

**Kode>Nama Rumpun Ilmu : 432/  
Teknik Produksi dan atau  
Manufaktur**

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN TIM PASCASARJANA**



**JUDUL PENELITIAN**

**PENINGKATAN EFISIENSI DAN OPTIMASI  
TURBIN MIKROHIDRO JENIS PUMP AS TURBIN (PAT)  
MELALUI MODIFIKASI DESAIN DAN MANUFaktur DARI IMPELLER**

**TIM PENGUSUL**

**KETUA : DR. DEDE LIA ZARIATIN ST., MT. (NIDN: 0312017603)**  
**ANGGOTA : DR. IR. DWI RAHMALINA, MT. (NIDN: 0301096901)**  
**DR. ISMAIL, ST., MT. (NIDN: 0312058001)**

**Dibiayai oleh  
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan  
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi  
No. SP DIPA-042.06.1.4011516/2017**

**Sesuai dengan Surat Perjanjian Dalam Rangka Pelaksanaan Program Penelitian  
Nomor : 116/SP2H/LT/DRPM/IV/2017 dan 214/SP2H/LT/DRPM/III/2016,  
Tanggal 3 April 2017**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Peningkatan Efisiensi dan Optimasi Turbin Mikrohidro jenis Pump as Turbin (PAT) Melalui Modifikasi Desain dan Manufaktur dari Impeller.

**Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : Dr DEDE LIA ZARIATIN, S.T, M.T  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila  
NIDN : 0312017603  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Teknik Mesin  
Nomor HP : 082124588227  
Alamat surel (e-mail) : dedeliazariatin@univpancasila.ac.id

**Anggota (1)**  
Nama Lengkap : Dr. Ir DWI RAHMALINA  
NIDN : 0301096901  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila

**Anggota (2)**  
Nama Lengkap : Dr ISMAIL S.T, M.T  
NIDN : 0312058001  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila

**Institusi Mitra (jika ada)**  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 3 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 150,000,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 374,740,000

Mengetahui,  
Dekan

  
(Dr. Ir. Budhi Muliawan Suyitno, IPM)  
NIP/NIK 4314411286

D.K.I. JAKARTA, 25 - 10 - 2017

Ketua,

  
(Dr DEDE LIA ZARIATIN, S.T, M.T)  
NIP/NIK 4300211011

Menyetujui,  
Kepala LPPM-UP

  
(Dra. Hj. Dewi Trirahayu, M.M)  
NIP/NIK 0330046201

## RINGKASAN

Pada tahun ke-2 ini telah dilakukan modifikasi desain dari impeller serta melakukan modifikasi proses manufaktur. Untuk desain impeller, akan dibuat beberapa varian bentuk, yaitu:

1. Variasi material dari blade, diantaranya membandingkan dengan aluminium dan material kuningan. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material kuningan menghasilkan energi listrik yang lebih baik.
2. Variasi jumlah blade yang berbeda, yaitu 5 blade dan 6 blade. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa impeller dengan jumlah 6 blade menghasilkan daya listrik yang lebih baik, hingga 6% dari impeller dengan jumlah blade 5.

Sedangkan untuk modifikasi proses manufaktur, akan dilakukan tiga variasi proses manufaktur, yaitu:

1. Proses pemesinan yang dilakukan pada mesin milling 3-aksis. Empat buah impeller berhasil dibuat yaitu masing-masing 1 buah impeller dari kuningan dan aluminium dengan jumlah blade 6 dan 5.
2. Pola atau *pattern* dari proses pengecoran menggunakan teknologi *Rapid prototyping* dengan 3-D printing. Produk hasil proses pengecoran harus tetap melalui proses pemesinan untuk meningkatkan kualitas impeller yang dihasilkan.
3. Proses pengecoran dengan menggunakan tungku/*crucible* yang dibuat di tahun ke-2 ini. Sebanyak 4 buah impeller dihasilkan pada proses pengecoran.

Luaran yang telah dihasilkan hingga saat ini adalah :

1. Kelulusan tepat waktu 3 mahasiswa program Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila yaitu :
  - a. Ahmad Fauzan Al Ansory (5314221075) dengan judul "Optimasi Desain Impeler Untuk Meningkatkan Efisiensi Pompa Sentrifugal Yang

Difungsikan Sebagai Turbin Menggunakan Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)”.

- b. Shanti Kumbarasari (5314221097) dengan judul “Perancangan Proses Permesinan Dan Analisis Produk Prototype Impeller Sentrifugal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Skala Laboratorium”.
  - c. Misra Jaya (5315220022) dengan judul “Kajian Eksperimental Terhadap Efisiensi Peleburan Aluminium pada Tungku *Crucible*”.
2. Satu artikel ilmiah yang telah di submit (*under review*) di jurnal internasional “**Renewable Energy**” terindek Scopus dengan impact faktor 4,83 – Q1, berjudul “**The Effect of Surface Roughness of the Impeller to the Performance of Pump as Turbine (PAT)**”
  3. Satu draft artikel ilmiah dengan judul “**Experimental Study of Aluminum Smelting Efficiency at Crucible**” yang akan disubmit ke International Journal of Applied Engineering Research.
  4. Satu artikel ilmiah dengan judul “**The performance of Pump as Turbine with Machined Impellers**” yang telah disampaikan pada 2<sup>nd</sup> International Joint Conference on Advanced Engineering and Technology & International Symposium on Advanced Mechanical and Power Engineering, 24-26 Agustus 2017, Sanur Paradise Plaza Hotel, Bali, Indonesia.
  5. Satu draft artikel ilmiah dengan judul “**Pembuatan Pola Impeller Dengan Menggunakan Teknologi 3D Printing**” yang akan disubmit ke jurnal nasional “Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta” yang telah terindeks DOAJ, terdaftar di SINTA, IP dan Google Scholar.
  6. Satu desain tungku pengecoran dengan bahan bakar LPG.

## DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan.....	i
RINGKASAN .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	2
2.1 Proses Pemesinan.....	3
2.2 Angka Kekasaran .....	11
2.3 Pump As Turbin.....	12
2.4 Proses Pengecoran.....	15
2.5 Logam Kuningan.....	23
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	24
3.1. Tujuan Khusus .....	24
3.2. Keutamaan Penelitian .....	25
BAB 4. METODE PENELITIAN.....	26
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI .....	29
5. 1. Hasil yang dicapai.....	29
5.1.1. Impeller Hasil Pemesinan .....	29
5.1.2. Pengujian Eksperimental Impeller .....	35
5.1.3. Impeller Hasil Proses Pengecoran .....	37
5.1.4. Analisis Tungku Pengecoran .....	38
5. 2. Luaran yang dicapai.....	43

BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA.....	45
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Massa Jenis dari Kuningan (Nugroho, 2010) .....	23
Tabel 5. 1 Urutaan proses pemesinan dan parameternya untuk impeller 5 sudu ....	31
Tabel 5. 2 Urutaan proses pemesinan dan parameternya untuk impeller 6 sudu ....	31
Tabel 5. 3 Hasil Pengukuran Impeller 6 sudu.....	33
Tabel 5. 4 Hasil Pengukuran Impeller 5 sudu.....	33
Tabel 5. 5 Kekasaran Permukaan Impeller hasil proses pemesinan.....	34
Tabel 5. 5 Hasil Eksperimen .....	36
Tabel 5. 6 Hasil perhitungan kebutuhan energi, kerugian panas dan efisiensi tungku .....	41
Tabel 5. 7 Hasil pengujian spektra .....	42
Tabel 6. 1 Rencana Tahapan Berikutnya di akhir Tahun II dan Tahun III .....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Perencanaan Proses Pemesinan .....	4
Gambar 2. 2 Simulasi Proses Roughing Pada CAM .....	4
Gambar 2. 3 Simulasi Proses <i>Finishing</i> Pada CAM .....	5
Gambar 2. 4 Simulasi Pembuatan Blade Pada CAM .....	6
Gambar 2. 5 Proses pembuatan <i>blade</i> pada mesin Powermill CNC 3 Axis .....	7
Gambar 2. 6 Gerakan <i>slab milling</i> pada mesin CNC.....	8
Gambar 2. 7 Gerakan <i>face milling</i> pada Mesin CNC [10].....	9
Gambar 2. 8 Efficiency of Centrifugal Pumps Versus Specific Speed, Size, And Shape- Adapted From Anderson. Note: Actual Experience For $N_s > 2286$ Shows Higher Efficiency, as Indicated by the Dashed Line [18].....	14
Gambar 2. 9 Tungku Kupola (Akuan, 2014).....	17
Gambar 2. 10 Electric Furnace Indirect System (Akuan, 2014) .....	18
Gambar 2. 11 <i>Electric Furnace Direct System</i> (Akuan, 2014).....	18
Gambar 2. 12 Tungku Induksi Listrik (Akuan, 2014) .....	19
Gambar 2. 13 Tungku <i>Converter Bessemer</i> (Akuan, 2014) .....	19
Gambar 2. 14 Proses Oksigen Pada Dapur Basa Untuk.....	20
Gambar 2. 15 LD Top Blown Converter (Akuan, 2014).....	21
Gambar 2. 16 Tiga Jenis Contoh Dapur <i>Crucible</i> (P.Groover, 2000) .....	23
Gambar 3. 1 Bagan Penelitian .....	26
Gambar 5. 1 Modifikasi Impeller dengan 5 sudu .....	29
Gambar 5. 2 Alur Proses Pemesinan .....	30
Gambar 5. 3 <i>Variasi Cutting Tool Yang Digunakan</i> .....	32
Gambar 5. 4 (a) Instalasi Pengujian (b) dan (c) Pengujian yang dilakukan.....	35
Gambar 5. 5 Kecepatan Putar Poros Pompa yang dihasilkan .....	36
Gambar 5. 6 Energi listrik yang dihasilkan .....	36
Gambar 5. 7 Desain dan Konstruksi Tungku yang Dikembangkan .....	37
Gambar 5. 8 Alur Proses Pengecoran.....	38
Gambar 5. 9 (a) Impeller Hasil Pengecoran, (b) Pemotongan Riser dengan Proses Grinding dan (c) Proses Finishing Milling .....	38
Gambar 5. 10 Variasi Posisi Burner (a) di samping, (b) di atas.....	39
Gambar 5. 11 Grafik Distribusi Temperatur Dan Waktu Peleburan Aluminium Dengan Dengan Letak <i>Burner</i> Di Samping Dan Jenis <i>Burner</i> 1 & 2.....	40



Gambar 5. 12 Grafik Distribusi Temperatur dan Waktu Peleburan Aluminium dengan Letak *Burner* di atas untuk Jenis *Burner* 1 & 2 ..... 41

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Satu artikel ilmiah yang telah di submit ke jurnal internasional “**Renewable Energy**” terindek Scopus dengan impact faktor 4,83 – Q1, berjudul “**The Effect of Surface Roughness of the Impeller to the Performance of Pump as Turbine (PAT)**”
- Lampiran 2.** Satu draft artikel ilmiah dengan judul “**Experimental Study of Aluminum Smelting Efficiency at Crucible**” yang akan disubmit ke International Journal of Applied Engineering Research.
- Lampiran 3.** Satu artikel ilmiah dengan judul “**The performace of Pump as Turbine with Machined Impellers**” yang telah disampaikan pada 2<sup>nd</sup> International Joint Conference on Advanced Engineering and Technology & International Symposium on Advanced Mechanical and Power Engineering, 24-26 Agustus 2017, Sanur Paradise Plaza Hotel, Bali, Indonesia.
- Lampiran 4.** Satu draft artikel ilmiah dengan judul “**Pembuatan Pola Impeller Dengan Menggunakan Teknologi 3D Printing**” yang akan disubmit ke jurnal nasional “Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta” yang telah terindeks DOAJ, terdaftar di SINTA, IP dan Google Scholar.
- Lampiran 5.** Satu desain tungku pengecoran dengan bahan bakar LPG.

## BAB I. PENDAHULUAN

Salah satu komponen terpenting dari pompa sebagai turbin (*pump as turbine*, PAT) adalah impeller. Terdapat beberapa pilihan proses manufaktur untuk menghasilkan impeller diantaranya :

### 1. Proses Pengecoran (*Casting*).

Proses pengecoran sangat umum digunakan untuk menghasilkan impeller dengan kapasitas jumlah produksi yang besar. Proses pengecoran dilakukan dengan menuangkan material yang telah dicairkan pada cetakan yang telah disiapkan dan tunggu hingga produk menjadi padat. Setelah proses pengecoran, tetap dibutuhkan proses pemesinan untuk mendapatkan dimensi akhir yang presisi serta kualitas kekasaran produk yang diinginkan melalui proses pemesinan.

Keterbatasan dari proses pengecoran adalah sulitnya menjaga kualitas permukaan dari impeller yang dihasilkan. Walaupun hal ini dapat diatasi dengan melakukan proses penghalusan permukaan menggunakan gerinda tangan, seperti yang dilakukan pada tahun I hibah ini.

### 2. Proses Pemesinan (*Machining*)

Dari hasil penelitian di tahun I, diketahui bahwa kualitas permukaan impeller yang lebih baik akan meningkatkan energi listrik yang dihasilkan hingga 4,77%. Untuk dapat menjaga kualitas permukaan impeller hingga ke dalam rongga impeller, proses pemesinan dapat menjadi salah satu alternatif cara untuk menghasilkan impeller dengan kekasaran permukaan yang lebih baik dari proses pengecoran.

Di sisi lain, hasil proses pengecoran yang dilakukan di tahun I masih terdapat beberapa ketidaksempurnaan contohnya adalah adanya lubang-lubang kecil pada konstruksi impeller. Sehingga pada tahun ke II ini dilakukan penyempurnaan proses pengecoran dengan membuat tungku pengecoran dan mengujinya.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pompa sebagai turbin, *Pumps as Turbines* atau yang lebih dikenal dengan istilah PAT adalah suatu pompa yang difungsikan sebagai turbin, dengan prinsip kerja kebalikan dari pompa. PAT adalah salah satu jenis pembangkit mikro hidro yang sangat cocok untuk daerah pedesaan berbukit atau pegunungan yang memiliki ketersediaan aliran air. PAT memiliki beberapa keuntungan dibandingkan jenis turbin mikro hidro lain, diantaranya adalah : (Elbatran, Yaakob, Ahmed, & Shabara, 2015)

1. Biaya yang lebih rendah bila dibandingkan pembangkit mikro hidro lainnya, hingga 53% (Arriaga, 2010).
2. Ketersediaan dan aplikasi yang lebih luas.
3. Desain yang sederhana dan kemudahan instalasi.
4. Komponen mudah didapatkan.
5. Usia pakai yang panjang, dapat digunakan secara terus menerus hingga 25 tahun.

Salah satu masalah yang dihadapi pada aplikasi pompa sebagai turbin adalah efisiensi dari PAT umumnya lebih rendah bila dibandingkan turbin hidro konvensional (Jain & Patel, 2014). Sehingga diperlukan peningkatan efisiensi dari turbin agar diperoleh peningkatan daya listrik yang dihasilkan oleh PAT. Peningkatan efisiensi ini dicapai, diantaranya dengan melakukan modifikasi pada impeller yaitu dengan menggerinda ujung aliran masuk impeller (Suarda, Suarnadwipa, & Adyana, 2006), memotong bagian impeller (Sun-Sheng, Fan-Yu, Wan-Ming, & Xiao-Yun, 2012), membulatkan bagian blade (Singh, Optimization of Internal Hydraulics and of System Design for Pumps as Turbines with Field Implementation and Evaluation) (Singh & Nestmann, Internal hydraulic analysis of impeller rounding in centrifugal pumps as turbines, 2011) (Derakhshan, Mohammadi, & Nourbakhsh, 2009), mengurangi sudut *blade wrap* (Yang, Chen, & Su, 2012), bervariasi *splitter blade* (Yang, Kong, Fu, & Ling, 2012) dan desain ulang geometri blade dengan teknik optimasi gradient based (Derakhshan, Mohammadi, & Nourbakhsh, 2009). Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, belum terdapat kajian yang melakukan modifikasi impeller

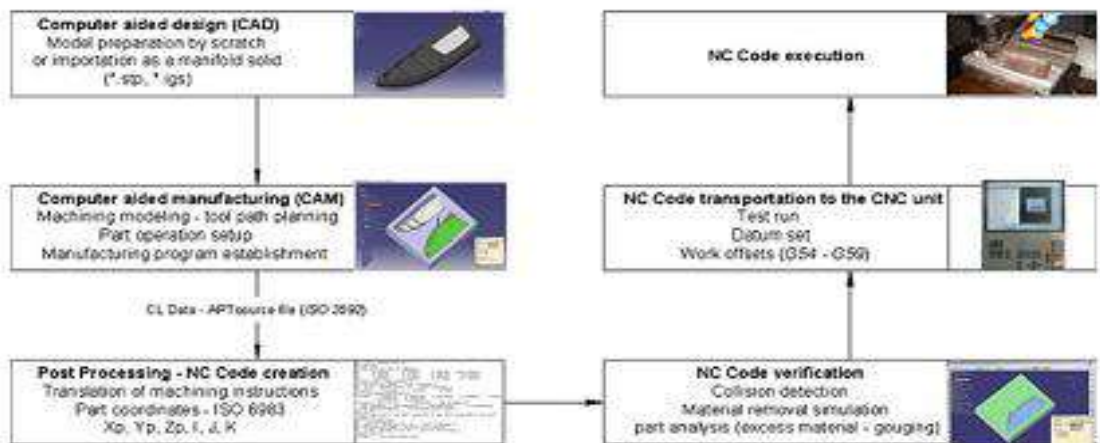
secara terintegrasi dengan mendesain ulang bentuk dan geometri impeller, serta melakukan pemilihan material atau pelapisan impeller yang optimum untuk meningkatkan efisiensi PAT.

Efisiensi PAT juga dipengaruhi arah aliran masuk impeler yang dapat diatur berdasarkan sudut guide vane (Giosio, Henderson, Walker, Sargison, & Gautam, 2015). Namun informasi tentang pengaruh dari kondisi aliran masuk dan keluar impeler pada pembangkit mikro hidro PAT masih sangat minim. Sehingga penelitian yang komprehensi tentang aliran masuk dan keluar impeler perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi PAT.

*Computational Fluid Dynamic* (CFD) adalah perangkat lunak yang terbukti efektif untuk menganalisis dan mensimulasikan aliran fluida. Namun, hasil eksperimen menunjukkan adanya perbedaan antara hasil analisis CFD dengan aktual yang terjadi. Perbedaan ini dapat mencapai hingga 12,31%. Hal ini disebabkan oleh pengabaian kebocoran dan kerugian pada sistem mekanik (Sun-Sheng, Fan-Yu, Wan-Ming, & Xiao-Yun, 2012) (Yang, Shahram, & Kong, Theoretical, Numerical and Experimental Prediction of Pump as Turbine Performance, 2012).

## 2.1 Proses Pemesinan

Sebelum melakukan proses pemesinan menggunakan mesin CNC, harus terlebih dahulu dibuat model *prototype* impeller dengan memanfaatkan perangkat lunak CAD. Selanjutnya model geometri *blade* tersebut di *import* ke *Post-Processed Actual NC Code* pada mesin *CAM/Powermill*. Hasil *import* program akan mendapatkan lokasi *cutter* serta verifikasi simulasi software alur pengerjaan yang sesuai dengan proses pemesinan yang sesuai dengan kenyataan sehingga hal ini dapat menjadikan waktu lebih efektif. Gambar 2.1 menunjukkan diagram alir dari perencanaan proses pemesinan dengan menggunakan perangkat lunak CAD/CAM.

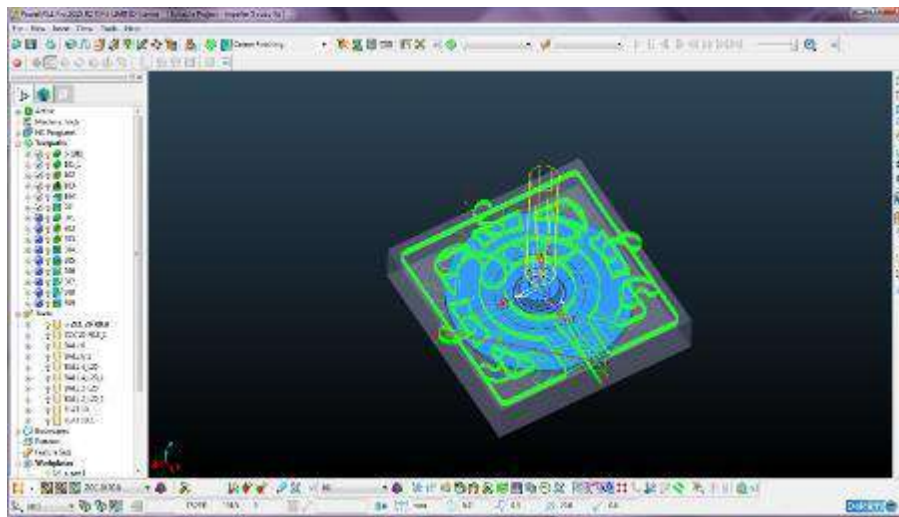


Gambar 2. 1 Diagram Alir Perencanaan Proses Pemesinan

Pada proses permesinan pembuatan impeller dengan menggunakan mesin CAM terdapat beberapa proses yaitu :

a. *Roughing*

Proses *roughing* sangat berperan pada pengerjaan dengan *high speed milling*. Proses ini bertujuan untuk keseragaman permukaan benda kerja sebelum proses *semi finishing* sesuai dengan kontur desain yang diinginkan, proses *roughing* ini berkaitan dengan ukuran kedalaman pemakanan, kekerasan *raw material* serta meningkatkan produktivitas.



Gambar 2. 2 Simulasi Proses Roughing Pada CAM

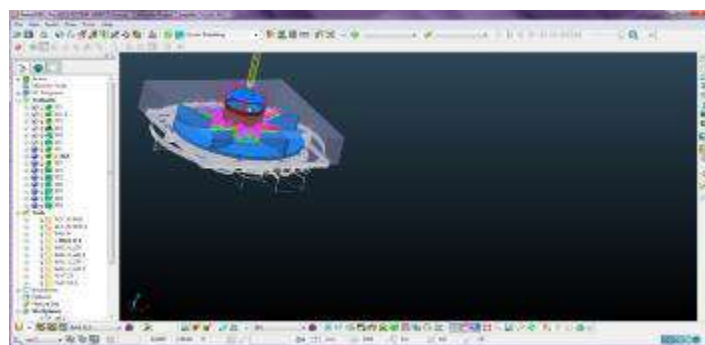
Untuk proses *roughing* untuk pemakanan dengan *thickness* (dimana merupakan *allowance* pemakanan sebelum proses *finishing*) 0,3-0,5 mm dan toleransi (toleransi ukuran/bentuk jadi dari *toolpath*) 0,05-0,1 mm pada proses permesinan yang menggunakan *powermill*. Pada saat *stepover* (*overlap cutter* saat pemakanan) untuk jenis *cutting tool insert* :

<i>Insert</i>	: (70% - 80%) x diameter <i>cutter</i>
<i>Endmill</i>	: (70% - 80%) x diameter <i>cutter</i>
<i>Ballnosed</i>	: 1/3 x diameter <i>cutter</i>

Untuk pembuatan sudu impeler yang membentuk radius membutuhkan proses *semi roughing of corners*. Untuk pembuatan impeller yang digunakan adalah *rest milling* dengan sudut 90° (kedalaman sudut 4 x cutter diameter *finishing*) agar material sisa proses *roughing* tidak terlalu banyak maka strategi permesinan dapat dilakukan dengan menggunakan diameter cutter radius besar namun tidak melebihi *radius* sudut (maksimal *cutter* yang digunakan adalah diameter cutter = 2 x radius -1) yang akan dibentuk agar tidak terjadi getaran kemudian dilanjutkan dengan diameter *cutter* radius yang lebih kecil agar permukaan impeller dapat lebih halus serta gerakan alat potong (*cutter*) lebih stabil.

#### b. Semi finishing

Merupakan bagian dari proses *finishing*, proses pemotongan material terutama pada bagian yang tidak rata dengan *allowance* tertentu sebelum proses *finishing* dengan *thickness* 0,05 – 0,1 mm dengan toleransi 0,05 – 0,1 mm.



Gambar 2. 3 Simulasi Proses *Finishing* Pada CAM

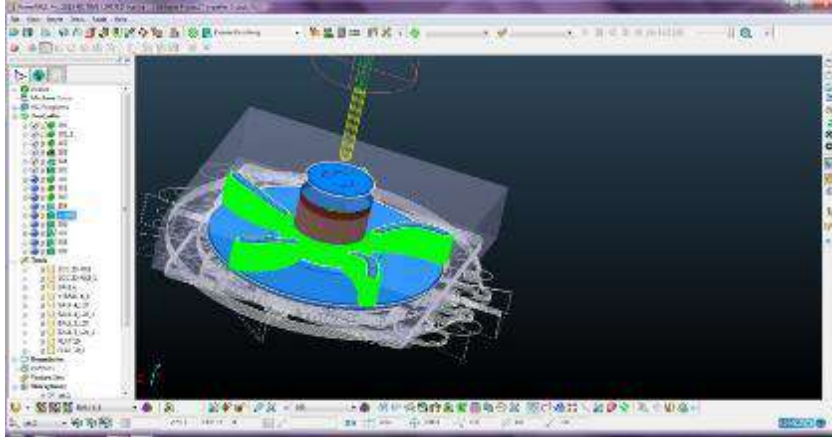
Pada *step over* (*overlap cutter* saat pemakanan) untuk jenis *cutting tool insert* :

<i>Endmill</i>	: (70% - 80%) x diameter <i>cutter</i>
----------------	--

*Ballnosed* :  $1/3 \times \text{diameter cutter}$

c. *Finishing*

Langkah proses permesinan langkah terakhir untuk mencapai kehalusan permukaan serta toleransi tertentu sesuai dengan yang dikehendaki dengan thickness 0 serta toleransi 0,005 – 0,001 mm.



Gambar 2. 4 Simulasi Pembuatan Blade Pada CAM

*Step over* (*overlap cutter* saat pemakanan) untuk jenis cutting tool insert :

*Endmill* :  $(70\% - 80\%) \times \text{Diameter Cutter}$

*Ballnosed* :  $1/3 \times \text{Diameter Cutter}$

Untuk proses *step down* maka untuk melakukan proses *finishing* maksimal 0,3 mm.[7]

Untuk pemilihan alat potong terutama pada variable *pitch angles milling cutter* sangat efektif dalam meningkatkan kestabilan dalam proses pemotongan pada *range* kecepatan tertentu akan berpengaruh pada struktur desain geometri produk terutama pada kualitas permukaan sehingga berpengaruh pada biaya produksi dan durasi proses permesinan. Alat potong yang berkualitas rendah merupakan indikasi penurunan proses otomatisasi serta produktivitas permesinan.

Kestabilan cutting tools pada pemotongan material dipengaruhi oleh jumlah gigi *cutting tools* serta pemilihan kecepatan rotasi *spindle*, ukuran sudut *helix end mill* yang lebih besar berpengaruh pada kestabilan proses pemotongan serta untuk mendapatkan keseimbangan pada proses pemotongan yang dinamis maka yang perlu diperhatikan *pitch dan geometri cutter*. (Qinghua Song, 2011)



Alat potong yang digunakan pada proses permesinan untuk produk impeller yaitu *ball-end cutter*, kelebihan penggunaan *ball-end cutter* adalah mudah dalam pengontrolan saat alat potong berotasi serta penggantian alat potong lebih cepat pada saat proses pembentukan impeller . (Li Shan, 2011)

Proses permesinan dengan menggunakan mesin milling adalah proses menghilangkan bagian material yang tidak digunakan dengan menggunakan alat potong yang berputar yang mempunyai banyak sisi potong.



Gambar 2. 5 Proses pembuatan *blade* pada mesin Powermill CNC 3 Axis

Gerakan-gerakan yang digunakan pada mesin milling yaitu sebagai berikut :

**a. Gerakan utama (berputar)**

Sisi potong pahat milling dibuat dalam bentuk bulat, berputar pada sumbunya sambil memotong benda kerja.

**b. Gerakan pengikatan**

Untuk mendapatkan sisi-sisi potong masuk dalam benda kerja, benda kerja diletakkan berlawanan arah dengan pergerakan alat pahat. Kedalaman dari pemasukkan diakibatkan dari gerakan pengikatan.

**c. Gerakan pemakanan**

Benda kerja digerakkan sepanjang benda yang akan dikerjakan dengan bidang yang dipotong (di milling). Gerak pemakanan adalah gerakan lurus atau melingkar atau lurus dan melingkar bergerak bersama-sama.

Gerakan-gerakan pemakanan terdiri dari:

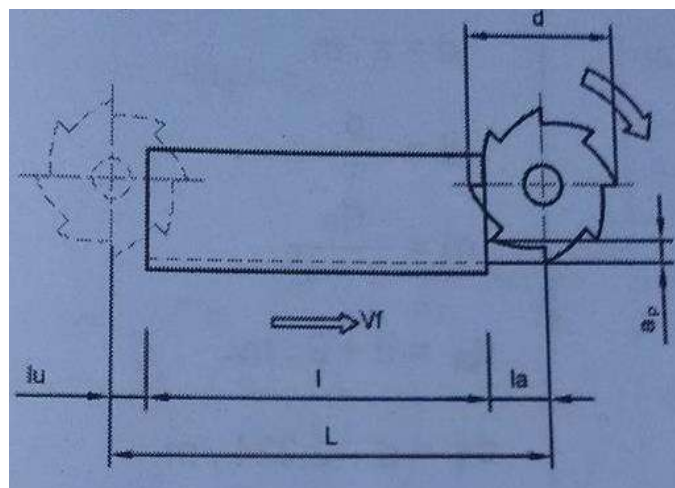
1. Gerakan utama dari pahat yang berputar
2. Gerakan pemakanan dari benda kerja

Di dalam proses permesinan yang menggunakan mesin milling, terdapat dua cara metode pengerjaan yaitu:

**a. Slab milling**

Untuk slab milling maka sumbu pisau milling sejajar dengan permukaan benda kerja. Gigi pisau bagian sisi yang digunakan pada proses slab milling hanya yang bergerak untuk menyayat bagian benda kerja yang permukaannya datar. Benda kerja pada proses *slab milling*, perputaran pisau milling searah gerak benda kerja hal tersebut dinamakan pemotongan searah. Gaya potong yang dilakukan gigi pisau milling cenderung menarik benda kerja ke dalam pisau milling sesuai dengan *depth of cut* yang telah ditentukan. Proses *slab milling* mempunyai besaran awal gaya potong terbesar pada awal pemotongan dan selanjutnya besaran gaya-gaya potong yang dihasilkan bersifat tetap.

Jika perputaran pisau milling berlawanan dengan gerak benda kerja maka disebut pemotongan berlawanan arah. Pemotongan benda kerja diawali sentuhan halus pada permukaan benda kerja dengan gaya potong bernilai kecil kemudian bertambah besar gaya potong sesuai dengan bram yang dihasilkan. Pada gambar 2.9 menerangkan panjang langkah pemotongan dengan metode *slab milling* :



Gambar 2. 6 Gerakan *slab milling* pada mesin CNC

Dari gambar 2.6 dapat diturunkan rumus sebagai berikut :

***Pre-Cutting Tool Travel Untuk Slab Milling (La)***

$$l_a = \sqrt{d \cdot a_p - a_p^2} \quad (2.1.)$$

Dimana

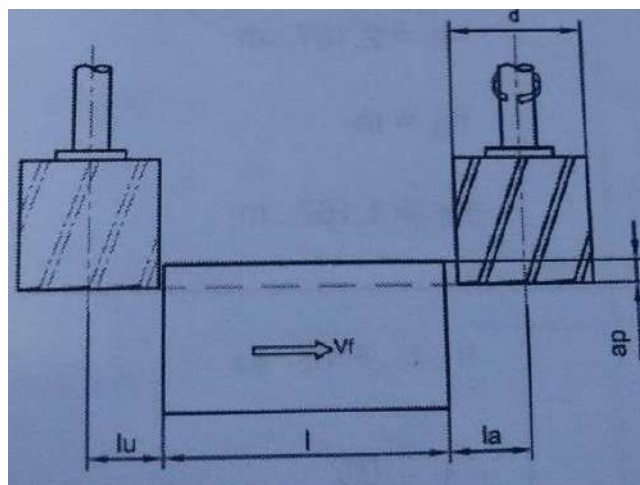
$L_a$  = pre-cutting tool travel ( mm)

$D$  = milling tool diameter ( mm)

$A_p$  = depth of cut ( mm)

### b. Face milling

Sumbu yang terdapat pada pisau milling biasanya tegak lurus dengan permukaan benda kerja yang akan diproses dengan mesin milling. Pisau milling mempunyai 2 gigi yaitu gigi bagian sisi dan gigi bagian muka. Proses *face milling* maka kedua bagian sisi gigi pisau milling bergerak secara bersama melakukan proses pemotongan. Untuk gigi bagian muka berfungsi sebagai menambah kedalaman dari proses pemotongan milling. Proses *face milling* menggunakan penggabungan metode milling searah dan metode milling berlawanan arah. Arah gaya pemotongan yang bergerak tegak lurus terhadap meja mesin maka benda tidak akan terangkat dan mudah memasangnya. Pada gambar 2.7, menerangkan langkah kerja *face milling*,



Gambar 2. 7 Gerakan *face milling* pada Mesin CNC [10]

Dari gambar 2.10, maka dapat diturunkan panjang langkah dan *overrun* pada proses *face milling* :

Pre-Cutting Tool Travel And Overrun For Face Milling

$$3. \quad L_a + L_u = D + 3 \quad (2.2)$$

Dimana :

$L_a$  = pre-cutting tool travel (mm)

$L_u$  = overrun (mm)

$D$  = milling tool diameter ( mm)

Adapun parameter-parameter yang digunakan pada proses milling agar mendapatkan hasil yang optimal maka perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut :

### **Controlled Machine Time ( $T_h$ )**

$$th = \frac{L.i}{V_1} = \frac{L.i}{f.n} \quad (2.3)$$

Dimana :

$T_h$  = controlled machine time (minutes)

$L$  = worktable traverse (mm)

$I$  = number of passes

$V_1$  = feedrate (mm/min)

$f$  = feed per milling tool revolution (mm)

$n$  = rotasional speed ( $min^{-1}$ )

### **Worktable Tranverse (m)**

$$L = L + L_a + L_u \quad (2.4)$$

Dimana :

$L$  = worktable traverse (mm)

$L$  = workpiece length (mm)

$L_a$  = pre-cutting tool travel (mm)

$L_u$  = overrun (mm)

### **Cutting Speed (m/min)**

$$V_C = \frac{\pi.d.n}{60.1000} \quad (2.5)$$

Dimana ;

$V_c = \text{cutting speed (m/min)}$

$D = \text{milling tool diameter (mm)}$

$N = \text{rotasional speed (min}^{-1}\text{)}$

**Feed Per Milling Tool Revolution (mm)**

$$F = F_z \cdot Z \quad (2.6)$$

Dimana ;

$F = \text{feed per milling tool revolution (mm)}$

$F_z = \text{feed per miller cutting edge (mm)}$

$Z = \text{number of milling machine cutting edges feedrate (mm/min)}$

**Cutting Speed (m/min)**

$$V_f = F_z \cdot Z \cdot N \quad (2.7)$$

Dimana ;

$V_f = \text{cutting speed (m/min)}$

$F_z = \text{feed per miller cutting edge (mm)}$

$Z = \text{number of milling machine cutting edges}$

$N = \text{rotational speed (min}^{-1}\text{)}$

## 2.2 Angka Kekasaran

Kekasaran permukaan merupakan batas yang memisahkan antara benda yang dipotong dengan bagian yang disekitarnya agar sesuai dengan design yang diharapkan. Kekasaran/kualitas permukaan harus ditentukan sedemikian rupa sehingga benda kerja dapat memenuhi fungsinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pada kualitas permukaan yaitu sebagai berikut :

1. Sifat material terhadap pengerjaan potong
2. Alat potong dan keausan
3. Radius alat potong dan bentuk geometris alat potong
4. Kecepatan potong, ketebalan potong dan *cutting speed*

5. Pendinginan dan pelumasan
6. Ketegaran mesin dan elastisitas dari *tools*, pencekaman dan benda kerja

Proses pengerjaan dan tingkat kekasaran permukaan dapat dicapai berdasarkan *skill* dan pengalaman operator. Tingkat kekasaran (kelas-N) diberikan sebagai acuan untuk menginterpretasikan hasil proses pengerjaan.

### 2.3 Pump As Turbin

Air yang mengalir pada pipa *pump as turbine* mempunyai energi untuk menggerakkan impeller PAT yaitu perubahan dari energi potensial (tekanan) ke dalam energi kinetis atau kecepatan. Maka persamaan energi pada aliran air yang kontinu, tidak dimampatkan serta tidak memiliki viskositas dengan menggunakan Persamaan Bernoulli [11]

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2\rho g \quad (2.8)$$

Dimana

$P_1, P_2$  = jumlah dari tekanan [Pa]

$\frac{1}{2}\rho v^2$  = energi per satuan volume [kg/ms<sup>2</sup>]

$Pgh$  = energi potensial per satuan volume [N/m<sup>2</sup>]

**Teorema Torricelli** digunakan pada bak yang terisi air dengan terdapat lubang dibawah kemudian air mengalir dari lubang tersebut dan mengalir pada pipa dengan kecepatan [11]

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (2.9)$$

Apabila yang digunakan Persamaan Bernoulli dan permukaan air tidak bergerak.

Dimana

$c_1$  = kecepatan rata-rata aliran [m/s]

$g$  = gaya gravitasi [m/s<sup>2</sup>]

$H$  = selisih tinggi permukaan air atas dan permukaan air bawah [m]

Untuk aliran air pada pengujian dapat menggunakan rumus, **rate of flow (q)**

$$Q = A \cdot c_1 \quad (2.10)$$

Dimana

Q = kecepatan aliran / *rate of flow* [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

A = luas penampang pipa [ $\text{m}^2$ ]

$c_1$  = kecepatan rata-rata aliran [ $\text{m}/\text{s}$ ]

Pada pengujian impeller yang dipasang pada *pump as turbine* maka daya yang dihasilkan pada generator yaitu

$$P = V \cdot I \cdot \cos \Phi \quad (2.10)$$

Dimana

P = daya yang dihasilkan pada generator [kw]

V = tegangan [Volt]

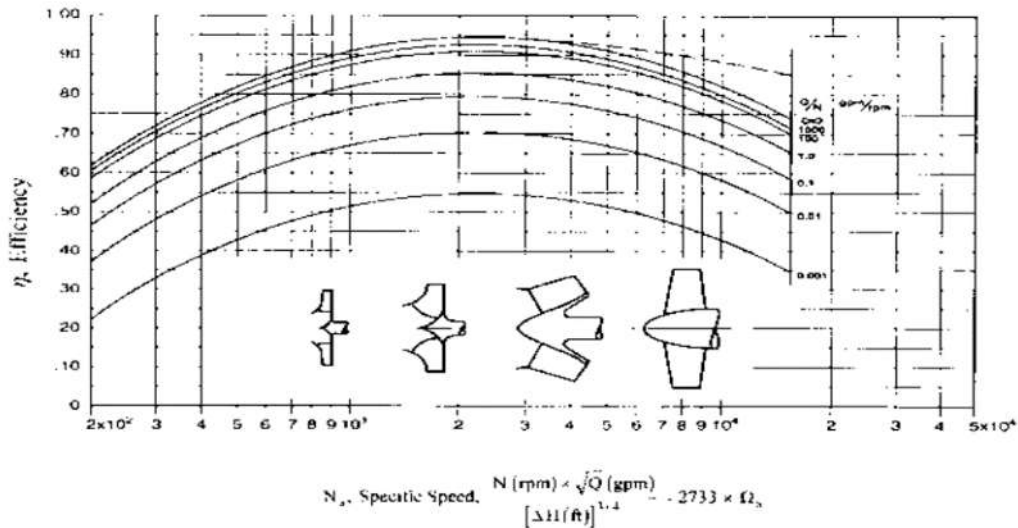
I = Kuat Arus [Ampere]

$\cos \Phi$  = Factor Daya Sebesar 0,8

Pada putaran poros dan torsi yang dihasilkan pada pengujian serta hasil daya yang dihasilkan air maka akan didapatkan efisiensi :

#### Efisiensi *Mekanis Pump As Turbine*

Kerugian pada pompa terdiri dari kerugian hidrolis (karena gesekan aliran di dalam pompa), kerugian kapasitas dikarenakan kebocoran-kebocoran dalam *assembly* dan pemasangan pompa. Gesekan mekanis yang timbul pada *chasing* maka dapat menimbulkan kerugian mekanis.



Gambar 2. 8 Efficiency of Centrifugal Pumps Versus Specific Speed, Size, And Shape- Adapted From Anderson. Note: Actual Experience For  $N_s > 2286$  Shows Higher Efficiency, as Indicated by the Dashed Line [18]

Maka efisiensi mekanis pompa didefinisikan sebagai :

$$\eta = \frac{\text{Power delivered to the shaft}}{\text{Power available in the water}} = \frac{T\omega}{\gamma QH} \quad (2.11)$$

Dimana

$T$  = Torsi pada *shaft* ( N.m/s Atau W)

$\Omega$  = Kecepatan sudut ( rad/s)

$\gamma$  = Berat jenis air = 9765 kN/m<sup>2</sup>

$Q$  = Kepadatan aliran / *Rate of Flow* (m<sup>3</sup>/s)

$H$  = *Head* (m) dimana jarak antara titik batas atas dengan titik batas bawah

Pertimbangan pemilihan dari ketiga indikator tersebut adalah penggunaan waktu permesinan. Waktu permesinan diperoleh dari perhitungan dengan model kinematik sederhana kemudian dibagi dengan lintasan pahat dengan *feedrate* (pemakanan) maksimum. Penentuan nilai *feedrate* dapat mempengaruhi akurasi permukaan benda kerja yang akan dicapai dan *mereduksi defleksi*. Untuk mendapatkan dimensi benda kerja yang optimal maka perlu diperhatikan modulasi *feed rate* sepanjang lintasan pahat. (Geffroy & Jacob, 2011)



Pengontrolan proses permesinan terutama pada pemilihan *cutting tool* pada proses *rough cutting impeller*, pemilihan material impeller tidak mempengaruhi pada proses permesinan serta geometri impeller. Pada proses *blade milling* dapat dibagi menjadi 4 tahap yaitu *blade semi finishing*, *hub semi finishing*, *hub finishing* dan *blade finishing* yang akan mempengaruhi kualitas performance impeller. Untuk kesalahan kinematika pada mesin milling tidak dianggap sebagai indikator proses permesinan dikarenakan hal tersebut termasuk pada area design sehingga penulis menitikberatkan pada aliran, permesinan dan manufaktur yang disintesakan menjadi satu kesatuan sehingga diperoleh indikator kesulitan proses permesinan dalam pembuatan impeller yang dikontrol dengan kesalahan manufaktur dan biaya produksi. (Grigoriev, A.A.Kutin, & V.V.Pirogov, 2012)

## 2.4 Proses Pengecoran

Perkembangan industri peleburan dan pengecoran logam di Indonesia saat ini sangat rendah. Padahal Indonesia berpotensi menjadi salah satu pasar terbesar di dunia. Industri pengecoran logam berskala kecil banyak yang terkendala perkembangannya, ini disebabkan oleh dapur peleburan logam yang tersedia di pasaran sangat mahal harganya dan susah untuk didapatkan karena harus diimpor dari luar negeri. Pemilihan jenis dapur dan proses peleburan yang digunakan harus sesuai dengan jenis logam yang dipilih dan juga sesuai dengan produk yang diinginkan. Jenis dan klasifikasi dapur peleburan yang saat ini berkembang diantaranya adalah dapur *crucible*, dapur kupola, dapur busur listrik, dapur induksi, dapur konverter, dan dapur Thomas dan Bessemer. Bahan bakar yang digunakan juga beragam diantaranya batu bara, bahan bakar minyak, listrik, arang, bahkan bahan bakar berbentuk gas (Mubarak, 2013).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi peleburan logam diantaranya adalah laju perpindahan panas atau banyaknya energi panas yang dibutuhkan pada saat proses peleburan. Perpindahan panas merupakan bentuk kalor yang berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Pada proses peleburan logam perpindahan panas merambat secara konduksi melewati *burner* didalam ruang bakar pada tungku. Selain itu banyaknya panas yang

dibutuhkan berpengaruh juga terhadap bahan bakar yang digunakan, pelapis dinding ruang bakar dan bahan penutup ruang bakar.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Amir Zaki Mubarak (Mubarak, 2013), telah membangun tungku peleburan logam dengan menggunakan bahan bakar gas LPG, bahan *refractory* batu tahan api, letak *burner* di bagian bawah ruang bakar dan jenis *burner* standar kompor gas. Dalam penelitian tersebut dilakukan pengujian lebur aluminium bekas. Hasil yang diperoleh adalah logam aluminium dapat melebur, akan tetapi logam aluminium bekas tersebut saat dileburkan tidak mencair secara sempurna. Masih terdapat fasa pada diantara fasa cair serta untuk mencairkan aluminium dengan *melting point* sekitar  $660^{\circ}\text{C}$  membutuhkan waktu 2 sampai 3 jam. Yuliyanti (Yuliyanti, 2016), merancang dan membuat dapur *crucible* berbahan bakar gas LPG, bahan *refractory* batu tahan api, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner* adalah *horn min burner* 3000 rpm. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan tungku 95 % dengan putaran *burner* 2000 rpm.

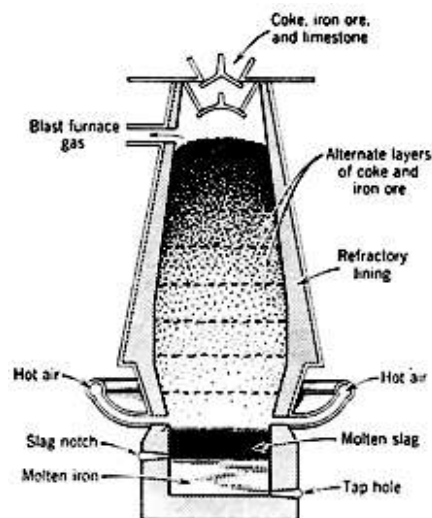
Ella Sundari (Sundari, 2011), merancang dan membuat dapur *crucible* berbahan bakar gas LPG, bahan *refractory* batu tahan api, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner nozzle* las gas asetilin. Dari hasil uji coba yang dilakukan diketahui bahwa untuk melebur *aluminium scrap* seberat 30 kg secara sempurna diperlukan waktu 1 jam 37 menit dan bahan bakar yang digunakan adalah 3,60 kg dan efisiensi peleburan hanya 20 %. Ekpe E. Esor dkk (Esor, Babtunde, Felix, & Mustapha, 2015), merancang dan fabrikasi membangun tungku peleburan logam dengan menggunakan bahan bakar gas butana, bahan *refractory* keramik, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner nozzle* las gas asetilin. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi peleburan hanya 28,24 %. Nukman dkk (Nukman, Maram, & Yani, 2015), menganalisis kesetimbangan energi di dalam ruang bakar dapur *crucible* berbahan bakar batu bara, bahan *refractory* batu tahan api, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner nozzle* las gas asetilin. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi peleburan hanya 23,38%. Konstantinos Salonitis, dkk (dkk, 2016) menganalisis *pre-heating* tungku dan *pre-heating* bahan uji, banyaknya bahan bakar, kebutuhan panas dan waktu lelehan adalah bagian dari faktor-faktor untuk meningkatkan efisiensi energi dalam proses peleburan logam. Xinhua Liu, dkk (Xinhua Liu, 2012), melakukan

eksperimen dan analisis hasil peleburan tembaga melalui pengujian struktur mikro, terlihat terbentuknya pori-pori hasil coran tembaga, besar dan kecil pori-pori bergantung pada tinggi atau rendahnya suhu pengecoran. Ji-ming WANG dkk , melakukan analisis pengaruh letak sudut *burner* pada tungku peleburan logam, dengan melakukan simulasi lalu membandingkan dengan hasil eksperimen yang sudah dilakukan sebelumnya.

#### 2.4.1 Jenis-Jenis Dapur Peleburan

##### a. Tungku Kupola

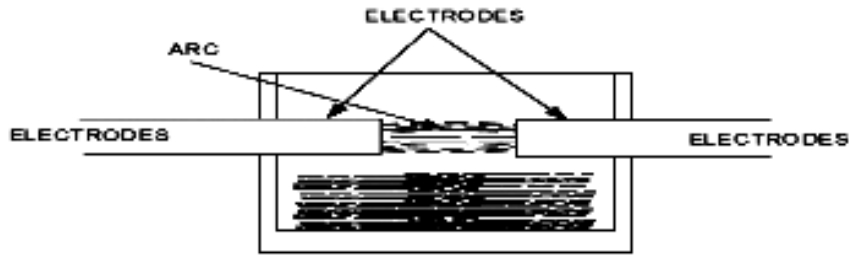
Kupola merupakan tungku yang memiliki bentuk silinder vertikal yang memiliki kapasitas besar. Tungku ini diisi dengan material pengisi antara lain besi, kokas, flux atau batu kapur, dan elemen paduan yang memungkinkan. Tungku ini memiliki sumber energi panas dari kokas dan minyak yang diberikan untuk meningkatkan temperatur pembakaran. Hasil peleburan dari tungku ini akan ditapping secara periodik untuk mengeluarkan besi cor yang telah mencair. (Akuan, 2014)



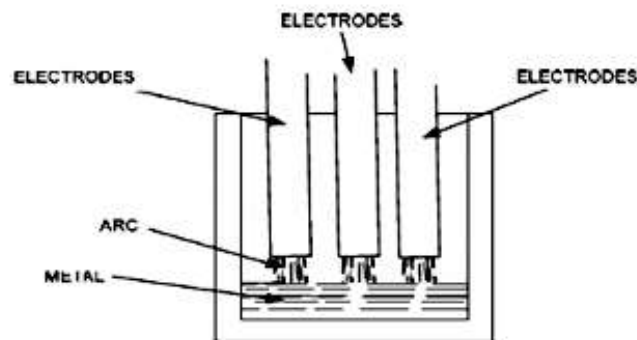
Gambar 2. 9 Tungku Kupola (Akuan, 2014)

##### b. Tungku Busur Listrik

Peleburan logam menggunakan tungku ini dilakukan dengan menggunakan energi yang berasal dari listrik berupa arc atau busur yang dapat mencairkan logam. Tungku jenis busur listrik ini biasanya digunakan untuk proses pengecoran baja. (Akuan, 2014)



Gambar 2. 10 Electric Furnace Indirect System (Akuan, 2014)



Gambar 2. 11 Electric Furnace Direct System (Akuan, 2014)

### c. Tungku Induksi

Tungku induksi adalah tungku yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi panasnya, arus listrik bolak-balik (*alternating current*) yang melewati kumparan akan menghasilkan medan magnetik pada logam pengisi (*charging material*) didalamnya. Medan magnet ini juga akan melakukan mixing pada logam cair akibat adanya gaya magnet antara koil dan logam cair yang akan menimbulkan efek pengadukan (*stiring effect*) untuk menghomogenkan komposisi pada logam cair.

Logam cair didalam tungku harus dihindarkan dari kontak langsung terhadap koil. Oleh karena itu, material tahan temperatur tinggi sebagai lining tungku harus memiliki ketebalan yang cukup untuk menahan beban logam cair di dalamnya. Pada gambar dibawah ini ditunjukkan beberapa komponen utama dari suatu tungku induksi.

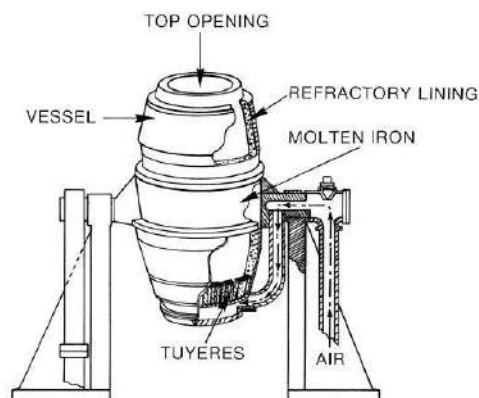


Gambar 2. 12 Tungku Induksi Listrik (Akuan, 2014)

Setelah logam pengisi telah mengalami pencairan maka tungku induksi ini telah dilengkapi dengan suatu pengendali untuk melakukan penuangan (*tit ling*) kedalam suatu ladle yang lebih kecil yang dibawa *hook crane* atau *ladle* yang dibawa oleh dua operator ke cetakan. (Akuan, 2014)

#### d. Tungku Converter

*Converter* ialah sebuah tabung baja dengan dinding berlapis dan tahan terhadap temperatur tinggi serta ditempatkan pada sebuah dudukan yang dibentuk sedemikian rupa agar posisinya dapat diubah secara vertikal maupun secara horizontal dengan posisi mulut berada disamping atau diatas bahkan dibawah. Posisi ini diperlukan untuk pengisian, penghembusan karbon dioksida dan penuangan hasil pemurnian.

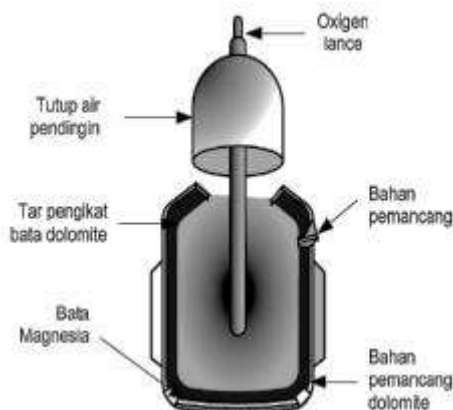


Gambar 2. 13 Tungku *Converter* Bessemer (Akuan, 2014)

Proses pemurnian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mencairkan besi mentah ke dalam *converter* yang berada pada posisi horizontal kemudian *converter* diubah posisinya pada posisi vertikal dan pada posisi ini udara bertekanan 140 KN/m<sup>2</sup> dihembuskan melalui dasar *converter* ke dalam besi mentah cair, dengan demikian maka unsur karbon akan bersenyawa dengan oksigen menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan mengikat unsur-unsur lainnya.

Dengan tekanan udara sedemikian itu unsur-unsur tersebut akan terbawa keluar dari *converter*, proses ini dilakukan dalam waktu 20 menit, dari proses ini besi mentah memiliki unsur-unsur paduan tidak lebih dari 0,05 % dan 0,006 % diantaranya adalah unsur karbon dan dianggap sebagai besi murni atau *Ferrite* (Fe), selanjutnya ditambahkan unsur karbon ke dalam *converter* ini dengan jumlah tertentu, *converter* ini berkapasitas antara 25 ton sampai 60 ton.

Pada dasarnya berbagai metoda dalam proses pembuatan baja ini ialah proses pemurnian unsur besi dari berbagai unsur yang merugikan sebagaimana telah dikemukakan terdahulu, oleh karena itu dalam proses pembuatan baja dengan menggunakan sistem *converter* ini ialah salah satu proses pemurnian atau pemisahan besi dengan menggunakan bejana sebagai alat pemanasan (peleburan) besi kasar tersebut. (Akuan, 2014)

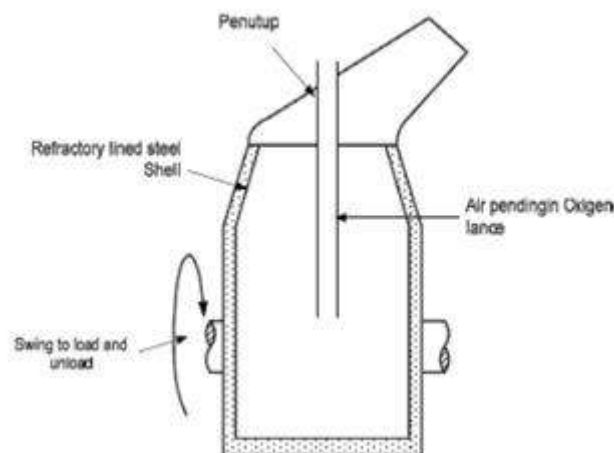


Gambar 2. 14 Proses Oksigen Pada Dapur Basa Untuk Pemurnian Besi Kasar (Akuan, 2014)

#### e. Tungku Thomas dan Bessemer

Thomas dan Bessemer melakukan proses pemurnian besi kasar dalam pembuatan baja ini pada prinsipnya sama yakni menggunakan *converter*, namun Bessemer menggunakan *converter* dengan dinding yang dilapisi dengan Flourite dan Kwarsa sehingga dinding *converter* menjadi sangat keras kuat dan tahan terhadap temperature tinggi, akan tetapi dinding *converter* ini menjadi bersifat asam sehingga tidak dapat mereduksi unsur fosfor, oleh karena itu dapur Bessemer hanya cocok digunakan dalam proses pemurnian besi kasar dari bijih besi yang rendah fosfor (*Low-Phosphorus Iron Ores*). (Akuan, 2014)

Sedangkan Thomas menyempurnakannya dengan memberikan lapisan batu kapur (*limestone*) atau *Dolomite* sehingga dinding *converter* menjadi basa dan mampu mereduksi kelebihan unsur Posphor dengan mengeluarkannya bersama terak (lihat gambar II-7). Linz-Donawitz (*LD-Processes*), salah satu proses pemurnian besi dengan sistem *converter* ini pertama dikembangkan di Austria, proses dengan hembusan udara bertekanan hingga 12 bar di atas *converter* dengan posisi vertikal, setelah besi mentah (*pig iron*) bersama dengan sekrap dimasukkan yang kemudian dibakar, udara yang dihembuskan menghasilkan pembakaran dengan unsur karbon, belerang dan fosfor yang terkandung didalam besi mentah tersebut, hal ini terjadi pada saat *converter* dalam posisi miring. (Akuan, 2014)



Gambar 2. 15 LD Top Blown Converter (Akuan, 2014)

#### f. Dapur Crucible

Proses peleburan dilakukan untuk mendapatkan hasil pengecoran logam cair dengan menggunakan suatu tungku peleburan di mana material

bahan baku dan jenis tungku yang digunakan harus disesuaikan dengan material yang akan dilebur. (Akuan, 2014)

Dalam suatu peleburan, pemilihan tungku yang akan digunakan untuk mencairkan logam harus sesuai dengan bahan baku yang akan di lebur. Paduan tembaga (Cu) dan paduan seng (Zn) biasanya dilebur menggunakan tungku *crucible* dan untuk besi cor biasanya menggunakan tungku industri frekuensi rendah atau kupola. Industri frekuensi tinggi biasanya menggunakan tungku untuk melebur baja dan material tahan temperaur tinggi. (Akuan, 2014)

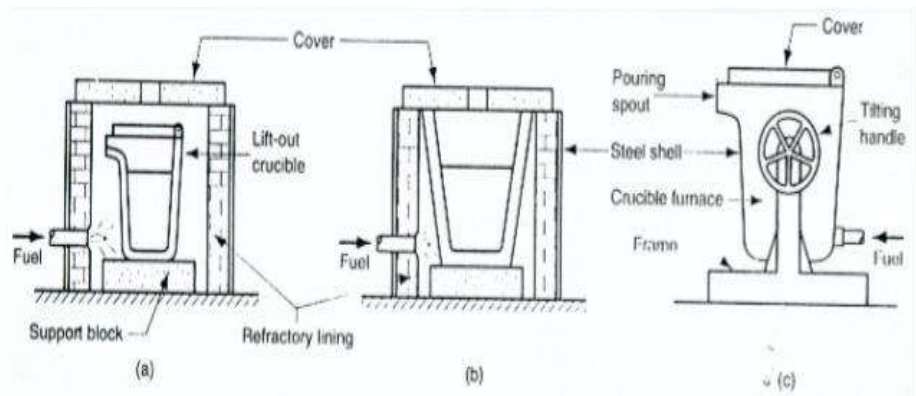
Tungku yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam antara lain ada lima jenis yaitu; Tungku jenis kupola, tungku pengapian langsung, tungku krusibel, tungku busur listrik, dan tungku induksi. Dalam memproduksi besi cor tungku yang paling banyak digunakan industri pengecoran adalah krusibel dan tungku induksi, jenis kupola sudah mulai jarang digunakan karena pertimbangan tertentu. Berikut ini uraian tentang tungku peleburan. Pada unit ini memperkenalkan tungku dan refraktori dan menjelaskan berbagai aspek perancangan dan operasinya. (Akuan, 2014)

Pemilihan dapur tergantung pada beberapa faktor seperti :

1. Paduan logam yang akan dicor
2. Temperatur lebur dan temperatur penuangan
3. Kapasitas dapur yang dibutuhkan
4. Biaya operasi
5. Pengoperasian
6. Pemeliharaan
7. Polusi terhadap lingkungan

## **g. Tungku Crucible**





Gambar 2. 16 Tiga Jenis Contoh Dapur *Crucible* (P.Groover, 2000)

Tungku *crucible* adalah dapur yang paling tua digunakan. Dalam pembuatan tungku ini menggunakan konstruksinya paling sederhana menggunakan cawan lebur berbentuk silinder dan tidak menggunakan dudukan. Dalam penuangan logam cair, logam cair akan di tungkik maka tidak menggunakan *ladle* atau gayung. Dapur ini sangat fleksibel dan serba guna untuk peleburan dengan skala kecil dan sedang. Bahan bakar dapur yang digunakan adalah bahan bakar gas, karena mudah mengawasi operasinya. (Akuan, 2014)

## 2.5 Logam Kuningan

Paduan antara tembaga dan seng atau biasa disebut kuningan, Biasanya kandungan seng sampai kira-kira 40%. Paduan yang merah kekuning-kuningan adalah paduan dengan seng 40% sedangkan yang kuning kemerah-merahan adalah paduan dengan seng 30%. Dalam ketahanan terhadap korosi dan aus, kurang baik dibanding dengan perunggu. Tetapi kuningan lebih murah dari pada perunggu dan mampu cornya lebih baik dari perunggu. Coran kuningan dipakai untuk bagian-bagian pompa, bantalan, bambung, roda gigi dan sebagainya, dimana tidak dibutuhkan sifat-sifat yang begitu baik. Kuningan dengan kadar tin 1,0-1,5% disebut kuningan kapal mempunyai ketahanan tinggi terhadap korosi air garam. (Nugroho, 2010)

Tabel 2. 1 Massa Jenis dari Kuningan (Nugroho, 2010)

Bahan	Titik Cair
85% Cu – 15% Zn	1.150 – 1.200°C
70% Cu – 30% Zn	1.080 – 1.130°C
60% Cu – 40% Zn	1.030 – 1.080°C

## BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### 3.1. Tujuan Khusus

Selain untuk meningkatkan kualitas penelitian tesis mahasiswa program pascasarjana Teknik Mesin Universitas Pancasila, agar layak untuk disampaikan pada seminar internasional dan dipublikasikan pada jurnal internasional, penelitian ini memiliki tujuan khusus yaitu :

1. Meningkatkan efisiensi turbin PAT melalui modifikasi bentuk dan arah impeller. Hal ini merupakan keberlanjutan dari hasil penelitian di tahun ke-1, dimana berdasarkan analisis CFD menunjukkan peningkatan kecepatan putar impeller dengan tekanan yang lebih rendah, bila menggunakan model impeller blade arah *backward* dengan sudut  $\beta_2$  56,6°. Hasil analisis dengan CFD harus diverifikasi melalui pengujian eksperimental di tahun ke-2 ini. Proses pemesinan dipilih dalam pembuatan model impeller ini, karena dapat memiliki keakurasian yang lebih baik dan kualitas kekasaran permukaan dari impeller yang dapat dijaga secara merata..
2. Meningkatkan kualitas impeller yang dihasilkan melalui proses pengecoran agar impeller dengan modifikasi bentuk dapat diproduksi dalam jumlah besar, sehingga dapat digunakan secara mudah oleh masyarakat di daerah pegunungan. Salah satu parameter pengecoran yang divariasikan adalah letak posisi dari burner pada tungku pengecoran. Terdapat dua alternatif posisi tungku pengecoran, yaitu di atas dan di samping.
3. Implementasi turbin PAT pada pembangkit listrik mikro hidro pada daerah pedesaan dengan kontur pegunungan, sehingga manfaatnya dapat dirasakan langsung oleh masyarakat. Kegiatan ini direncanakan dilaksanakan pada tahun ke-3 dari pelaksanaan penelitian.

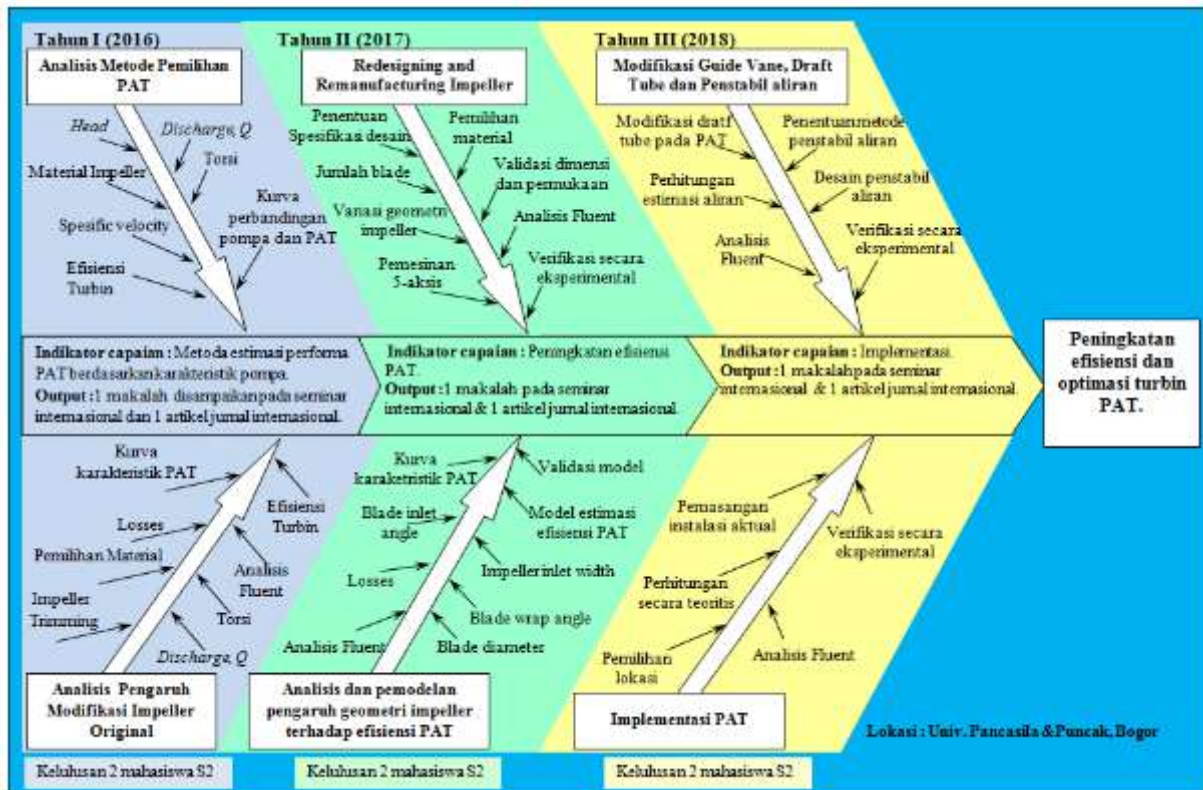
### 3.2. Keutamaan Penelitian

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat, sehingga diperlukan pengembangan dari energi terbarukan agar dapat dimanfaatkan dengan optimal. Turbin PAT merupakan salah satu pilihan turbin mikro hidro yang memiliki nilai ekonomis sangat baik dan ketersediaannya yang mudah. Namun memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah efisiensi yang rendah bila dibandingkan jenis turbin lainnya. Sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi turbin PAT melalui desain dan manufaktur kembali impeller pada turbin PAT.

Penelitian ini juga diharapkan mampu menghasilkan prototipe impeller dan instalasi pembangkit listrik tenaga air PAT, sehingga dapat diaplikasikan di Indonesia. Keterbuatan impeller dan instalasi pembangkit listrik tenaga air PAT disesuaikan dan dioptimalkan berdasarkan kondisi material bahan baku impeller yang ada di pasaran dan kemampuan proses manufaktur untuk produk dengan jumlah yang banyak.

## BAB 4. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi metode perhitungan teoritis berbantuan perangkat MATLAB, metode numerik dengan menggunakan perangkat lunak Fluent dan Computational Fluid Dynamic (CFD), dan pengujian eksperimen sebagai verifikasi dan validasi. Adapun metode dan tahapan penelitian adalah seperti diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Bagan Penelitian

Untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan efisiensi yang lebih baik dan dapat diimplementasikan secara nyata di Indonesia, maka penelitian ini akan dilakukan dalam enam tahapan pada tiga tahun, yaitu :

### Tahun I

#### Tahap I. Analisis metode pemilihan PAT

Pada tahap ini akan dilakukan inventarisasi metode pemilihan PAT yang telah dipublikasikan oleh peneliti lainnya. Metode tersebut akan diklasifikasikan berdasarkan metode estimasi yang digunakan, yaitu metode teoritis, metode numerik,

metode eksperimental atau kombinasi dari metode-metode tersebut. Masing-masing metode akan dimodelkan menggunakan software, sehingga akan mempermudah proses perhitungan dan estimasi hasil yang diperoleh.

Selanjutnya, masing-masing metode akan digunakan untuk menentukan dan memprediksi kinerja turbin PAT sesuai dengan kriteria desain yang akan ditetapkan pada riset ini. Kriteria desain akan disesuaikan dengan kondisi dan karakteristik dari lokasi yang akan dipasang pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Parameter seperti Head, discharge, kecepatan spesifik, efisiensi turbin PAT akan diperhitungkan, sehingga didapatkan pilihan pompa yang tepat untuk dijadikan turbin.

### Tahap II Analisis Pengaruh Modifikasi Impeler Original

Pada tahap ini dilakukan beberapa modifikasi pada impeler untuk meningkatkan efisiensi dari PAT yang telah dipilih pada tahap I. Modifikasi terdiri dari pembulatan impeler pada ujung inlet, pemotongan bagian impeler, penggantian material impeler dan pelapisnya, dan modifikasi inklinasi dari impeller.

Efek modifikasi akan dianalisis menggunakan metode numerik berbantuan software Fluent dan diujikan secara ekperimental. Sehingga akan diketahui modifikasi yang dapat meningkatkan efisiensi PAT.

## **Tahun II**

### Tahap III *Redesigning and Remanufacturing Impeller*

Dimensi, bentuk geometri, material dan proses manufaktur dari impeler akan sangat mempengaruhi efisiensi dari impeler untuk menyalurkan energi fluida menjadi putaran. Untuk itu, pada tahap ini akan dilakukan *redesain* dan *remanufacturing*, dari desain impeler yang telah ada, sesuai dengan pompa yang telah dipilih pada tahap I. Redesigning meliputi variasi geometri, material impeller, dan arah sudu. Desain dari impeler akan dianalisis menggunakan ANSYS Fluent, untuk menentukan bentuk optimum yang dapat meningkatkan kinerja PAT. Pilihan desain optimum akan dimanufaktur menggunakan mesin milling 5-aksis, untuk mendapatkan keakurasian dimensi dan bentuk yang lebih baik. Impeler yang dihasilkan akan divalidasi melalui pengujian eksperimental.

#### Tahap IV Analisis dan Pemodelan Pengaruh Geometri Impeller terhadap Efisiensi PAT

Desain impeler, hasil simulasi ANSYS Fluent dan hasil pengujian eksperimental terkait geometri impeler akan dianalisis dan dimodelkan terhadap efisiensi yang dicapai oleh impeler.

Dimensi, bentuk geometri yang terkait dengan diameter impeler, bentuk blade (flat, inclined atau twisted), kemiringan blade, lebar dan sudut saluran masuk impeler akan dianalisis terhadap kerugian (losses) yang terjadi, putaran impeler dan efisiensi dari PAT.

#### **Tahun III**

#### Tahap V Modifikasi Draft Tube dan Penstabil Aliran

Pada tahap ini akan dilakukan modifikasi draft tube agar dapat meningkatkan tekanan aliran yang masuk dan melalui impeller. Selain itu, dilakukan pula penstabilan aliran agar impeller dilalui aliran fluida yang lebih stabil, yang akan berpengaruh pada efisiensi mikro hidro secara umum.

Modifikasi ini meliputi modifikasi bentuk, penambahan komponen pada draft tube, dan perancangan guide vane. Hasil modifikasi akan dianalisis secara numerik menggunakan ANSYS Fluent untuk mendapatkan modifikasi terbaik untuk menstabilkan aliran.

Modifikasi yang telah dianalisis selanjutnya akan diimplementasikan dan divalidasi secara eksperimental. Hasil ini diharapkan akan lebih meningkatkan PAT.

#### Tahap VI Implementasi PAT

Pada tahap ini dilakukan implementasi PAT sehingga dapat menghasilkan listrik pada lokasi yang terpilih. Hasil kajian dan analisis pada tahapan penelitian sebelumnya diaplikasikan untuk meningkatkan efisiensi dari pembangkit listrik mikro hidro.

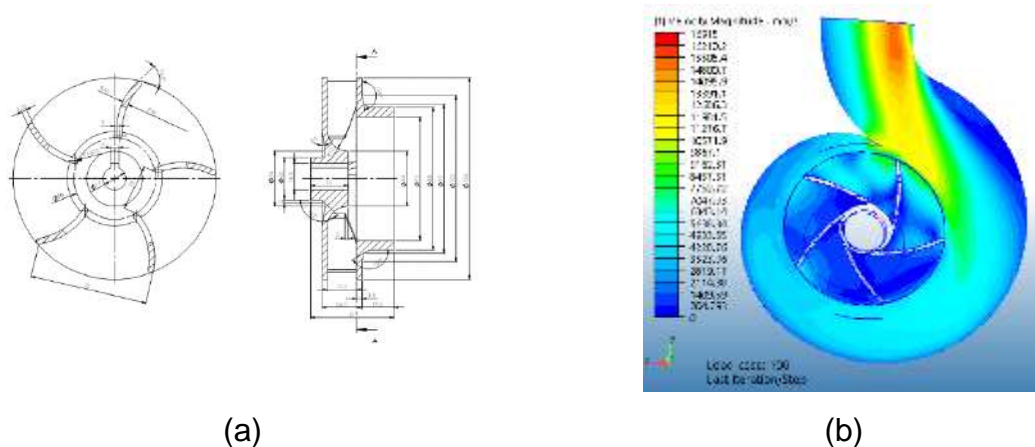
## BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

### 5. 1.Hasil yang dicapai

Secara umum, terdapat dua hasil yang dicapai pada penelitian ini, yaitu modifikasi produk impeller yang dibuat dengan menggunakan proses pemesinan dan proses pengecoran. Produk impeller yang berkualitas ditentukan oleh kesesuaian bentuk terhadap desain dan permukaan impeller yang halus. Namun di sisi lain, efisiensi dan produktivitas proses harus turut diperhatikan. Sehingga pada penelitian ini, kesemua faktor tersebut menjadi hal dipertimbangkan.

#### 5.1.1. Impeller Hasil Pemesinan

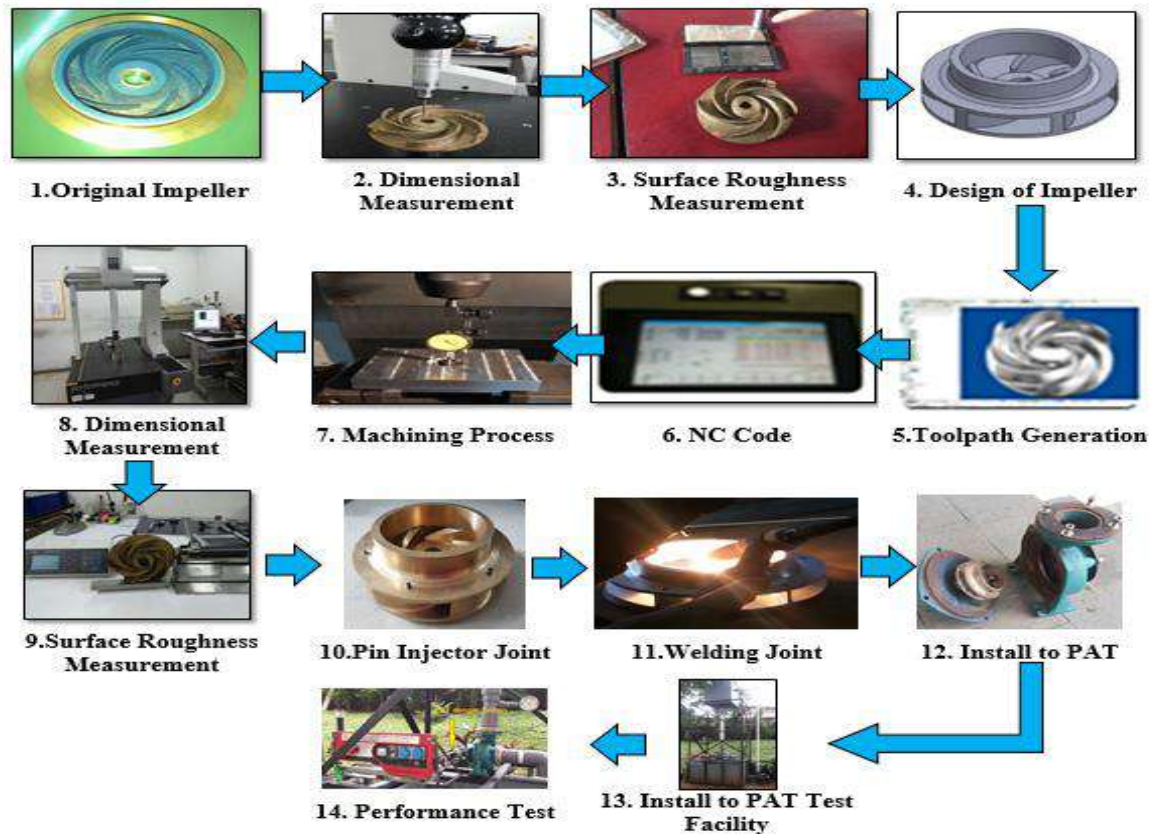
Berdasarkan hasil analisis desain yang dilakukan di tahun I, diketahui bahwa impeller 5 sudu arah *backward* dengan sudut  $\beta_2$   $56,6^\circ$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1, memiliki kecepatan aliran yang lebih baik dibandingkan varian lainnya. Untuk itu, pada penelitian ini dihasilkan dua variasi jumlah sudu yaitu 5 dan 6 sudu. Varian 6 sudu dipilih karena sesuai dengan jumlah sudu dan dimensi impeller original dari pompa.



Gambar 5. 1 Modifikasi Impeller dengan 5 sudu

Data geometri dari impeller original dilakukan melalui pengukuran menggunakan *Coordinate Measuring Machine* (CMM). Sedangkan kualitas permukaan dari impeller original diukur dengan menggunakan *Roughness*, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.2 – 2 dan 3. Data geometri dari impeller original 6 sudu dan geometri hasil modifikasi impeller 5 sudu, selanjutnya dimodelkan pada perangkat lunak CAD/CAM.

Oleh karena proses pemesinan dilakukan menggunakan mesin *milling* 3 aksis, maka konstruksi impeller dibagi menjadi 2 (dua) bagian. Bagian pertama adalah bagian *cup* (penutup) impeller, dan yang kedua adalah bagian bersudu. Adapun alur proses yang dilakukan mulai dari proses desain, proses pemesinan, hingga proses assembly dari impeller ditunjukkan pada Gambar 5.2.


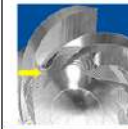
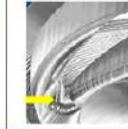
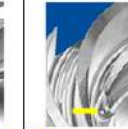
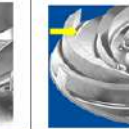
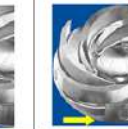


Gambar 5. 2 Alur Proses Pemesinan



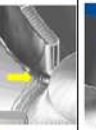
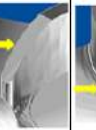
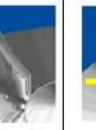
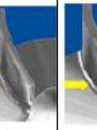



Perencanaan tahapan proses pemesinan yang baik akan menghasilkan produk berkualitas dengan efisiensi dan produktivitas yang baik. Saat ini telah tersedia teknologi perangkat lunak CAD/CAM, yang dapat membantu perencanaan proses pemesinan. Sehingga, perencanaan akan dapat dilakukan dengan lebih baik. Tabel 5.1 dan 5.2 memperlihatkan urutan proses pemesinan dan parameternya, untuk memproduksi impeller dengan 5 dan 6 sudu.



Tabel 5. 1 Urutaan proses pemesinan dan parameternya untuk impeller 5 sudu

Operation	Roughing			Finishing			
							
	Rough 1	Rest 1	Rest 2	1	2	3	
Allowance (mm)	0.3	0.3	0.35	0	0	0	
Tolerance (mm)	0.05	0.05	0.05	0.005	0.005	0.005	
Depth of Cut (mm)	0.5	0.5	0.3	0.1	0	1	
Spindle Speed (Rpm)	2500	4500	4500	4500	4500	4500	
Cutting Feed Rate (Rpm)	2000	1500	1500	1500	1500	1500	
Step Over	16	6	2	0	0	0	
Cutting Tool	ZCC 20	End-mill 10	Ball nose 6	Ball nose 6	Ball nose 6	End-mill 10	
Machining time (min)	Dural	23	43	179	77	7	34
	Brass	92	24	31	179	78	7

Tabel 5. 2 Urutaan proses pemesinan dan parameternya untuk impeller 6 sudu

Operation	Roughing					Finishing				
										
	Rest	1	2	1	2	3	4	5	6	
Allowance (mm)	0.35	0.4	0.4	0	0	0	0.02	0.02	0	
Tolerance (mm)	0.05	0.05	0.03	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
Depth of Cut (mm)	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0	0	0	0	
Spindle Speed (Rpm)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	
Cutting Feed Rate (Rpm)	1000	1000	1000	1000	1500	1000	1000	1000	1000	
Step Over	16	2	13	0.08	0.1	0.1	0	0	0	
Cutting Tool	ZCC 20	Ball 6	Ball 4	Ball 4	Ball 6	Ball 6	Ball 4	Ball 2	Flat 10	
Machining time (min)	Dural	98	14	7	21	66	67	10	20	6
	Brass	79	14	6	21	74	128	11	28	6

Perangkat lunak CAD/CAM juga digunakan untuk men-*generate* kode gerak mata pahat (*tool-path*) menjadi sebuah *file* yang akan di-run oleh mesin CNC. File tersebut dikenal dengan NC-code atau NC-File. Selanjutnya, mesin Power Mill 3-axis melakukan proses pemesinan sesuai dengan NC-code yang telah dibuat. Adapun jenis pahat yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5. 3 Variasi Cutting Tool Yang Digunakan

Setelah rangkaian proses permesinan dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengukuran hasil permesinan dengan menggunakan CMM. Spesifikasi produk impeller yang dihasilkan seperti terdapat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa deviasi terbesar dari ukuran yang diharapkan adalah sebesar 0,9 mm. Hal ini disebabkan saat proses pemrograman bagian blok diberikan *allowance* 1 mm dengan tujuan untuk menghindari *burr chips* / *radius* pada saat proses finishing. Sehingga saat proses permesinan diberikan *allowance radius / chamfer*  $\pm 0.3$  agar ujung mata potongnya tidak cepat aus. Berdasarkan standar toleransi umum VSM 1991, ukuran impeler yang dihasilkan

memiliki tingkat ketelitian menengah dan telah dapat memenuhi spesifikasi fungsi dari produk.

Tabel 5. 3 Hasil Pengukuran Impeller 6 sudu

Hasil Pengukuran Impeller 6 Sudu (mm)						
No	Desain	Toleransi	Dural	Deviasi	Brass	Deviasi
1	∅ 124	± 4	∅124	0	∅123.7	-0.3
2	∅ 72	± 2	∅71.9	-0.1	∅71.5	-0.5
3	∅ 14	± 1	∅14	0	∅14	0
4	16.5	± 0.2	16.7	0.2	16.7	0.2
5	3.5	± 0.1	3.4	-0.1	3.6	0.1
6	21.5	± 0.2	21.4	-0.1	21.57	0.07
7	8	± 0.2	7.8	-0.2	8	0
8	23	± 0.2	24.3	1.3	23.01	0.01
9	∅ 88	± 2	∅88.04	0.04	∅87.9	-0.1
10	∅ 102	± 2	∅102	0	∅102	0
11	76	± 0.3	75.7	-0.3	75.8	-0.2
12	15	± 0.2	14.7	-0.3	14.8	-0.2
13	∅ 34	± 2	∅33.9	-0.1	∅34.2	0.2
14	23	± 1	23	0	23.25	0.25
15	R 45	± 2	44.43	-0.54	44.1	-0.87

Tabel 5. 4 Hasil Pengukuran Impeller 5 sudu

Hasil Pengukuran Impeller 5 Sudu (mm)						
No	Desain	Toleransi	Dural	Deviasi	Brass	Deviasi
1	∅ 26	± 1	∅26	0	∅26	0
2	16.5	± 0.2	16.44	-0.06	16.26	-0.24
3	∅ 14	± 1	∅14	0	∅14	0
4	5	± 0.5	5.2	0.2	5	0
5	∅ 124	± 4	∅123.94	-0.06	∅124	0
6	∅ 102	± 2	∅102	0	∅102	0
7	∅ 88	± 2	∅87.98	-0.02	∅88	0
8	∅ 76	± 2	∅75.7	-0.3	∅75.7	-0.3
9	51	± 0.3	51.9	0.9	52	1
10	19.5	± 0.2	19.54	0.04	19.45	-0.05
11	24.5	± 0.2	25.49	0.99	25.24	0.74
12	3.5	± 0.1	4.5	1	4.07	0.57
13	17.5	± 0.2	17.42	-0.08	17.5	0
14	23	± 0.2	23	0	23	0
15	34	± 0.3	34.1	0.1	34.3	0.3

Hasil Pengukuran Impeller 5 Sudu (mm)						
No	Desain	Toleransi	Dural	Deviasi	Brass	Deviasi
16	23	$\pm 0.2$	24	1	23.9	0.9
17	15	$\pm 0.2$	14.9	-0.1	14.8	-0.2
Hasil Pengukuran Impeller 5 Sudu (mm)						
No	Desain	Toleransi	Dural	Deviasi	Brass	Deviasi
18	R 40	$\pm 2$	39.21	-0.79	39.1	-0.9
19	R 40	$\pm 2$	39.87	-0.13	39.52	-0.48

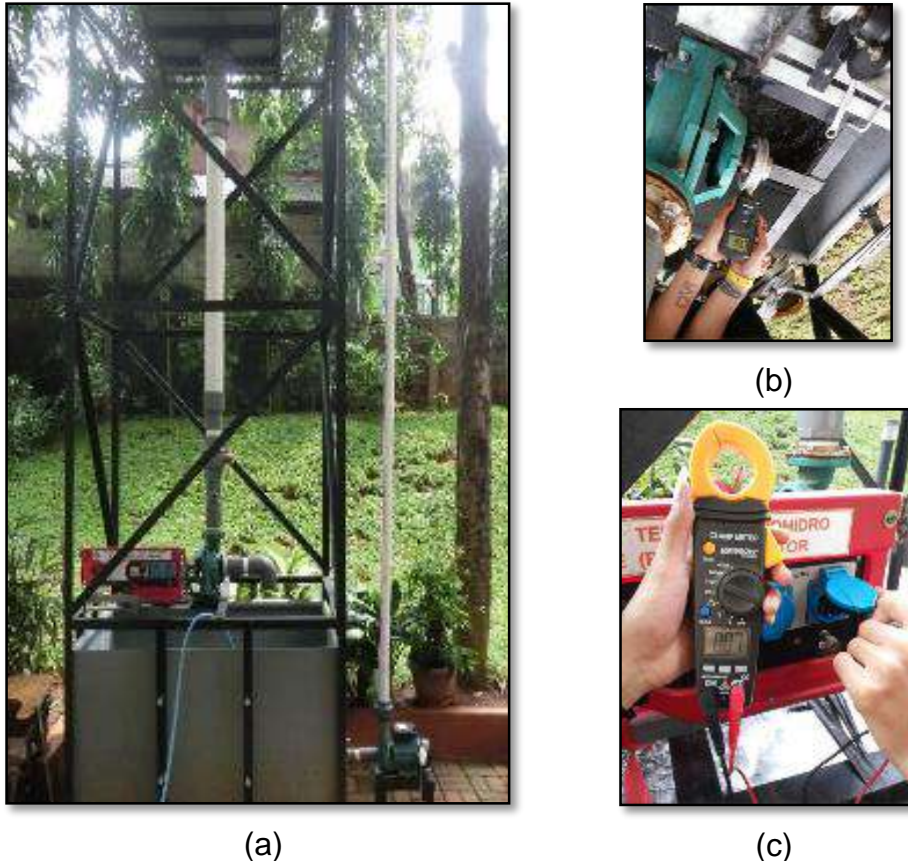
Dari hasil pemesinan dihasilkan 4 impeller dengan jumlah sudu 5 dan 6, dari material kuningan dan duralumin. Tabel 5.5 memperlihatkan impeller hasil pemrosesan beserta kualitas kekasaran permukaannya. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa perbaikan kualitas permukaan impeller hasil pemesinan naik sebesar 97, 76%.

Tabel 5. 5 Kekasaran Permukaan Impeller hasil proses pemesinan

Picture	Impeller	Outer Ra ( $\mu\text{m}$ )	Inner Ra ( $\mu\text{m}$ )	Average Ra ( $\mu\text{m}$ )
	Original Brass, 6-blades	12.5	12.5	12.5
	Brass, 6-blades	0.24	0.33	0.28
	Brass, 5-blades	0.38	0.34	0.36
	AA-7075, 6-blades	0.46	0.38	0.42
	AA-7075, 5-blades	0.31	0.46	0.31

### 5.1.2. Pengujian Eksperimental Impeller

Tahapan selanjutnya adalah menguji impeller hasil pemesian pada instalasi *Pump as Turbine* (PAT) yang dibangun di tahun I dari penelitian ini. Gambar 5.4 (a) adalah gambar dari instalasi pengujian, sedangkan Gambar 5.4 (b) dan (c) memperlihatkan proses pengujian yang dilaksanakan.

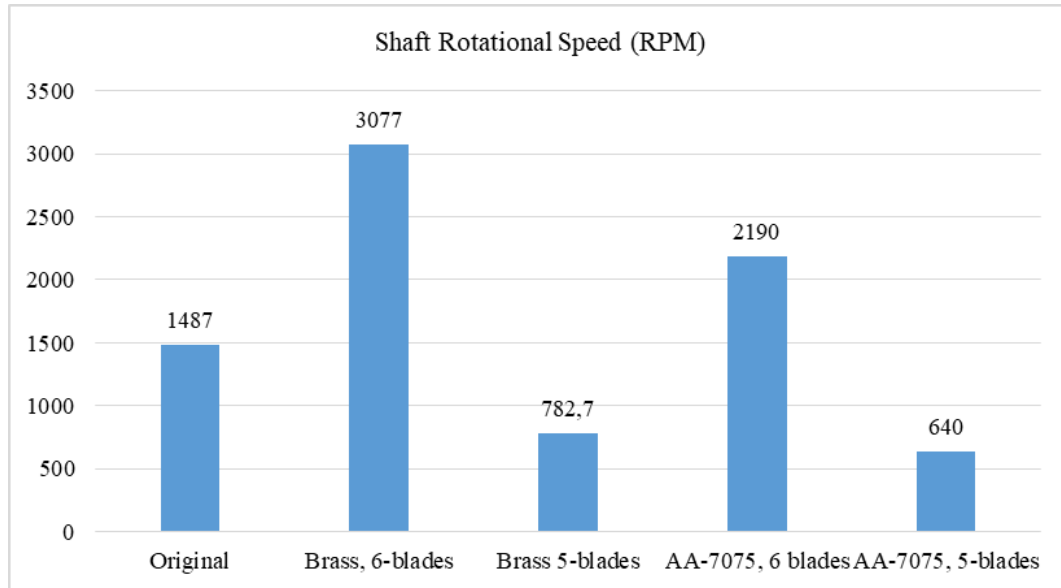


Gambar 5. 4 (a) Instalasi Pengujian (b) dan (c) Pengujian yang dilakukan

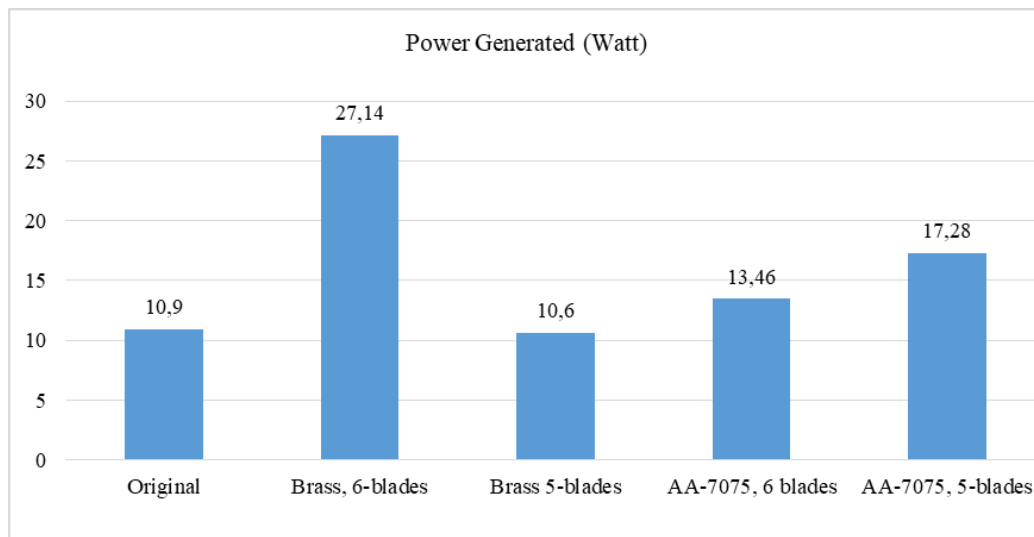
Pada Tabel 5.5 dicantumkan hasil pengukuran eksperimental dari putaran poros, daya listrik yang dihasilkan dan peningkatan energi untuk masing-masing impeller. Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 adalah grafik dari kecepatan poros pompa yang dihasilkan dan energi listrik yang dihasilkan. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa semakin halus permukaan impeller, maka putaran poros pompa dan daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Peningkatan 97,76% kualitas permukaan akan meningkatkan hamper 150% dari daya yang dihasilkan.

Tabel 5. 6 Hasil Eksperimen

No	Type of Impeller	Rerata Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )	Putaran Poros Pompa (RPM)	Peningkatan Putaran Pompa (%)	Daya listrik (Watt)	Peningkatan Daya listrik (%)
1	Original	12.5	1487	-	10.9	-
2	Brass, 6-blades	0.28	3077	106.9	27.14	148.99
3	Brass, 5-blades	0.36	782.7	-47.36	10.6	-2.75
4	AA-7075, 6- blades	0.42	2190	47.27	13.46	23.48
5	AA-7075, 5 -blades	0.31	640	-56.96	17.28	58.53



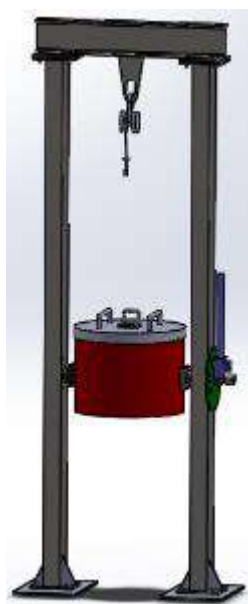
Gambar 5. 5 Kecepatan Putar Poros Pompa yang dihasilkan



Gambar 5. 6 Energi listrik yang dihasilkan

### 5.1.3. Impeller Hasil Proses Pengecoran

Dari hasil penelitian di tahun I, diketahui bahwa hasil pengecoran yang dilakukan oleh pengecoran tradisional di kabupaten Tegal, masih sangat rendah dilihat dari segi kualitas. Hal ini dapat dilihat dari adanya lubang di dalam hasil pengecoran. Oleh karena itu, di tahun ke-2 dilakukan pengembangan proses pengecoran untuk menghasilkan impeller. Usaha yang dilakukan diawali dengan pembuatan tungku proses pengecoran, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.7. Detail desain dari tungku pengecoran yang dibuat seperti terdapat pada Lampiran 5.



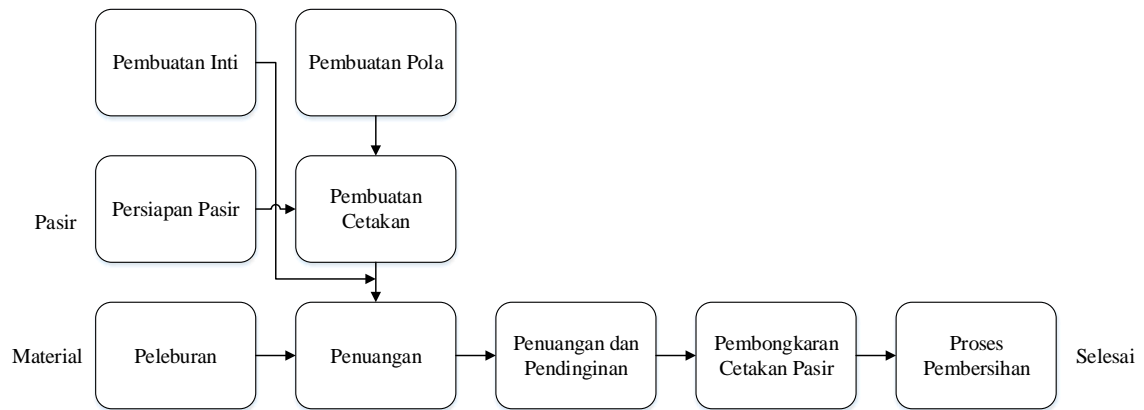
(a)



(b)

Gambar 5. 7 Desain dan Konstruksi Tungku yang Dikembangkan

Gambar 5.8 memperlihatkan alur proses pengecoran yang dilakukan.



Gambar 5. 8 Alur Proses Pengecoran

Dari proses pengecoran dihasilkan 4 buah impeller dengan rentang kekasaran permukaan antara  $9\ \mu\text{m}$  hingga  $10\ \mu\text{m}$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 (a). Proses pemesinan sebagai proses *finishing* tetap harus diperlukan untuk meningkatkan kualitas dari impeller, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 (b) dan (c).



(a)



(b)



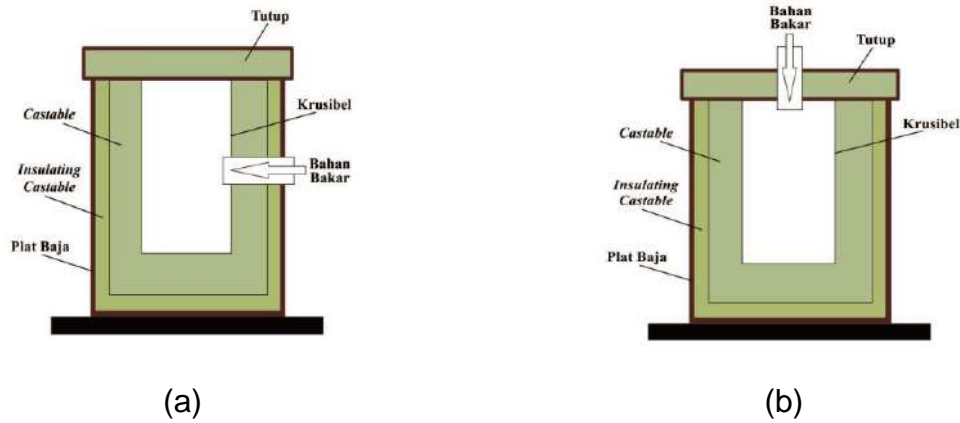
(c)

Gambar 5. 9 (a) Impeller Hasil Pengecoran, (b) Pemotongan Riser dengan Proses Grinding dan (c) Proses Finishing Milling

#### 5.1.4. Analisis Tungku Pengecoran

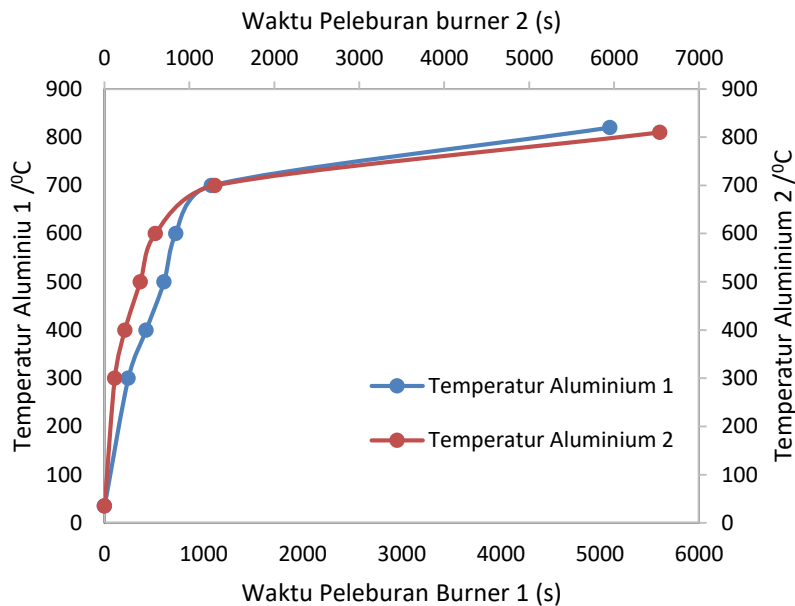
Untuk mengetahui performa dari tungku pengecoran yang dihasilkan, maka dilakukan pengujian terhadap tungku pengecoran dengan 2 (dua) variasi posisi burner dan 2 (dua) variasi jenis burner. Gambar 5.10 memperlihatkan dua variasi posisi dari *burner*.





Gambar 5. 10 Variasi Posisi Burner (a) di samping, (b) di atas

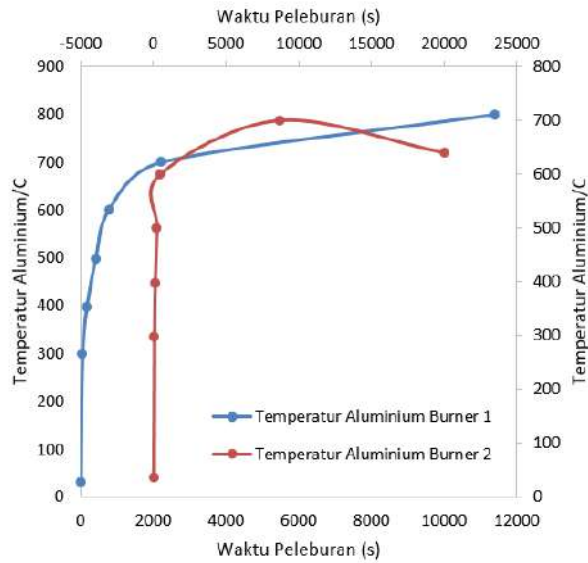
Dari hasil pengujian eksperimental didapatkan grafik seperti terdapat pada Gambar 5.11 dan 5.12. Gambar 5.11 adalah grafik distribusi temperatur terhadap waktu peleburan aluminium dengan posisi letak *burner* di samping untuk kedua jenis *burner* yaitu standar kompor gas TENNO (1) dan jenis *burner heating torch nozzle* (2). Grafik pada Gambar 5.11 memperlihatkan bahwa perubahan temperatur sebanding dengan bertambahnya waktu peleburan. Dengan posisi *burner* yang sama (di samping), *burner* jenis standar kompor gas TENNO (1) memiliki waktu peleburan yang relatif lebih singkat sebesar yaitu selama 5100 detik atau setara dengan 1,4 jam. Sedangkan jenis *burner heating torch nozzle* (2) memiliki waktu peleburan selama 1,8 jam. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan posisi *burner* yang sama yaitu posisi di samping, *burner* jenis standar kompor gas TENNO lebih optimal daripada jenis *burner heating torch nozzle*.



Gambar 5. 11 Grafik Distribusi Temperatur Dan Waktu Peleburan Aluminium Dengan Dengan Letak *Burner* Di Samping Dan Jenis *Burner* 1 & 2

Gambar 5.12 memperlihatkan grafik distribusi temperatur dan waktu peleburan aluminium dengan dengan letak *burner* di atas untuk kedua jenis *burner* standar kompor gas TENNO (1) dan jenis *burner heating torch nozzle* (2). Hasil pengujian menunjukkan untuk posisi *burner* di atas tungku, *burner* jenis standar kompor gas TENNO (1) memiliki waktu peleburan yang relatif lebih singkat yaitu 11.400 detik atau 3,2 jam. Sedangkan jenis *burner heating torch nozzle* (2) yang mencapai waktu peleburan hingga 5,6 jam.

Dengan membandingkan kedua grafik tersebut, maka dapat dilihat bahwa posisi *burner* di samping dari tungku akan mencapai temperatur lebur yang lebih cepat yaitu 1,4 jam dibandingkan dengan posisi di atas tungku yaitu 3,2 jam, untuk *burner* standar kompor gas TENNO (1). Demikian pula, untuk *burner heating torch nozzle* (2) dengan posisi di samping memiliki waktu yang lebih cepat yaitu 1,8 jam dibandingkan posisi di atas tungku yaitu 5,6 jam.



Gambar 5. 12 Grafik Distribusi Temperatur dan Waktu Peleburan Aluminium dengan Letak *Burner* di atas untuk Jenis *Burner* 1 & 2

Dengan mengukur volume gas LPG yang terpakai selama proses peleburan, maka dapat dihitung beberapa parameter, diantaranya adalah kebutuhan energi, kerugian panas dan efisiensi tungku. Tabel 5.6 memperlihatkan hasil perhitungan berdasarkan data yang di dapat. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan burner standar kompor gas TENNO dengan posisi di samping tungku merupakan variasi yang optimum karena memiliki efisiensi terbesar yaitu 39,4%.

Tabel 5. 7 Hasil perhitungan kebutuhan energi, kerugian panas dan efisiensi tungku

No.	Posisi & Jenis <i>Burner</i>	Kebutuhan Energi (kJ)	Kerugian Panas Total (kJ/h)	Efisiensi Tungku (%)
1	Di samping & <i>burner</i> standar kompos gas TENNO	551,25	999,44	39,40
2	Di samping & <i>burner heating torch nozle</i>	546,75	998,31	30,50
3	Di atas & <i>burner</i> standar kompos gas	542,25	1004,04	17,00
4	Di atas & <i>burner heating torch nozle</i>	497,25	805,00	11,00

Dari hasil pengujian kualitas produk pengecoran dengan menggunakan uji spektro di dapatkan komposisi kimia benda uji seperti terdapat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5. 8 Hasil pengujian spektro

No.	Unsur	Banyaknya (%)		
		Benda Uji 1 : Letak <i>burner</i> di samping & jenis <i>burner</i> standar kompor gas TENNO	Benda Uji 3 : Letak <i>burner</i> di atas & jenis <i>burner</i> kompor gas standar TENNO	Benda Uji 4 : Letak <i>burner</i> di samping & jenis <i>burner</i> heating torch nozzle
1	Al	98.2	98.2	98.2
2	Si	0.161	0.184	0.38
3	Fe	0.318	0.404	0.381
4	Cu	0.327	0.276	0.162
5	Mn	0.0187	0.0763	0.0671
6	Mg	0.0697	0.594	0.478
7	Zn	0.434	0.113	0.11
8	Cr	0.0024	0.0394	0.0355
9	Ni	0.0103	0.0078	0.0149
10	Ti	0.017	0.0132	0.0214
11	Be	0.0002	0.0002	0.0002
12	Ca	0.0106	0.01	0.008
13	Li	0.0001	0.0001	0.0001
14	Pb	0.0143	0.0032	0.0049
15	Sn	0.0523	0.0065	0.0162
16	Sr	0.0002	0.0002	0.0002
17	V	0.0097	0.0091	0.0119
18	Na	0.0025	0.002	0.0005
19	Bi	0.005	0.005	0.005
20	Zr	0.0024	0.0023	0.0065
21	B	0.0021	0.0012	0.0025
22	Ga	0.012	0.0135	0.0127
23	Cd	0.001	0.001	0.001
24	Co	0.003	0.003	0.003
25	Ag	0.001	0.001	0.001
26	Hg	0.019	0.003	0.003
27	In	0.0107	0.01	0.0072
28	Sb	0.339	0.0599	0.107
29	Ce	0.0023	0.001	0.001
30	La	0.0048	0.001	0.001

No.	Unsur	Banyaknya (%)		
		Benda Uji 1 : Letak <i>burner</i> di samping & jenis <i>burner</i> standar kompor gas TENNO	Benda Uji 3 : Letak <i>burner</i> di atas & jenis <i>burner</i> standar kompor gas TENNO	Benda Uji 4 : Letak <i>burner</i> di samping & jenis <i>burner</i> heating torch nozzle
31	Mo	0.0051	0.0047	0.0044
32	Sc	0.002	0.002	0.002

Tabel 5.7 menjelaskan hasil pengujian komposisi kimia atau uji spektro, di mana ketiga benda uji 1 unsur aluminium (Al) paling banyak besarnya 98,2 % dan unsur seng (Zn) 0,434 %, benda uji 3 unsur aluminium (Al) paling banyak besarnya 98,2 % dan unsur Magnesium (Mg) 0,594 %, serta benda uji 4 unsur aluminium (Al) paling banyak besarnya 98,2 % dan unsur Mg 0,478 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa benda uji 1 adalah Aluminium paduan Seng (AlZn), benda uji 3 adalah Aluminium paduan Magnesium (AlMg) dan benda uji 4 adalah paduan Aluminium dengan Magnesium (AlMg).

## 5. 2. Luaran yang dicapai

Luaran yang dicapai meliputi :

**Lampiran 6.** Kelulusan tepat waktu 3 mahasiswa program Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila yaitu :

- Ahmad Fauzan Al Ansory (5314221075) dengan judul “Optimasi Desain Impeler Untuk Meningkatkan Efisiensi Pompa Sentrifugal Yang Difungsikan Sebagai Turbin Menggunakan Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)”.
- Shanti Kumbarasari (5314221097) dengan judul “Perancangan Proses Permesinan Dan Analisis Produk Prototype Impeller Sentrifugal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Skala Laboratorium”.
- Misra Jaya (5315220022) dengan judul “Kajian Eksperimental Terhadap Efisiensi Peleburan Aluminium pada Tungku *Crucible*”.

**Lampiran 7.** Satu artikel ilmiah yang telah di submit ke jurnal internasional “**Renewable Energy**” terindek Scopus dengan impact faktor 4,83 – Q1,

berjudul **“The Effect of Surface Roughness of the Impeller to the Performance of Pump as Turbine (PAT)”**

**Lampiran 8.** Satu draft artikel ilmiah dengan judul **“Experimental Study of Aluminum Smelting Efficiency at Crucible”** yang akan disubmit ke International Journal of Applied Engineering Research.

**Lampiran 9.** Satu artikel ilmiah dengan judul **“The performance of Pump as Turbine with Machined Impellers”** yang telah disampaikan pada 2<sup>nd</sup> International Joint Conference on Advanced Engineering and Technology & International Symposium on Advanced Mechanical and Power Engineering, 24-26 Agustus 2017, Sanur Paradise Plaza Hotel, Bali, Indonesia.

**Lampiran 10.** Satu draft artikel ilmiah dengan judul **“Pembuatan Pola Impeller Dengan Menggunakan Teknologi 3D Printing”** yang akan disubmit ke jurnal nasional **“Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta”** yang telah terindeks DOAJ, terdaftar di SINTA, IP dan Google Scholar.

**Lampiran 11.** Satu desain tungku pengecoran dengan bahan bakar LPG.

## BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Rencana yang akan dilaksanakan di tahun III meliputi :

1. Modifikasi draft dan tube pompa, untuk dapat meningkatkan efisiensi daya listrik yang dihasilkan oleh instalasi PAT.
2. Modifikasi motor listrik pada pompa agar tidak terjadi rugi-rugi listrik pada proses pembangkitan listrik.

Berdasarkan penjadwalan, maka rencana kegiatan selanjutnya adalah sebagai berikut:

Tabel 6. 1 Rencana Tahapan Berikutnya Tahun III

No	Kegiatan	Tahun 2												Tahun 3											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>III</b>	<b>REDESIGNING &amp; REMANUFACTURING IMPELLER</b>																								
1	Studi pustaka, persiapan dan koordinasi riset.	■	■	■	■	■																			
2	Perhitungan desain dan estimasi performa PAT.		■	■	■																				
3	Desain impeler dan pemodelan.			■	■	■	■	■																	
4	Analisis desain impeler menggunakan ANSYS Fluent/CFD.			■	■	■	■	■																	
5	Desain tungku pengecoran			■	■	■	■	■																	
6	Pembuatan tungku pengecoran					■	■	■																	
7	Uji eksperimetal tungku pengecoran dengan dua posisi dan jenis burner yang berbeda							■	■	■															
8	Pembuatan varian impeller hasil desain dengan proses pengecoran								■	■	■														
9	Uji eksperimental pada instalasi pengujian									■	■														
10	Verifikasi modifikasi impeler secara eksperimental.										■	■													
<b>IV</b>	<b>ANALISIS DAN PEMODELAN PENGARUH GEOMETRI TERHADAP EFISIENSI PAT</b>																								
1	Studi pustaka, persiapan dan koordinasi riset.	■	■																						
2	Pengukuran (konfirmasi) keakurasian dimensi dan geometri bentuk menggunakan CMM.							■	■																
3	Analisis impeler aktual menggunakan ANSYS Fluent/CFD							■	■																
4	Analisis data eksperimental dari Tahap III.							■	■																
5	Komparasi hasil simulasi ANSYS Fluent/CFD terhadap data eksperimental.							■	■																
6	Pemodelan pengaruh geometri terhadap efisiensi PAT.									■	■	■													
<b>V</b>	<b>MODIFIKASI DRAFT TUBE DAN PENSTABIL ALIRAN</b>																								
1	Studi pustaka, persiapan dan koordinasi riset.													■	■										
2	Desain draft tube dan penstabilan aliran.														■	■									
3	Analisis draft tube dan penstabilan aliran.															■	■								
4	Implementasi draft tube dan penstabilan aliran.																■	■							
5	Verifikasi draft tube dan penstabil aliran secara eksperimental.																	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>VI</b>	<b>IMPLEMENTASI PAT</b>																								
1	Pemilihan lokasi.														■	■									
2	Perhitungan desain dan estimasi performa PAT.															■	■								
3	Analisi PAT menggunakan ANSYS Fluent.																■	■							
4	Implementasi PAT.																	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Verifikasi PAT secara eksperimental.																		■	■	■	■	■	■	■
6	Analisis data eksperimental PAT.																			■	■	■	■	■	■

## BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Parameter permesinan yang dapat mempengaruhi kekasaran permukaan sudu impeller sentrifugal adalah *depth of cut*, *tolerance*, *spindle speed* dan *cutting feed rate* .
2. Hubungan antara *roughness performance* sudu impeller terhadap putaran maksimal terhadap daya yang dihasilkan pada Pump as Turbine (PAT) sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah semakin halusya permukaan impeller maka mempengaruhi daya yang dihasilkan
3. Impeller bersudu 6 dengan material brass dapat menghasilkan daya lebih besar sebesar 5% jika dibandingkan impeller dengan material duralium dan yang bersudu lima.
4. Dari hasil pengujian posisi burner pada tungku pengecoran dapat disimpulkan bahwa letak dan jenis burner yang paling optimal untuk meningkatkan efisiensi peleburan pada tungku *crucible* adalah di samping dan jenis *burner* standar kompor gas TENNO. Dengan letak *burner* di samping dan jenis *burner* standar kompor gas TENNO didapat besarnya energi panas yang dibutuhkan untuk meleburkan alumunium secara sempurna (merata) sebesar 551,25 kJ dengan efisiensi tungku sebesar 39,4 % dan lamanya proses peleburan 1,4 jam. Sedangkan hasil uji kualitas produk seperti uji spektro didapat 98,2 % unsur aluminium (Al) dan 0,434 % (Zn) unsur seng (Zn), uji kekerasan didapat 33,4 kekerasan HB dan 0.21 J/mm<sup>2</sup> untuk uji impak atau ketangguhan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Akuan, A. (2014, 4 2). *Dapur Peleburan*. Retrieved 3 3, 2017, from chapter II: repository.USU.ac.id
- Arriaga, M. (2010). Pump as turbine - A picr-hydro alternative in Lao People's Democratic Republic. 35.
- Chang, C.-H. S.-C. (2007). STUDY OF APPLYING REVERSE ENGINEERING TO TURBIN BLADE MANUFACTURE. 21(2007).
- Chen, J.-Y. L.-K.-J. (2006). LOCALIZATION OF PARTS WITH IRREGULAR SHAPE FOR CMM INSPECTION. 32(2006).
- Chih-Hsing Chu, W. N. (2012). AN INTEGRATED FRAMEWORK OF TOOL PATH PLANNING IN 5-AXIS MACHINING OF CENTRIFUGAL IMPELLER WITH SPLIT BLADES. 23;687-698.
- Derakhshan, S., Mohammadi, B., & Nourbakhsh, A. (2009, Januari). Efficiency Improvement of Centrifugal Reverse Pumps. *Journal of Fluids Engineering*, 131(2), 1-9.
- dkk, K. S. (2016). *Simulation Based Energy and Resource Efficient Casting Process Chain Selection : A Case Study*. South Africa: Manufacturing Department, Crafield University.
- DUC, J. C.-J.-G.-E. (2011). OPTIMAL STRATEGY FOR FINISHING IMPELLER BLADES USING 5-AXIS MACHINING. 58(2011).
- Elbatran, A., Yaakob, O., Ahmed, Y., & Shabara, H. (2015, Maret). Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 40-50.
- Esor, E. E., Babtunde, Y. S., Felix, A., & Mustapha, F. O. (2015). *Design and Fabricatoin of Aluminium Melting Furnace using Locally Available Material*. Nigeri: Nigerian Building and Road Research Institute.
- Geffroy, J. C., & Jacob, G. P.-E. (2011). Design for manufacturing Applied to Turbomachine Components. 57(2010).

- Giosio, D., Henderson, A., Walker, P., Sargison, J., & Gautam, P. (2015). Design and performance evaluation of a pump-as-turbine micro-hydro test facility with incorporated inlet flow control. 78.
- Grigoriev, S. N., A.A.Kutin, & V.V.Pirogov. (2012). Advance Method of NC Programming For 5-Axis Machining.
- Jain, S. V., & Patel, R. N. (2014). Investigations on pump running in turbine mode : A review of the state-of-the-art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 841-868.
- Li Shan, T. M. (2011). OPTIMAL TOOL ORIENTATION PLANNING FOR FIVE-AXIS MACHINING OF OPEN BLISK.
- Mubarak, A. Z. (2013). *Perancangan dan Pembuatan Dapur Peleburan Logam dengan menggunakan Bahan Bakar Gas (LPG)*. Aceh: Universitas Syah Kuala.
- Nugroho, U. (2010, 4 6). *Artikel\_20405733*. Retrieved 4 8, 2017, from [www.gunadarma.ac.id](http://www.gunadarma.ac.id)
- Nukman, Maram, A., & Yani, I. (2015). *Peleburan Sekrap Aluminium pada Tungku Krusibel Berbahan Bakar Batu Bara Hasil Proses Aglomerasi Air-Minyak Sawit*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- P.Groover, M. (2000). *Picture*.
- Qinghua Song, X. A. (2011). DESIGN FOR VARIABLE PITCH END MILLS WITH HIGH MILLING STABILITY. DOI 10.1007/s00170-010-3147-8(2010).
- Singh, P. (n.d.). *Optimization of Internal Hydraulics and of System Design for Pumps as Turbines with Field Implementation and Evaluation*. Phd Thesis, Karlsruhe University, Karlsruhe, German.
- Singh, P., & Nestmann, F. (2011, Januari). Internal hydraulic analysis of impeller rounding in centrifugal pumps as turbines. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(1), 121-134.
- Suarda, M., Suarnadwipa, N., & Adyana, W. B. (2006). Experimental Work on Modification of Impeller Tips of a Centrifugal Pumps as a Turbine. *The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)*, (pp. 1-5). Bangkok, Thailand.

- SULARSO, H. T. (2000). *POMPA DAN KOMPRESOR*. JAKARTA: PRADNYA PARAMITA.
- Sundari, E. (2011). *Rancang Bangun Dapur Peleburan Alumunium Bahan Bakar Gas*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Sun-Sheng, Y., Fan-Yu, K., Wan-Ming, J., & Xiao-Yun, Q. (2012, Agustus ). Effects of Impeller Trimming Influencing Pump as Turbine. *Computer & Fluids*, 67, 72-78.
- Xinhua Liu, d. (2012). *Effect of Casting Temperature on Porous Structure of Lotus-Type Porous Copper*. Beijing: University of Science and Techology Beijing.
- Yang, S. K., Chen, H., & Su, X. (2012, Maret). Effects of Blade Wrap Angle influencing a Pump as Turbine. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 134(6), 1-8.
- Yang, S.-S., Kong, F.-Y., Fu, J.-H., & Ling, X. (2012). Numerical research on effects of splitter blades to the influence of pump as turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2012.
- Yang, S.-S., Shahram, D., & Kong, F.-Y. (2012). Theoretical, Numerical and Experimental Prediction of Pump as Turbine Performance. *Renewable Energy*, 48, 507-513.
- Yuliyanti. (2016). *Rancang Bangun Tungku Peleburan Alumunium Skala Laboratorium*. Semarang: Universitas Diponegoro.