



Optimasi perancangan turbin air *axial* aliran horisontal menggunakan *analysis of variance*

Optimization of design an axial water turbine on horizontal flow using analysis of variance

A. Nurdin*, D.A. Himawanto, S. Hadi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami N0.36 A, Surakarta, Central Java, Indonesia

*Email : akhmadnurdin.89@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 1 September 2019

Accepted 8 June 2020

Available online 1 October 2020

Keywords:

Propeller turbine

Factorial design

Anova



The number of blades factor and the blade angle factor on the propeller turbine will be affect to the performance, and one of these factors is dominant affected for the turbine performance. To optimize the design of propeller turbines, must be known the factors that most influence its performance. This study aims to investigate the significance test of difference value in shaft power due to the number of blade factor and the blade angle factor, and to determine the most dominant influence of these factors. Hypothesis test method of these factors on this study using analysis-of-variance or ANOVA with SPSS 17.0 software. The results of this study indicate the significant test in shaft power value in the number of blades factor and the blade angle factor, and there is a relationship between both factors influences in shaft power value significantly. This study also shows the blade angle factor has the most dominant effect in shaft power value, beside the number of blade factor.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 10, No. 2 Oktober 2020, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Semakin berkurangnya sumber energi berasal dari fosil dan isu tentang pencemaran lingkungan karena polusi dari bahan bakar fosil, merupakan faktor utama yang menunjang untuk beralih menggunakan energi terbarukan, Erinofiardi dkk. (2017). Beberapa *review* penelitian tentang energi terbarukan telah dilakukan, seperti energi geothermal Mohammadzadeh dkk. (2018), energi angin Kumar ddk. (2016), energi laut Morandean dkk. (2013), energi biogas Nurdin dan Himawanto (2018), biomasa Aghamohammadi dkk. (2011), dan energi air Nurdin dan Himawanto (2018). Potensi energi air di Indonesia atau *hydropower* sekitar 75.000 MW, namun baru sekitar 9% yang dimanfaatkan untuk pembangkit dalam skala besar maupun kecil, Erinofiardi dkk. (2017). Dalam skala terkecil pembangkit listrik tenaga air disebut *pico hydro* dengan daya maksimal dibawah 5 kW, Nurdin and Himawanto (2019).

Salah satu aplikasi *pico hydro* dalam menghasilkan energi listrik yaitu memanfaatkan water system pada aliran horisontal dengan jenis turbin *axial* propeller (Ramos dkk., 2013., Samora dkk.,

2016). Dalam kinerjanya turbin *propeller* dipengaruhi oleh kerenggangan antar sudu yang menyebabkan distribusi tekanan pada permukaan turbin dan aliran air pada sudu akan berubah sesuai variasinya, sehingga performa turbin berubah pula. Beberapa faktor yang menyebabkan kerenggangan antar sudu tersebut antara lain kemiringan sudu dan jumlah sudu, Farhan (2016).

Dalam melakukan studi eksperimental terdiri dari dua atau lebih faktor, setiap faktor akan mempengaruhi satu sama lainnya, Salomon dkk.(2015). Analisa eksperimental yang berdasarkan desain faktorial bertujuan untuk menentukan faktor paling dominan dibandingkan faktor lainnya dalam memberi respon, Suddin (2006). Beberapa perhitungan analisa faktorial desain untuk menentukan interaksi faktor yang berpengaruh secara signifikan dapat menggunakan metode *analysis-of-variance* atau *ANOVA*, Sadi (2018). Agar mengetahui faktor-faktor yang bersifat signifikan, maka diperlukan pengujian hipotesis dengan pengulangan maupun tanpa pengulangan, Suddin (2006). Dengan diketahui faktor paling dominan diantara faktor lainnya, maka secara langsung dapat mengoptimalkan proses produksi dalam suatu perancangan, Montgomery dan Wiley (2013).

Berdasarkan beberapa pemaparan diatas, kinerja turbin air dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jumlah sudu dan kemiringan sudu. Salah satu dari dua faktor tersebut terdapat faktor dominan yang paling berpengaruh memberi respon secara signifikan. Obyek penelitian ini terletak pada analisa dua *independent variable* dengan masing-masing empat level dengan pengulangan empat kali, menggunakan metode *analysis-of-variance* atau *ANOVA*, selain itu penelitian ini bertujuan untuk uji signifikan perubahan nilai daya poros dan menentukan faktor yang paling mempengaruhi kinerja turbin *axial*. Secara langsung penelitian ini berkontribusi terhadap pengoptimalan design turbin *axial*, terutama turbin *propeller*.

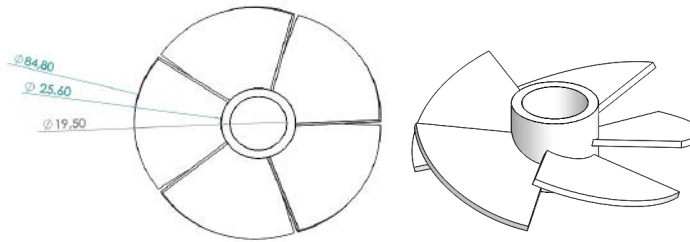
2. METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan uji *test rig* untuk pengambilan data secara eksperimental. Uji tes rig ini menggunakan dua pompa air untuk mensirkulasikan air dari *water tank* dengan debit 13 L/s. Turbin yang digunakan jenis turbin *propeller* aliran *axial* dengan sisipan sebuah *bulb* statis sebelum turbin atau disebut *bulb turbine*, tujuan *bulb* statis digunakan untuk meningkatkan kecepatan aliran air dan sebagai sudut pengarah sebelum menumbuk turbin. Gambar 2 menunjukkan spesifikasi dan dimensi turbin *propeller* (dalam satuan mm).

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini secara eksperimental dengan dua *independent variable* masing-masing empat *level* atau 4^2 , yaitu jumlah sudu 4, 5, 6, dan 7 serta kemiringan sudu 15, 20, 25, dan 30 derajat dengan debit 13 L/s dan setiap pengumpulan data dilakukan pengulangan empat kali, sehingga *running* dari pengumpulan data dilakukan 64 kali. Sedangkan *dependent variable* sebagai respon dari pengumpulan data ditunjukkan Tabel 1. adalah daya poros dengan satuan *Watt*.



Gambar 1. Alat uji eksperimental turbin *axial* air aliran horisontal



Gambar 2. Propeller axial turbine

- Uji signifikan metode faktorial desain menggunakan pengujian hipotesis, dengan hipotesis :
- H_{null1} : Faktor jumlah sudu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap daya poros;
 - H_{altv1} : Faktor kemiringan sudu berpengaruh secara signifikan terhadap daya poros
 - H_{null2} : Faktor jumlah sudu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap daya poros;
 - H_{altv2} : Faktor kemiringan sudu berpengaruh secara signifikan terhadap daya poros;
 - H_{null3} : Interaksi faktor jumlah sudu dan kemiringan sudu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap daya poros;
 - H_{altv3} : Interaksi faktor jumlah sudu dan kemiringan sudu berpengaruh secara signifikan terhadap daya poros.

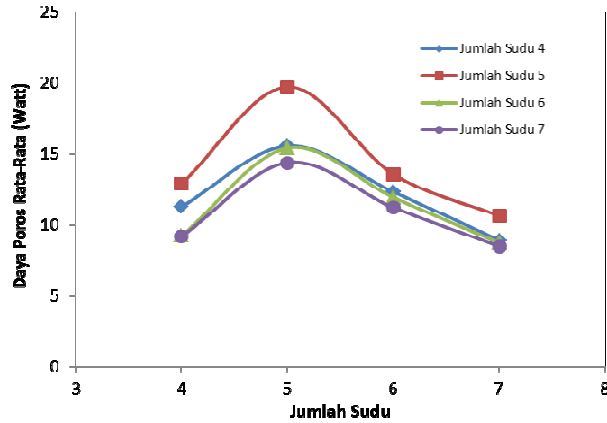
Dalam mengolah data hasil penelitian sesuai tabel 1 dengan metode *analysis-of-variance* atau ANOVA nilai kepercayaan (α) 0,05 atau 95% menggunakan perangkat lunak SPSS Statistics 2017, selanjutnya menganalisa uji signifikan dan faktor dominan berdasarkan *output* pengolahan data ANOVA secara *univariate* maupun *regression linier* berganda. Menurut Montgomery (2013) uji hipotesis berdasarkan nilai F_0 dapat dibandingkan dengan nilai F_{Table} , apabila nilai F_0 lebih kecil dibanding dengan nilai $F_{Critical}$ atau F_{Table} maka H_{null} diterima, sebaliknya F_0 lebih besar dibanding dengan nilai $F_{Critical}$ atau F_{Table} maka H_{null} ditolak, dengan nilai F_{Table} didapat dari tabel $F_{distribution}$ (lihat buku Montgomery (2013) Appendix IV). Selain itu uji hipotesis juga dapat dilakukan dengan uji t , sama seperti uji F apabila nilai t lebih kecil dibanding dengan nilai t_{Table} maka H_{null} diterima, sebaliknya t lebih besar dibanding dengan nilai t_{Table} maka H_{null} ditolak, dengan nilai t_{Table} didapat dari tabel $t_{distribution}$ (lihat buku Montgomery (2013) Appendix II).

Tabel 1. Pengumpulan data hasil daya poros (Watt) dengan empat pengulangan

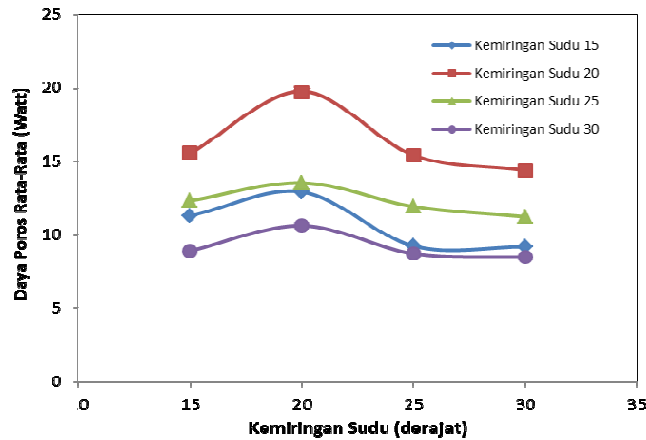
Kemiringan Sudu ($^{\circ}$)	Jumlah Sudu			
	4	5	6	7
15	11,239	15,007	12,244	8,735
	11,317	16,760	11,869	8,879
	11,317	14,600	12,717	9,006
	11,185	15,792	12,342	8,954
20	13,039	19,906	14,694	10,399
	13,283	19,228	12,028	10,320
	12,186	19,180	14,243	10,648
	13,039	20,501	13,158	11,038
25	8,376	16,253	12,199	8,436
	9,304	15,442	11,596	8,807
	8,704	14,353	11,297	8,807
	10,495	15,529	12,517	8,752
30	9,791	14,216	10,409	8,386
	10,173	14,272	10,707	7,930
	8,560	14,623	11,620	8,684
	8,159	14,351	12,050	8,839

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 1 dan dengan mengambil nilai estimasi rata-rata hasil *output ANOVA Univariate* didapat grafik seperti yang ditunjukkan gambar 3, dan gambar 4. Gambar 3 menunjukkan nilai daya poros naik dari jumlah sudu 4 ke jumlah sudu 5, selanjutnya menurun pada jumlah sudu 6 dan 7, sedangkan gambar 4 menunjukkan performa turbin berdasarkan kemiringan sudu dengan nilai daya poros naik dari kemiringan sudu 15⁰ ke 20⁰, selanjutnya menurun pada kemiringan 25⁰ dan 30⁰.



Gambar 3. Pengaruh jumlah sudu terhadap nilai estimasi rata-rata daya poros



Gambar 4. Pengaruh kemiringan sudu terhadap nilai estimasi rata-rata daya poros

Berdasarkan gambar 3 dan gambar 4, jumlah sudu dan kemiringan sudu mempengaruhi daya poros yang dihasilkan turbin. Untuk menguji pengaruh signifikan secara statistik dilakukan pengujian hipotesa berdasarkan H_{null} dan $H_{alternative}$ sesuai metode penelitian menggunakan uji *ANOVA Univariate* dan *ANOVA Univariate* Hasil *output uji ANOVA reggresion linier* berganda menggunakan perangkat lunak SPSS 17.0, seperti yang ditunjukkan tabel 2 dan tabel 5

Tabel 2. Hasil *Output Uji ANOVA Univariate*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-0	Significant
Corrected Model	576,353 ^a	15	38,424	91,366	0,000
Intercept	9324,075	1	9324,075	22171,289	0,000
JumlahSudu	106,626	3	35,542	84,513	0,000
Kemiringan	448,148	3	149,383	355,210	0,000

JumlahSudu * Kemiringan	21,579	9	2,398	5,701	0,000
Error	20,186	48	0,421		
Total	9920,614	64			
Corrected Total	596,539	63			

a. $R\text{ Squared} = 0,966$ ($Adjusted\ R\text{ Squared} = 0,956$)

Berdasarkan tabel 2 didapat uji ANOVA Univariate dengan nilai F_0 atau nilai *significant*, yang masing-masing nilai dapat dianalisa faktor yang dominan antara jumlah sudu dan kemiringan sudu. Secara langsung, hasil ANOVA Univariate tersebut didapat tingkat pengaruh *independent variable* terhadap *dependent variable*, dengan nilai *significant* kurang dari nilai kepercayaan ($\alpha = 0,05$) maka hal ini menunjukkan seluruh *independent variable* pada pengujian tersebut mempengaruhi secara signifikan terhadap *dependent variable*. Sedangkan tabel 3 yang menunjukkan uji hipotesis berdasarkan nilai F_0 dan nilai *significant* dari tabel 2, sedangkan pernyataan hipotesis *null* dan hipotesis *alternative* seperti pada bab Metode Penelitian. Berdasarkan tabel tersebut hipotesis *null* ditolak sehingga perubahan nilai daya poros berdasarkan jumlah sudu dan kemiringan sudu berbeda signifikan, selain itu terdapat interaksi antara jumlah sudu dan kemiringan sudu. Berdasarkan tabel 3, pada *Corrected Model* nilai F_0 menunjukkan lebih besar dibandingkan $F\text{-Critical}$, hal ini menunjukkan secara bersama semua *independent variable* (Jumlah sudu, Kemiringan sudu, dan interaksi jumlah sudu dengan kemiringan sudu) mempengaruhi nilai *dependent variable* secara signifikan. Selain itu tabel 3 juga menunjukkan *independent variable* secara terpisah jumlah sudu, kemiringan sudu, dan interaksi antara jumlah sudu dengan kemiringan sudu masing-masing mempengaruhi nilai *dependent variable* secara signifikan. Adanya pengaruh nilai *dependent variable* secara signifikan pada *variable* interaksi jumlah sudu dengan kemiringan menunjukkan terdapat nilai positif dan saling mempengaruhi antara variabel jumlah sudu dengan kemiringan sudu. Sedangkan berdasarkan besaran nilai F_0 , variabel kemiringan sudu memberikan respon terbesar terhadap *dependent variable* dibandingkan dengan variabel jumlah sudu, hal ini menunjukkan variabel kemiringan sudu lebih dominan dibandingkan variabel jumlah sudu. Menurut Salomon dkk., (2015) setiap faktor yang saling berinteraksi akan mempengaruhi satu sama lainnya, sehingga dalam penelitian ini variabel kemiringan sudu mempengaruhi variabel jumlah sudu.

Menurut Sarwono (2006) nilai korelasi antara variabel independen dengan variabel dependen dapat diklasifikasi berdasarkan nilai $R\text{ Squared}$, berdasarkan tabel 2 nilai $R\text{ Squared}$ adalah 0,966, hal ini menunjukkan jumlah sudu, kemiringan, dan jumlah sudu*kemiringan secara bersama memiliki korelasi positif terhadap daya poros dengan klasifikasi korelasi sangat kuat.

Tabel 3. Uji hipotesis berdasarkan nilai F_0

Factor	F_0	$F\text{-Critical}$	Keterangan
Corrected Model	91,366	2,184	$F_0 > F\text{-Critical}$, H_{null} ditolak
Jumlah Sudu	84,513	2,798	$F_0 > F\text{-Critical}$, H_{null} ditolak
Kemiringan Sudu	355,210	2,798	$F_0 > F\text{-Critical}$, H_{null} ditolak
Interaksi Jumlah Sudu dan Kemiringan Sudu	5,701	2,082	$F_0 > F\text{-Critical}$, H_{null} ditolak

Selain menggunakan ANOVA univariate, uji hipotesis juga bisa dilakukan dengan ANOVA reggresion linier berganda, seperti pada tabel 4 sampai tabel 6 yang menunjukkan hasil output dari ANOVA reggresion linier berganda. Tabel 4 menunjukkan nilai R atau nilai hubungan antara *independent variable* atau interaksi jumlah sudu dengan kemiringan sudu (jumlah sudu*kemiringan sudu) terhadap nilai *dependent variable* atau daya poros adalah 0,389 dengan determinasi atau R^2 sebesar 0,152 yang berarti secara umum pengaruh variabel jumlah sudu kemiringan sudu memiliki pengaruh 15,2% terhadap variabel nilai daya poros.

Tabel 5 menunjukkan hasil ANOVA reggresion linier berganda juga dapat digunakan untuk uji hipotesis interaksi jumlah sudu dengan kemiringan sudu atau jumlah sudu kemiringan sudu. Berdasarkan tabel 5, nilai *significant regression* 0,007 atau kurang dari nilai kepercayaan ($\alpha = 0,05$) sehingga interaksi jumlah sudu kemiringan sudu mempengaruhi nilai daya poros secara signifikan. Sedangkan Tabel 6 menunjukkan nilai output coefficient regresi linier dengan pengaruh dari jumlah sudu dan kemiringan sudu, berdasarkan unstandardized coefficients pada kolom B menunjukkan nilai

konstanta variabel daya poros adalah 19,427. Selanjutnya koefisien regresi dari jumlah sudu dan kemiringan sudu masing-masing -0,648 dan -0,169 hal ini menunjukkan setiap penambahan 1% nilai jumlah sudu nilai daya poros berkurang 0,648 dan setiap penambahan 1% nilai kemiringan sudu nilai daya poros berkurang 0,169. Dengan demikian, nilai persamaan regresi linier pada penelitian ini adalah $Y = 19,427 - 0,648X_1 - 0,169X_2$

Tabel 4. Hasil *output model summary regression linier*

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,389 ^a	0,152	0,124	2,880331

a. Predictors: (Constant), JumlahSudu, Kemiringan

Tabel 5. Hasil *output ANOVA regression linier*

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significant
1	Regression	90,465	2	45,232	5,452	0,007 ^a
	Residual	506,075	61	8,296		
	Total	596,539	63			

a. Predictors: (Constant), JumlahSudu, Kemiringan

b. Dependent Variable: DayaPoros

Tabel 6. Hasil *output coefficient regression linier*

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Significant
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	19,427	2,317		8,386	0,000
	JumlahSudu	-0,648	0,322	-0,237	-2,011	0,049
	Kemiringan	-0,169	0,064	-0,309	-2,619	0,011

a. Dependent Variable: DayaPoros

Sama seperti halnya ANOVA Unvariat, menggunakan ANOVA *regression linier* dapat diketahui tingkat pengaruh setiap *independent variable* terhadap respon *dependent variable*. Tabel 7 menunjukkan hasil uji hipotesis (hipotesis sesuai bab Metode Penelitian) berdasarkan uji *t*, dengan nilai *t* berasal dari tabel 6. Tabel 7 menunjukkan hasil uji *t* dengan pembandingan *t-table (two tail)* dengan hasil H_{null} setiap *independent variable* ditolak, sehingga variabel jumlah sudu dan variabel kemiringan sudu masing-masing berpengaruh secara signifikan terhadap nilai daya poros. Selain itu, nilai *t* pada variabel kemiringan sudu lebih besar dibandingkan variabel jumlah sudu (menggunakan *t-table two tail*) sehingga variabel kemiringan sudu memberikan respon terbesar terhadap *dependent variable* dibandingkan dengan variabel jumlah sudu, hal ini menunjukkan variabel kemiringan sudu lebih dominan dibandingkan variabel jumlah sudu.

Tabel 7. Uji hipotesis berdasarkan nilai *t*

Factor	t	t-tabel (two tail)	Keterangan
Jumlah Sudu	-2,011	±1,998	$t > t\text{-tabel}$, H_{null} ditolak
Kemiringan Sudu	-2,619	±1,998	$t > t\text{-tabel}$, H_{null} ditolak

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa uji hipotesis menggunakan ANOVA *Unvariat* maupun ANOVA *regression linier* sama-sama menunjukkan jumlah sudu dan kemiringan sudu memberi perubahan daya poros secara signifikan, serta terdapat interaksi antara jumlah sudu dan kemiringan sudu yang juga mempengaruhi perubahan daya poros secara signifikan pula. Sedangkan diantara dua variabel independen tersebut, kemiringan sudu memberi efek terbesar terhadap perubahan daya poros dibandingkan jumlah sudu. Dalam merancang turbin *axial propeller* variabel kemiringan sudu harus diperhatikan, karena sangat mempengaruhi terhadap daya poros yang dihasilkan. Selain itu, pada penelitian ini juga menunjukkan jumlah sudu 5 buah dengan kemiringan sudu 20 derajat menunjukkan peforma tertinggi dibandingkan dengan jumlah dan kemiringan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan S., 2006, Identifikasi faktor signifikan rancangan faktorial fraksional tanpa pengulangan dengan metode bissell, lenth, dan fang, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Aghamohammadi, Nasrin, Meriam N., Sulaiman N., Aroua M.K., 2011, Combustion characteristics of biomass in southeast asia, *Biomass and Bioenergy*, 35(9), 3884–90.
- Erinofiardi, Gokhale, Pritesh, Date A., Aliakbar A., 2017, A review on micro hydropower in indonesia, in 1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016, 110, 316–21.
- Farhan A.P., 2016, Optimalisasi desain turbin PLTA *pico- hydro* untuk meningkatkan efisiensi daya dengan bantuan *software CFD* dan konsep *reverse engineering*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Kumar, Yogesh., Ringenberg J., Soma S., Devabhaktuni V.K., Woo J., Nikolaidis E., Andersen B., Abdollah A., 2016, Wind energy : trends and enabling technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53, 209–24.
- Mohammadzadeh, Saeid, Jalilinasrabady S., Fujii H., Agung N., 2018, Classification of geothermal resources in indonesia by applying exergy concept, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 499–506.
- Montgomery, Douglas C., Wiley J., 2013, Design and analysis of experiments, Eighth Edition Arizona State University, Penerbit McGraw-Hill Education, New York.
- Morandeu, Maxime, Walker R.T., Argall R., Rachel F., Nicholls-lee, 2013, Optimisation of marine energy installation operations, *International Journal of Marine Energy*, 3(4), 14–26.
- Nurdin A., Himawanto D.A., 2018, Review aplikasi bahan bakar biogas pada motor bakar SI (*Spark Ignition*), *Jurnal Simetris*, 9(2), 797–802.
- Nurdin A., Himawanto D.A., 2018, Kajian teoritis uji kerja turbin *archimedes screw* pada head rendah, *Jurnal Simetris*, 9(2), 783–96.
- Nurdin A., Himawanto D.A., 2019, Studi numerik kekuatan material transmisi roda gigi pico hydro, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14(1):24–29.
- Ramos., Helena M., Simão M., Borga A., 2013, Experiments and cfd analysis for a new reaction microhydro propeller with five blades, *Journal of Energy Engineering*, 139(2), 109–117.
- Sadi, J.A., 2018, Designing experiments: 3 level full factorial design and variation of processing parameters methods for polymer colors, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 3(5), 109-115.
- Salomon, Lithrone L., Kosasih W., Angkasa S.O., 2015, Perancangan eksperimen untuk meningkatkan kualitas ketangguhan material dengan pendekatan analisis general factorial design (studi kasus : produk solid surface), *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 4(1), 20–26.
- Samora, Irene, Hasmatuchi V., Münch-Alligné C., Franca M.J., Schleiss A.J., Ramos H.M., 2016, Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation, *Renewable Energy*, 95, 356–66.
- Sarwono J., 2006, Analisis data penelitian menggunakan SPSS 13, Penerbit Andi, Yogyakarta.