. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui optimasi unjuk kerja turbin arus lintang. Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data dengan menggunakan aplikasi Response Surface Methodology (RSM), untuk memprediksi nilai optimal turbin arus lintang. Penelitian eksperimental yang dibuat dalam skala laboratorium sudah dilakukan sebelumnya, turbin yang diuji dengan spesifikasi jumlah sudu 20 buah, luas penampang pipa pancar (nosel) $2 \times 2 \text{ cm}^2$, diameter lingkaran luar runner 20 cm dan diameter lingkaran dalam runner 11 cm, tebal runner 3 mm. Tahapan penelitian eksperimental yang dilakukan pertama adalah dengan mereview beberapa jurnal penelitian turbin arus lintang yang sudah pernah dilakukan, apa yang menyebabkan unjuk kerja turbin masih. Selanjutnya mendisain turbin arus lintang skala laboratorium. Setelah itu dilakukan pengambilan data disesuaikan dengan variable bebas penelitian (variasi debit air dan pembebanan), selanjutnya dihitung unjuk kerja turbin arus lintang berdasarkan data pengamatan saat penelitian, kemudian di buat pembahasan tentang unjuk kerja turbin arus lintang.

Kata Kunci – Turbin, Arus, Lintang, Optimasi, RSM

Cross Flow Turbine Optimization Using Response Surface Methodology (RSM)

Abstract

According to the data on renewable energy potential in 2009, the utilization of micro-hydro energy is only 17.22% or 86 MW of the 500 MW of available potential. One of the renewable energy sources that has the potential to be developed is a Micro Hydro Power Plant (PLTMH). The advantages of PLTMH lie in the competitive cost of electricity generation and simple technology so that it can be managed and operated by the local community. From the above problems, it is necessary to think about efforts to improve the performance of the cross-current turbine. The purpose of this study is to determine the optimization of the cross-current turbine performance. This study uses a data collection method using the Response Surface Methodologist (RSM) application, to predict the optimal value of the latitude current turbine. Experimental research carried out on a laboratory scale has been carried out previously, the turbine tested with specifications for

the number of blades is 20 pieces, the cross-sectional area of the nozzle is 2x2 cm², the diameter of the outer circle of the runner is 20 cm and the diameter of the inner circle of the runner is 11 cm, and the thickness of the runner is 3 mm. The first stage of experimental research is to review several research journals of cross-current turbines that have been carried out, what causes turbine performance to continue. Next, design a laboratory-scale cross-current turbine. After that, data collection was carried out according to the independent variables of the study (variation of water discharge and loading), then calculated the performance of the cross-current turbine based on observational data during the study, then a discussion was made about the performance of the cross-current turbine.

Keywords – Turbine, Current, Latitude, Optimization, RSM

PENDAHULUAN

Program prioritas agenda riset nasional tahun 2010 - 2014 di bidang energi alternatif adalah peningkatan pemanfaatan energi terbarukan mikrohidro. Sesuai data potensi energi terbarukan tahun 2009 pemanfaatan energi mikrohidro baru 17,22 % atau 86 MW dari 500 MW potensi yang tersedia. Pengembangan PLTMH akan dapat digunakan untuk memasok listrik pada masyarakat yang tinggal daerah terpencil. Karena biasanya listrik yang dibutuhkan daerah itu tidaklah besar. Sebanyak 19 juta masyarakat belum dapat listrik, apalagi untuk daerah-daerah di Indonesia Timur yang jaraknya jauh. Pada daerah-daerah terpencil dan jauh dari lokasi jaringan transmisi, diperlukan pasokan dari pembangkit-pembangkit listrik berkapasitas kecil, terutama yang memanfaatkan potensi energi setempat yang bersifat terbarukan (*renewable*). Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Keunggulan PLTMH terletak pada biaya pembangkitan energi listrik yang kompetitif dan teknologi yang sederhana sehingga dapat dikelola dan dioperasikan oleh masyarakat setempat.

Propinsi Sulawesi Utara memiliki empat wilayah sungai, yaitu wilayah sungai Sangihe Talaud, Tondano Likupang, Dumoga Sangkup dan Poigar Ranoyapo tetapi pemanfaatan listrik di Sulawesi Utara belum memaksimalkan potensi listrik tenaga air yang ada.

Secara umum Listrik Tenaga Air Mikrohidro dapat dikategorikan sesuai besar daya yang dihasilkannya, dimana salah satu klasifikasi listrik tenaga air adalah PLTA kapasitas lebih besar dari 5 MW, PLTM kapasitasnya 100 kW sampai dengan 5000 kW dan PLTMH kapasitasnya adalah dibawah 100 kW, (sumber : Severn Wye Energy Agency, www.swea.co.uk). Namun secara umum dapatlah ditentukan bahwa yang dimaksud sebagai PLTMH adalah jika mempunyai kapasitas daya di bawah 100 kW.

Pada dasarnya suatu pembangkit listrik tenaga air berfungsi untuk mengubah potensi tenaga air yang berupa aliran air sungai yang mempunyai debit dan tinggi jatuh (*head*) untuk menghasilkan energi listrik.

Dari beberapa penelitian sebelumnya selalu dilakukan penelitian untuk mendapatkan unjuk kerja turbin arus lintang yang lebih baik, dalam hal ini adalah keinginan menaikkan efisiensi turbin. Tetapi penelitian yang dilakukan adalah

selalu melakukan pengamatan dan modifikasi pada bagian mekanis turbin seperti misalnya penelitian air masuk turbin dengan melakukan modifikasi pipa pancar turbin.

METODOLOGI PENELITIAN

Hayati, O. (1998), melakukan investigasi mengenai beberapa parameter geometrik *runner* dan nosel turbin arus lintang seperti misalnya, diameter ratio dan rasio lebar nosel, terhadap efisiensi turbin. Dari penelitian ini didapatkan bahwa ada pengaruh, atau ada perbedaan unjuk kerja, apabila parameter turbin diubah. Salah satu hasil penelitian Hayati adalah grafik hubungan antara *reduced speed* dan *efficiency* menunjukkan bahwa adanya penurunan putaran (*speed*) akan menurunkan efisiensi yang cukup besar.

Montanari, R. (2003) melakukan penelitian dari segi ekonomi pembiayaan pembangunan sebuah proyek mikrohidro. Meskipun demikian penelitian ini masih sangat dipengaruhi oleh perancangan turbin itu sendiri. Salah satu hasil dari penelitian ini adalah efisiensi turbin yang masih rendah, yaitu 55% pada kapasitas air yang diberikan maksimal. Artinya kapasitas air pada bukaan nosel 100%. Rendahnya efisiensi ini, oleh perancang turbin arus lintang tidak terlalu dipermasalahkan, karena dianggap air adalah bahan baku energi yang murah dan mudah didapat. Tetapi berbeda dengan Montanari yang menganggap bahwa efisiensi ini harus ditingkatkan, apalagi kalau dihubungkan dengan harga air, yang akhir-akhir ini sering dipermasalahkan. Kalau mau ditinjau lebih dalam lagi maka secara langsung efisiensi ini sangat berhubungan dengan kestabilan putaran turbin. Kestabilan putaran turbin berhubungan langsung dengan kualitas listrik yang dihasilkan.

Barglazan (2005) melakukan penelitian yang dikonsentrasikan pada bagian utama turbin arus lintang, khususnya radial *runner* dan bentuk nosel pemancar air. Juga dikembangkan sebuah perangkat lunak untuk merancang sebuah turbin arus lintang, dimana beberapa parameter harus dimasukkan dan masih ada beberapa perhitungan yang harus dilakukan dimana hasil perhitungan tersebut harus dimasukkan dalam masukkan perangkat lunak. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan turbin arus lintang yang lebih efisien, tetapi penambahan efisiensi tidak terlalu signifikan.

Sai Rachoor et al. (2006) penelitian ini dilakukan dengan menganalisis secara mendalam pemanfaatan sistem mikrohidro di New Jersey. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah bahwa mikrohidro adalah sebuah pembangkit listrik yang sangat potensial untuk dikembangkan, karena mikrohidro dapat dikembangkan atau dimanfaatkan pada daerah yang hanya mempunyai tinggi jatuh air yang rendah. Seperti diketahui saat ini *non-renewable resources* akan makin dihabiskan oleh industri transportasi, memberi listrik rumah, dan dunia industri, maka sudah jelas bahwa sumber baru, lebih efisien dan *renewable source* energi harus ditemukan. Pembangkit hidro, khususnya mikrohidro adalah alternatif yang paling mungkin.

Philip Leigh et al. (2007), secara tidak langsung adalah meneliti tentang efisiensi pembangkit listrik mikrohidro. Dalam penelitian ini yang diamati adalah

rendahnya listrik yang dihasilkan sebuah PLTM. Kajian rendahnya produksi listrik ini adalah berdasarkan rumus $P = Q H \gamma \eta$ (kW), seharusnya dari head (H) dan kapasitas (Q) yang tertentu akan menghasilkan daya (P) tertentu, ternyata dari sekian banyak PLTM yang dipasang rata-rata mempunyai efisiensi (η) yang rendah. Menurut pendapat peneliti ini, PLTM sangat prospektif, tetapi harus dilakukan penelitian lanjut, agar PLTM ini menjadi tumpuan utama penghasil listrik untuk suatu daerah tertentu. Karena PLTM merupakan pembangkit yang bersih (tidak polutif) dan sifatnya *renewable*.

Young-Do CHOI et al. (2008) melakukan penelitian tentang turbin arus lintang (*cross-flow*) dengan proses simulasi CFD. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari konfigurasi struktur turbin terhadap unjuk kerja dan karakteristik aliran didalam turbin sebuah model turbin arus lintang dengan memanfaatkan analisis CFD. Hasil yang didapatkan adalah bahwa bentuk nosel, sudut sudu turbin dan jumlah sudu turbin sangat berhubungan dengan unjuk kerja dan karakteristik aliran didalam turbin.

Rancangan Percobaan

Untuk mendapatkan model empiris orde pertama dan orde kedua dilakukan rancangan percobaan factorial 2^k ditambah dengan pengamatan beberapa kali di titik pusat dan titik-titik di sumbu aksialnya dengan $\alpha = 2k/4$ dalam bentuk *Central Composite Design* (CCD).

Rancangan factorial 2^k CCD digunakan untuk percobaan yang terdiri k factorial dengan masing-masing factor mempunyai level rendah diberi kode -1, level tinggi diberi kode +1, level tengah diberi kode 0, dan level tengah diberi kode $-\alpha$ dan $+\alpha$. Untuk $k = 3$, nilai $\alpha = 1.682$. Semua variable dicari dengan *Response Surface Methodology* dengan pendekatan *Desirability Function*. Tabel 1 menunjukkan rancangan percobaan orde kedua untuk $k=3$ dengan CCD.

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

No.	X_1	X_2	X_3
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

No.	X ₁	X ₂	X ₃
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

Berdasarkan tabel 1, maka dilakukan rancangan percobaan CCD dengan parameter yang dijadikan variabel penelitian. Pada penelitian ini terdapat dua macam variabel, yaitu variabel bebas dan variable respon. Parameter kinerja turbin yang dijadikan variable bebas dalam penelitian ini adalah:

1. Sudut pengarah : 30⁰, 45⁰ dan 60⁰
2. Beban : 2 N, 3 N, 4 N
3. Debit : 0,00020 m³/det, 0,00022 m³/det, dan 0,00024 m³/det

Berdasarkan variable bebas yang digunakan maka ditentukan level dari variable bebas seperti ditunjukkan pada tabel 2 :

Tabel 2. Level variable bebas

Nama Variabel	Sudut pengarah (°)	Beban (N)	Debit (m ³ /jam)
-1,682	19,77	1,318	0,000186
Level rendah (-1)	30	2	0,00020
Level tengah(0)	45	3	0,00022
Level tinggi (+1)	60	4	0,00024
1,682	70,23	4,682	0,000253

Variabel respon adalah variable dependen, yaitu variable yang dipengaruhi oleh level faktor atau kombinasi factor. Variabel respon dalam penelitian ini adalah daya turbin dan efisiensi turbin.

Hasil Rancangan Optimasi

Berdasarkan variable penelitian yang ditentukan maka hasil rancangan percobaan seperti pada tabel 3 :

Tabel 3. Hasil Rancangan RSM

No	Variabel Bebas			Variabel Terikat
	Sudut pengarah (°)	Beban (N)	Debit (m ³ /jam)	Efisiensi turbin (%)
1	-1.000	-1.000	-1.000	38.106
2	-1.000	-1.000	1.000	44.793
3	1.000	-1.000	-1.000	27.229
4	1.000	-1.000	1.000	32.530
5	-1.000	1.000	-1.000	57.563
6	-1.000	1.000	1.000	68.177
7	1.000	1.000	-1.000	30.643

No	Variabel Bebas			Variabel Terikat
	Sudut pengarah (°)	Beban (N)	Debit (m ³ /jam)	Efisiensi turbin (%)
8	1.000	1.000	1.000	37.414
9	-1.682	0.000	0.000	37.800
10	1.682	0.000	0.000	23.550
11	0.000	0.000	-1.682	34.070
12	0.000	0.000	1.682	66.800
13	0.000	-1.682	0.000	30.210
14	0.000	1.682	0.000	76.980
15	0.000	0.000	0.000	57.057
16	0.000	0.000	0.000	57.058
17	0.000	0.000	0.000	57.058
18	0.000	0.000	0.000	57.040
19	0.000	0.000	0.000	57.057
20	0.000	0.000	0.000	57.030

Dari tabel 3 diperoleh nilai efisiensi turbin tertinggi ada pada kombinasi sudut pengarah 45°, pembebanan 4,682 N (=5N) dan debit aliran 0,00022 m/detik, menghasilkan efisiensi turbin sebesar 76,980 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Model Linier Daya Turbin

Tabel 4. Desain Respon permukaan Model Linier Efisiensi Turbin

Central Composite Design				
Central Composite Design				
Factors:	3	Blocks:	none	Center points: 6
Runs:	20	Alpha:	1.682	
Response Surface Regression: Efisiensi versus Sudut, Debit, Beban				
The analysis was done using coded units.				
Estimated Regression Coefficients for Efisiens				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	57.118	2.698	21.169	0.000
Sudut	-7.672	1.790	-4.286	0.002
Debit	6.181	1.790	3.453	0.006
Beban	9.504	1.790	5.309	0.000
Sudut*Sudut	-9.768	1.742	-5.606	0.000
Debit*Debit	-2.783	1.742	-1.598	0.141
Beban*Beban	-1.667	1.742	-0.956	0.361
Sudut*Debit	-0.654	2.339	-0.279	0.786
Sudut*Beban	-4.318	2.339	-1.846	0.095
Debit*Beban	0.675	2.339	0.288	0.779
S = 6.615 R-Sq = 90.4% R-Sq(adj) = 81.8%				

Tabel 5. ANOVA Model Linier Efisiensi Turbin

Analysis of Variance for Efisiensi						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	4143.24	4143.24	460.36	10.52	0.001
Linear	3	2559.51	2559.51	853.17	19.49	0.000
Sudut	1	804.00	804.00	804.00	18.37	0.002
Debit	1	521.85	521.85	521.85	11.92	0.006
Beban	1	1233.66	1233.66	1233.66	28.19	0.000
Square	3	1427.52	1427.52	475.84	10.87	0.002
Sudut*Sudut	1	1287.70	1375.54	1375.54	31.43	0.000
Debit*Debit	1	99.78	111.70	111.70	2.55	0.141
Beban*Beban	1	40.04	40.04	40.04	0.91	0.361
Interaction	3	156.21	156.21	52.07	1.19	0.363
Sudut*Debit	1	3.42	3.42	3.42	0.08	0.786
Sudut*Beban	1	149.15	149.15	149.15	3.41	0.095
Debit*Beban	1	3.64	3.64	3.64	0.08	0.779
Residual Error	10	437.65	437.65	43.76		
Lack-of-Fit	5	437.65	437.65	87.53	602816.94	0.000
Pure Error	5	0.00	0.00	0.00		
Total	19	4580.89				

Berdasarkan tabel 5 ANOVA, perlu dilakukan pengujian dari ANOVA untuk memastikan pemilihan model, pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Regresi Model Linier Efisiensi Turbin

Estimated Regression Coefficients for Efisiensi					
Term	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	57.1179	2.698	21.169	0.000	
Sudut	-7.6724	1.790	-4.286	0.002	
Debit	6.1812	1.790	3.453	0.006	
Beban	9.5039	1.790	5.309	0.000	
Sudut*Sudut	-9.7680	1.742	-5.606	0.000	
Debit*Debit	-2.7835	1.742	-1.598	0.141	
Beban*Beban	-1.6665	1.742	-0.956	0.361	
Sudut*Debit	-0.6536	2.339	-0.279	0.786	
Sudut*Beban	-4.3179	2.339	-1.846	0.095	
Debit*Beban	0.6746	2.339	0.288	0.779	

S = 6.61548 PRESS = 3325.30
R-Sq = 90.45% R-Sq(pred) = 27.41% R-Sq(adj) = 81.85%

Berdasarkan tabel 6, prosentase dari total variasi yang dapat diterangkan oleh model (R^2) sebesar 90,45 %. Nilai R^2 berkisar 0-100 %, semakin mendekati 100 % semakin sesuai model yang digunakan.

1. Uji Koefisien Regresi Serempak.

Pada tabel 5 ANOVA, terlihat bahwa pada level pengujian $\alpha = 0.05$ dan *P-Value* dari regresi adalah 0.00 yaitu lebih kecil dari 0.05, sehingga hipotesis awal ditolak, yang mana koefisien regresi serempak berpengaruh terhadap model linear yang dihasilkan.

2. Uji Koefisien Regresi Individu.

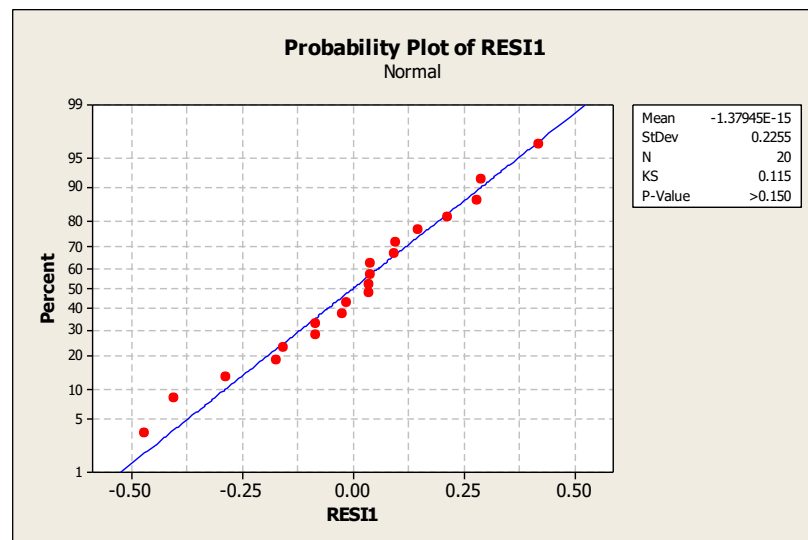
Pada tabel 6, menunjukkan *P-Value* untuk sudut pengarah, jumlah sudu dan debit lebih kecil dari $\alpha = 0.05$. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variable bebas mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap daya turbin.

3. Uji Lack of Fit.

Berdasarkan tabel 5 ANOVA, diperoleh lack of fit memiliki nilai *P-Value* 0.002, yang lebih kecil dari nilai $\alpha = 0.05$. Artinya tolak H_0 (terima H_1), berarti ada lack of fit pada model.

4. Uji Kenormalan.

Uji kenormalan untuk menunjukkan kecukupan model. Ada tiga hal yang dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot hasil residual dengan taksiran respon dan membuat plot antara residual dengan order. Uji kenormalan dari residual dari data nilai efisiensi turbin ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Uji kenormalan residual model response surface daya turbin

Gambar 1 memberi informasi yang dapat diperoleh dari output, salah satunya adalah rata-rata dan standar deviasi residual masing-masing sebesar -1.37945×10^{-15} dan 0.2255, rata-rata residual sangat kecil karena mendekati nol.

5. Uji Koefisien Determinasi (R^2).

Berdasarkan tabel 6, persentasi dari total variasi yang dapat diterangkan oleh model (R^2) sebesar 90,45 %. untuk efisiensi turbin. Nilai ini cukup besar yang berarti bahwa pendugaan model polynomial orde kedua memenuhi.

Model Empiris Pengujian Full Quadratic untuk Daya Turbin dan Efisiensi Turbin

Model empiris dari nilai rata-rata daya turbin dan efisiensi turbin berdasarkan metode analisis respon dapat dirumuskan sebagai berikut

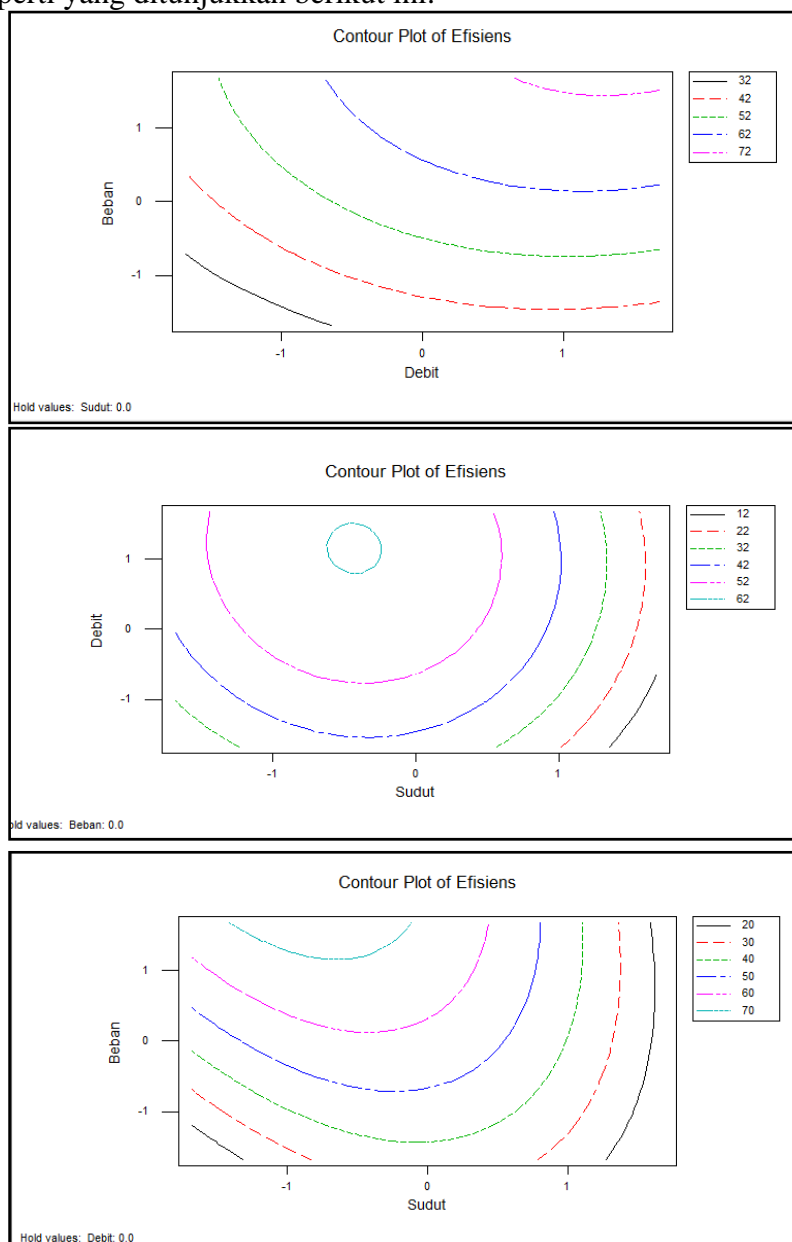
Efisiensi turbin :

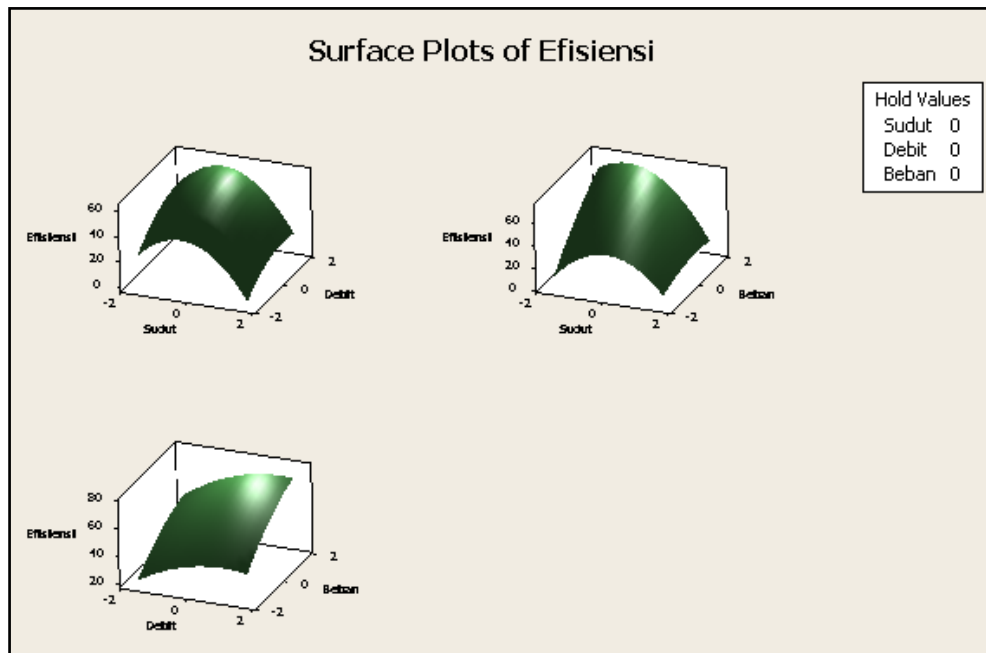
$$Y = 57,1179 - 7,7624(X_1) + 6,1812(X_2) + 9,5039(X_3) - 9,7680(X_1)^2 - 2,7835(X_2)^2 - 1,6665(X_3)^2 - 0,6536(X_1)(X_2) - 4,3179(X_1)(X_3) + 0,6746(X_2)(X_3)$$

Berdasarkan model matematika yang diperoleh dapat diketahui bahwa ketiga variable bebas yaitu sudut pengarah, jumlah sudu dan debit, memberikan pengaruh terhadap besarnya nilai daya turbin dan efisiensi turbin.

Contour Plot dan Surface Plot.

Hasil analisis respon permukaan akan menunjukkan contour plot daya turbin dan efisiensi turbin, serta surface plot dari nilai daya turbin dan efisiensi turbin, seperti yang ditunjukkan berikut ini.





Gambar 2. Surface plot dari efisiensi turbin

Analisis Dengan Pendekatan *Desirability Function*.

Untuk melakukan analisis dengan pendekatan *desirability function*, maka terlebih dahulu memasukkan nilai batas dari respon. Kriteria yang digunakan adalah *bigger the better*. Target yang ingin dicapai adalah nilai daya turbin dan efisiensi turbin yang hampir sama. Analisis *desirability function* sebagai hasil dari kombinasi variable proses yang menghasilkan respon minimal untuk analisis pendekatan *desirability function* dan tabel 7 dan tabel 8 *response optimization*.

Tabel 7. Analisis pendekatan *desirability function* untuk efisiensi turbin

Optimal D 1.0000	High Cur Low	Sudut 1.6820 [-0.7985] -1.6820	Debit 1.6820 [1.4102] -1.6820	Beban 1.6820 [1.6820] -1.6820
Composite Desirability 1.0000				
Efisiensi Maximum $y = 79.6037$ $d = 1.0000$				

Tabel 8. Response optimization efisiensi turbin

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Efisiensi	Maximum	23.55	68.177	68.177	1	1
Global Solution						
Sudut	=	-0.798525				
Debit	=	1.41016				
Beban	=	1.682				
Predicted Responses						
Efisiensi	=	79.6037	,	desirability	=	1.000000
Composite Desirability = 1.000000						

KESIMPULAN

Berdasarkan pendekatan optimasi dengan respon permukaan, maka didapatkan kesimpulan :

1. RSM (Response Surface Methodologi) perencanaan efektif digunakan pada optimasi turbin arus lintang.
2. Model empiris dari prediksi nilai Efisiensi turbin :
$$Y = 57,1179 - 7,7624(X_1) + 6,1812(X_2) + 9,5039(X_3) - 9,7680(X_1)^2 - 2,7835(X_2)^2 - 1,6665(X_3)^2 - 0,6536(X_1)(X_2) - 4,3179(X_1)(X_3) + 0,6746(X_2)(X_3)$$
3. Contour dan Surface Plot dapat digunakan sebagai acuan dalam optimasi turbin arus lintang untuk mencapai yang diinginkan.

SARAN

Pengujian eksperimen hasil optimasi turbin arus lintang perlu dilakukan untuk mendapat data klarifikasi dari nilai prediksi yang ditunjukkan nilai optimasi RSM.

REFERENSI

- [1] Arismunandar, 2004: Penggerak Mula Turbin; Edisi Ketiga Cetakan Kesatu Bandung Penerbit ITB.
- [2] Barglazan, M; 2005: About Design Optimization of Cross-Flow Hydraulic Turbines; The Politechnica University of Timisoara, New York.
- [3] Çengel, Yunus A. & Turner, Robert H; 2001: Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences; McGraw-Hill Companies Inc, New York.

- [4] Dietzel, Fritz; 1980: Turbin Pompa dan Kompresor; Institut Teknologi Indonesia, Jakarta.
Dragu. C, Soens. J, Belmans. R; 2007: Small-Scale Energy in The Next Century Market Hydro Plants – State of The Art and Applications; Energy Institute Kasteelpark Arenberg, Leuven, Belgium.
- [5] Haimerl, L.A; 1960 : The Cross Flow Turbine; Jerman Barat.
- [6] Hayati, Olgun; 1998: Investigation of The Performance of A Cross Flow Turbine; Mechanical Engineering Department, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey.
- [7] Inversin, A.R; 1986: Microhydro Power Source Book; NRECA International Foundation, Washington DC.
- [8] Montanari, R; 2003: Criteria for the Economic Planning of a Low Power Hydroelectric Plant, Pergamon; Dipartimento di Ingegneria Industriale, Universita degli Studi di Parma, Viale delle Science, Parma, Italy.
- [9] Philip Leigh, George Aggadis, David Howard and Bob Rothschild Kampen; 2007: Renewable Energy Resource Impact on Clean Electrical Power by developing the Nort-West England Hydro Resource Model; Lancaster University, England.
- [10] Sai Rachoor et. Al; 2006: Renewable Energy Source; Micro Hydro Power, New Jersey, USA.
- [11] Sutikno, Djoko; 1998: Turbin Air Cross Flow; Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang.
- [12] Young-Do Choi, Jae-Ik LIM, You-Tak KIM, Young-Ho Lee; 2008: Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade; Jurnal of Fluid Science and Technology, Korea Maritime University.