

**ANALISIS VARIASI DIAMETER *NOZZLE* DAN *HEAD* TERHADAP  
DAYA *OUTPUT* MIKROHIDRO JENIS PELTON**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
Maret 2019**

**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ary Cahya Setyawan

NIM : K2513006

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Menyatakan bahwa skripsi saya berjudul “**ANALISIS VARIASI DIAMETER NOZZLE DAN HEAD TERHADAP DAYA OUTPUT MIKROHIDRO JENIS PELTON**” ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Selain itu, sumber informasi yang dikutip dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila pada kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya.

Surakarta, Maret 2019

Yang membuat pernyataan

A 6000 Rupiah postage stamp from Indonesia, featuring a portrait of a man and the text 'METERAI TEMPORER', '6000', and 'RUPIAH'. A signature is written over the stamp.

Ary Cahya Setyawan

**ANALISIS VARIASI DIAMETER *NOZZLE* DAN *HEAD* TERHADAP  
DAYA *OUTPUT* MIKROHIDRO JENIS PELTON**

Oleh :

**ARY CAHYA SETYAWAN  
K2513006**

**Skripsi**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mendapatkan gelar  
Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
Maret 2019**

**PERSETUJUAN**


Nama : Ary Cahya Setyawan  
NIM : K2513006  
Judul skripsi : Analisis Variasi Diameter *Nozzle* dan *Head* terhadap Daya *Output*  
Mikrohidro Jenis Pelton

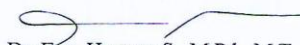
Skripsi ini telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Persetujuan Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Danar Susilo Wijayanto, S.T., M.Eng.  
NIP 197901242002121002

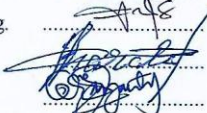
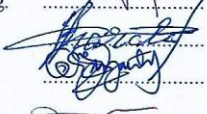
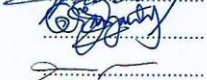
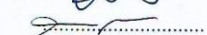
  
Dr. Eng. Herman S., M.Pd., M.T.  
NIP 198208112006041001

### PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Ary Cahya Setyawan  
 NIM : K2513006  
 Judul Skripsi : Analisis Variasi Diameter *Nozzle* dan *Head* terhadap Daya Output Mikrohidro Jenis Pelton

Skripsi ini telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret pada hari Selasa, 12 Maret 2019 dengan hasil LULUS dan revisi selama 2 bulan. Skripsi telah direvisi dan mendapatkan persetujuan dari Tim Penguji.

Persetujuan hasil revisi oleh Tim Penguji:

	Nama Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Dr. Indah Widiastuti, S.T., M.Eng.		14/03/2019
Sekretaris	: Ir. Husin Bugis, M.Si.		13/03/2019
Anggota 1	: Danar Susilo W., S.T., M.Eng.		13/03/2019
Anggota 2	: Dr. Eng. Herman S., M.Pd., MT.		19/03/2019

Skripsi disahkan oleh Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Mesin pada:

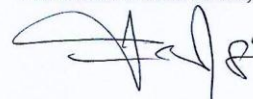
Hari : Rabu  
 Tanggal : 20 Maret 2019

Mengesahkan,



Prof. Dr. Joko Murkamto, M.Pd.  
 NIP. 196401241987021001

Kepala Program Studi  
 Pendidikan Teknik Mesin,



Dr. Indah Widiastuti, S.T., M.Eng.  
 NIP. 197805142005012002

## ABSTRAK

Ary Cahya Setyawan. K2513006. **ANALISIS VARIASI DIAMETER *NOZZLE* DAN *HEAD* TERHADAP DAYA *OUTPUT* MIKROHIDRO JENIS PELTON.** Skripsi, Surakarta: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Maret 2019.

Mikrohidro adalah pembangkit listrik untuk kapasitas daya *output* di bawah 100 KW yang ramah lingkungan. Konstruksinya yang sederhana dan biaya perancangan yang relatif tidak mahal menjadi alasan mengapa mikrohidro lebih cocok digunakan sebagai sumber energi listrik terutama di daerah terpencil yang masih sulit dijangkau oleh listrik dari PLN. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya *output* dari mikrohidro turbin Pelton, seperti besar debit air, jumlah sudu, bentuk sudu, diameter *runner*, *head*, jumlah *nozzle*, dan diameter *nozzle*. *Head* dan diameter *nozzle* menjadi variabel pada penelitian ini. Tujuannya adalah untuk menganalisis pengaruh variasi *head* dan diameter *nozzle* terhadap daya listrik yang dihasilkan turbin Pelton dari hasil simulasi dan hasil eksperimen, kemudian membandingkan keduanya. Penelitian ini menggunakan mikrohidro jenis Pelton dengan jumlah sudu 22 buah. Generator yang digunakan adalah tipe PMG 200 watt dengan rasio transmisi *pulley* 1 : 2.

Metode yang digunakan adalah metode simulasi dan metode eksperimental dengan memvariasikan *head* dan diameter *nozzle*. Variabel yang diambil dalam penelitian ini adalah variasi *head*, variasi diameter *nozzle*, dan daya listrik yang dihasilkan turbin Pelton. Variasi *head* yang digunakan adalah 1,6 m, dan 2,6 m, sedangkan variasi diameter *nozzle* yang digunakan adalah 5 mm, 7 mm, 9 mm, dan 11 mm. *Software* untuk melakukan simulasi aliran fluida dan putaran menggunakan *SolidWorks 2013*, sedangkan alat pengujian menggunakan *tachometer*, *flowmeter*, *amperemeter* dan *voltmeter* digital.

Hasil penelitian dari dua metode menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan *head* yang digunakan. Sedangkan untuk variasi *nozzle*, daya turbin mengalami peningkatan secara linier seiring dengan kenaikan ukuran *nozzle* sampai diameter 11 mm. Variasi *head* 2,6 m dengan *nozzle* berdiameter 11 mm menghasilkan daya listrik sebesar 11,87 watt pada keluaran debit air  $0,96 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  dengan putaran generator 269 rpm untuk hasil eksperimen. Putaran generator untuk hasil simulasi pada variasi yang sama adalah 442 rpm. Upaya peningkatan daya listrik suatu turbin Pelton dapat diperoleh dari *head* dan diameter *nozzle*.

**Kata Kunci** : mikrohidro, turbin Pelton, *head*, diameter *nozzle*, simulasi, daya listrik.

## ABSTRACT

*Ary Cahya Setyawan. K2513006. ANALYSIS OF NOZZLE DIAMETER AND HEAD VARIATION ON PELTON MICROHYDRO POWER OUTPUT. Thesis, Surakarta: Faculty of Teacher Training and Education, Sebelas Maret University Surakarta, March 2019.*

*Microhydro is a eco-friendly power plant for output capacity below 100 KW. Its simple construction and relatively inexpensive design costs are the reason why microhydro is more suitable to be used as a source of electrical energy, especially in isolated areas that are still difficult to reach by electricity of PLN. There are several factors that affect the output power of Pelton microhydro, such as volume flow rate, number of bucket, bucket shape, runner diameter, head, number of nozzle, and nozzle diameter. The head and diameter of the nozzle are the variables in this research. The purposes is to analyze the influence of head variation and nozzle diameter to the electrical power produced by Pelton turbine from simulation and experiment results, and then comparing both of the results. This research used Pelton turbine type microhydro with 22 pieces of bucket. The generator that used is a PMG 200 watts type with transmission ratio of pulley 1:2.*

*The methods used were simulation method and experimental method with varying head and diameter of a nozzle. Variable taken in this research was head variation, nozzle diameter variation, and electric power generated by Pelton turbine. Head variation used was 1,6 m, and 2,6 m, while nozzle diameter variaton used was 5 mm, 7 mm, 9 mm, and 11 mm. Software used to create fluid flow and rotation simulations is SolidWorks 2013, and the instruments for testing used tachometer, flowmeter, amperemeter and digital voltmeter.*

*The results from two methods showed that the head variable was directly proportional to power. Whereas for the nozzle variation, turbine power increases linearly as the nozzle size increases to 11 mm in diameter. Head variation 2,6 m with 11 mm nozzle diameter resulted electrical power of 11,87 watts at the volume flow rate output of  $0,96 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  with 269 rpm generator rotations for experiment result. Generator rotations for simulation result of the same variation is 442 rpm. The efforts to improve the electric power of a pelton turbine can be obtained from head and nozzle diameter.*

*Keywords: microhydro, Pelton turbine, head, nozzle diameter, simulation, electric power.*

## MOTTO

Kemuliaan orang adalah agamanya, harga diri atau kehormatannya adalah  
akalnya, dan ketinggian derajatnya adalah akhlaknya

(HR. Ahmad dan Al Hakim)

Sombong adalah menolak kebenaran dan meremehkan orang lain

(HR. Muslim)

Siapa yang menasihatiimu secara sembunyi-sembunyi maka ia benar-benar  
menasihatiimu. Siapa yang menasihatiimu di khalayak ramai, dia sebenarnya  
menghinamu

(Imam Syafi'i)

Berapa banyak manusia yang masih hidup dalam kelalaian sedangkan kain  
kafannya sedang ditenun

(Imam Syafi'i)

Pada awalnya kita sendiri yang harus membentuk kebiasaan, namun pada  
akhirnya kebiasaan itulah yang akan membentuk diri kita

(Dede Suprayitno)



## PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT saya panjatkan rasa syukur karena dengan izin dan kuasa-Nya, saya persembahkan karya ini untuk :

Bapak Ratmin, Ibu Sugi, dan Keluarga Tercinta

“Terimakasih atas kerja keras, doa, kasih sayang dan pikiran yang telah dilimpahkan kepada ananda tercinta.”

Fransiska Sastya Saptahani

“Adikku yang menjadi alasan untuk selalu bersemangat dalam mengerjakan skripsi ini.”

Nur Kholifah, Mini, Salafudin, Muslim, Hazis, Yusuf, ST, Deny

“Sahabat seperjuangan yang telah membantu dalam doa, dukungan dan semangat.”

Keluarga Besar PTM 2013

“Terima kasih atas semangat, perjuangan dan kerjasamanya.”

## KATA PENGANTAR

Puji bagi Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang, yang memberi ilmu, inspirasi, dan kemuliaan. Atas kehendak-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **"ANALISIS VARIASI DIAMETER NOZZLE DAN HEAD TERHADAP DAYA OUTPUT MIKROHIDRO JENIS PELTON"**.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian dari persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Peneliti menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, peneliti menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Joko Nurkamto, M.Pd., Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Dr. Indah Widiastuti, S.T., M.Eng., Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Danar Susilo Wijayanto, S.T, M.Eng., selaku Pembimbing I, yang selalu memberikan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
4. Dr. Eng. Herman S., M.Pd., M.T., selaku Pembimbing II, yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Semua pihak yang turut membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan peneliti. Meskipun demikian, peneliti berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan pengembangan ilmu.

Surakarta, Maret 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN .....	ii
HALAMAN PENGAJUAN .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iv
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN ABSTRAK .....	vi
HALAMAN <i>ABSTRACT</i> .....	vii
HALAMAN MOTTO .....	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Pembatasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS</b>	
A. Kajian Pustaka .....	7
B. Kerangka Berpikir .....	24
C. Hipotesis .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	26

B. Desain Penelitian .....	26
C. Rancangan Eksperimen.....	27
D. Teknik Pengambilan Sampel. ....	27
E. Teknik Pengumpulan Data .....	27
F. Teknik Analisis Data .....	32
G. Prosedur Penelitian .....	33
H. Diagram Alir Penelitian. ....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Penelitian.....	40
B. Pembahasan .....	102
<b>BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN</b>	
A. Simpulan .....	110
B. Implikasi .....	110
C. Saran .....	111
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	112
<b>LAMPIRAN</b> .....	115

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Waduk Gajah Mungkur (WGM), Wonogiri - Jawa Tengah .....	11
2.2. Turbin Pelton .....	17
3.1. Ukuran diameter <i>nozzle</i> 5 mm .....	28
3.2. Ukuran diameter <i>nozzle</i> 7 mm .....	28
3.3. Ukuran diameter <i>nozzle</i> 9 mm .....	28
3.4. Ukuran diameter <i>nozzle</i> 11 mm .....	28
3.5. Mikrohidro Turbin Pelton .....	29
3.6. <i>Tachometer</i> .....	30
3.7. <i>Multimeter</i> .....	30
3.8. <i>Flowmeter</i> .....	31
3.9. <i>Rollmeter</i> .....	31
3.10. Pompa Air .....	31
3.11. Diagram Alir Penelitian .....	39
4.1. Skema Pengujian .....	41
4.2. <i>Nozzle</i> Turbin .....	41
4.3. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	44
4.4. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	46
4.5. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	48
4.6. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	49
4.7. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	51
4.8. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	53

4.9. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	55
4.10. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	56
4.11. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	59
4.12. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	60
4.13. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	62
4.14. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	64
4.15. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	66
4.16. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	67
4.17. <i>Cut Plot Velocity</i> (Kecepatan Alir) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	70
4.18. <i>Cut Plot Pressure</i> (Tekanan) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama (a), Kedua (b), dan Ketiga (c) .....	71
4.19. Perangkat Mikrohidro. ....	73
4.20. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm .....	75
4.21. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm .....	77
4.22. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm .....	79
4.23. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm .....	81

4.24. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm .....	83
4.25. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm .....	85
4.26. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm .....	87
4.27. Tiga Hasil Simulasi Putaran Turbin (a) dan Generator (b) untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm .....	89
4.28. Data Simulasi Debit Air terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	91
4.29. Data Simulasi Kecepatan Aliran Air terhadap Diameter <i>Nozzle</i> . .....	92
4.30. Data Simulasi Putaran Turbin terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	93
4.31. Data Simulasi Putaran Generator terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	94
4.32. Data Pengukuran Debit Air terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	95
4.33. Data Perhitungan Kecepatan Aliran Air terhadap Diameter <i>Nozzle</i> . .....	96
4.34. Data Pengukuran Putaran Turbin terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	97
4.35. Data Pengukuran Putaran Generator terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	98
4.36. Data Pengukuran Tegangan Listrik terhadap Diameter <i>Nozzle</i> . .....	99
4.37. Data Pengukuran Arus Listrik terhadap Diameter <i>Nozzle</i> . .....	100
4.38. Hubungan Daya Listrik terhadap Diameter <i>Nozzle</i> .....	102
4.39. Hubungan Daya Listrik terhadap Kecepatan Putaran . .....	104
4.40. Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Debit Air .....	105
4.41. Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Air.....	106
4.42. Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Putaran Turbin.....	107
4.43. Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Putaran Generator.....	108

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1. Potensi Energi Fosil Nasional .....	1
1.2. Potensi Energi Terbarukan Nasional .....	2
3.1. Rancangan Eksperimen .....	27
3.2. Spesifikasi Turbin Pelton .....	29
3.3. Spesifikasi Pompa Air .....	32
4.1. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	43
4.2. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	47
4.3. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	50
4.4. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	54
4.5. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	57
4.6. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	61
4.7. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	65
4.8. <i>Goal Plot</i> untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	68
4.9. Data Torsi Tiap Variasi .....	72
4.10. Hasil Putaran untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	74
4.11. Hasil Putaran untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 7 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	76
4.12. Hasil Putaran untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 9 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	78
4.13. Hasil Putaran untuk <i>Head</i> 1,6 m dengan <i>Nozzle</i> 11 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	80
4.14. Hasil Putaran untuk <i>Head</i> 2,6 m dengan <i>Nozzle</i> 5 mm pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	82



4.15. Hasil Putaran untuk <i>Head 2,6 m</i> dengan <i>Nozzle 7 mm</i> pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	84
4.16. Hasil Putaran untuk <i>Head 2,6 m</i> dengan <i>Nozzle 9 mm</i> pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	86
4.17. Hasil Putaran untuk <i>Head 2,6 m</i> dengan <i>Nozzle 11 mm</i> pada Uji Simulasi Pertama, Kedua, dan Ketiga .....	88



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
1. Data Hasil Simulasi .....	115
2. Data Hasil Pengukuran . .....	127
3. Absensi Seminar Proposal . .....	128
4. Surat Permohonan Izin Penelitian Kepada Dekan . .....	131
5. Surat Permohonan Izin Menyusun Skripsi Kepada Wakil Dekan I .....	132
6. Surat Keputusan Dekan FKIP UNS Tentang Izin Menyusun Skripsi .....	134
7. Surat Permohonan Izin Penelitian Kepada Kepala Bengkel Prodi .....	134
8. Foto Penelitian .....	135

