

RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MENGGUNAKAN TURBIN IMPULS

Tugas Akhir

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Konsentrasi Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro



Oleh:

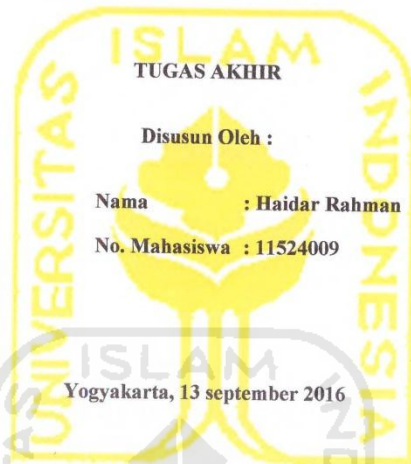
Haidar Rahman

11524009

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2016

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING
Rancang Bangun Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap
Menggunakan Turbin Impuls



TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Haidar Rahman

No. Mahasiswa : 11524009

Yogyakarta, 13 september 2016

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

(Wahyudi Budi Pramono, S.T., M. Eng)

(Warindi, S.T., M. Eng)

Lembar Pernyataan Keaslian

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Haidar Rahman

No. Mahasiswa : 11524009

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan sepanjang sepengetahuan saya, tidak berisi materi yang ditulis oleh orang lain sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas Islam Indonesia atau perguruan tinggi lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan dengan mengikuti tata cara dan etika penulisan karya ilmiah yang lazim. Jika ternyata terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 24 Februari 2016



Lembar Pengesahan Penguji
Rancang Bangun Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap
Menggunakan Turbin Impuls

TUGAS AKHIR

Oleh:
Nama : Haidar Rahman
No. Mahasiswa : 11524009

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Konsentrasi Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 28 September 2016

Tim Penguji

Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng.

Ketua

Suyanto, Ir. H.

Anggota I

Sisdarmanto Adinandra, ST., M.Sc., Ph.D.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia

Hendra Setiawan, ST., M.T., Ph.D.

NIP. 025200526

Halaman Persembahan

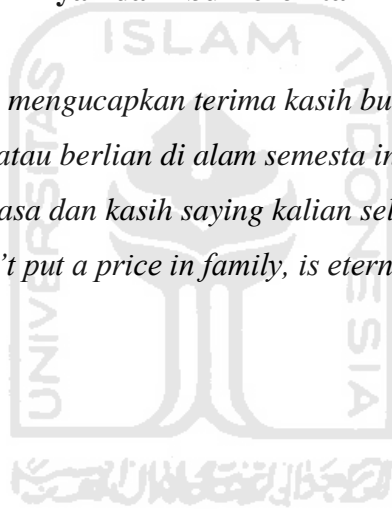
“All the gods, the heavens and hells is within us”. Meaning to not fear failure when faced with uneven odds because the true triumph is when we don’t give up and when we give up then we failed.”

Kupersembahkan Tugas Akhir ini kepada :

Ayah dan Ibu Tercinta

Tidak cukup untuk hanya mengucapkan terima kasih buat kedua orang tua saya karena tidak ada emas atau berlian di alam semesta ini yang bisa membayar kembali jasa dan kasih sayang kalian selama ini.

Because you can't put a price in family, is eternal and absolute.



Halaman Motto

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (5) إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (6)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan.”

(Q.S. Al Insyirah 5 – 6)

“Bila kau tak tahan lelahnya belajar, maka kau harus tahan menanggung perihnya kebodohan“

-Imam Syafi'i-

“I have not failed. I've just found 10,000 ways that won't work”

-Thomas Alva Edison –

“If you want to find the secrets of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration”

-Nikolai Tesla –

“what we can do in life is make legacy”

- Edo–

Kata Pengantar



Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah rabbil'alam, segala puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul "RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MENGGUNAKAN TURBIN IMPULS" ini dapat terselesaikan dengan baik. Tidak lupa pula shalawat dan salamselalu tercurah kepada nabi besar kita, Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman. Semoga kita menjadi umat-umatnya yang dapat meneladani budi pekerti beliau.

Selama mengerjakan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dukungan, fasilitas dan kemudahan dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Anas Hidayat dan Sri Rejeki Ekasasi.
2. Kakak dan adik saya, Faishal Rahman dan Mirza Rahman, yang selama ini sudah mendukung untuk mendorong saya.
3. Bapak Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng.selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Warindi, S.T., M.Eng.selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir,yang telah meluangkan waktu dan membagi pengetahuan untuk memberikan bimbingan sampai terselesaikan tugas akhir ini. Semoga Bapak selalu dalam rahmat dan lindungan-Nya.
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas bimbingan selama menempuh kuliah dari semester pertama hingga akhir di kampus tercinta Fakultas Teknologi Industri,

Universitas Islam Indonesia. Keluarga WARNING, yang tidak bisa saya sebut satu-satu tapi sudah mau berbagi canda dan tawa selama ini.

5. Saudara seperjuangan di Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia angkatan 2011, terimakasih banyak atas kenangan, bantuan, dan kebersamaannya.
6. Pakde saya, Susilo Ardi Marwoto, sebagai mentor dalam menyelesaikan tugas akhir saya.
7. Bapak Eddy yang telah menjadi mekanis dibalik tugas akhir saya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharap saran dan kritik yang bersifat konstruktif dan solutif dari semua pembaca untuk kebaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membutuhkan. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kita pemahaman ilmu yang bermanfaat.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 24 Februari 2016

Penulis

Abstrak

Kebutuhan listrik masyarakat Indonesia pada masa sekarang ini sangatlah besar jumlahnya. PLN sebagai pihak yang paling bertanggung jawab terhadap pengadaan listrik di negeri ini masih kewalahan untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi masyarakat. Hal ini dikarenakan antara lain wilayah Indonesia yang sangat luas, jumlah penduduk yang banyak, dan sumber energi primer yang berasal dari bahan bakar fosil yang sangat tidak mencukupi atau terbatas. Bentuk dari turbin impuls yang sangat baik dari segi kinerja dan efisiensi adalah Turbin De Laval. Turbin De Laval yaitu merupakan bagian dari Turbin Impuls yang memanfaatkan energi potensial dan merubahnya ke kinetik. Turbin De Laval adalah turbin paling sederhana terdiri dari satu tingkat, yakni satu set nosel dan satu baris sudu, dengan arti tekanan uap masuk hingga uap keluar dilaksanakan dalam satu nosel pada satu baris sudu (satu tingkat). Diperlukan kecepatan rotor yang terlalu tinggi demi mempertahankan efisiensi yang tinggi. Kecepatan putar maksimum turbin De laval ketika terkopel dengan generator adalah 3290 RPM yang menghasilkan tegangan 2.3 Volt. Ketika diberikan beban maka pada tekanan 5 bar turbin De Laval dapat menghasilkan daya maksimum 60.58mW dengan efisiensi 0.041%.

Kata kunci :

Pembangkit Listrik, Turbin De Laval, Energi, Efisiensi.



Daftar Isi

Lembar Pengesahan Pembimbing	i
Lembar Pernyataan Keaslian.....	Error! Bookmark not defined.
Lembar Pengesahan Penguji	Error! Bookmark not defined.
Halaman Persembahan	Error! Bookmark not defined.
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	viii
Daftar Isi.....	.i1
Daftar Gambar.....	.3i
Daftar Tabel.....	.4i
BAB I PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Rumusan Masalah.....	3
1. 3 Batasan Masalah	3
1. 4 Tujuan Penelitian.....	3
1. 5 Manfaat Penelitian.....	3
1. 6 Sistematika Penulisan	4
BAB II STUDI PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Termodinamika	6
2.2.2 Turbin Impuls.....	9
2.2.3 Generator DC	11

2.2.4	LPG	12
2.2.5	Boiler.....	14
2.3	Pengukuran Bahan Bakar	14
BAB III PERANCANGAN SISTEM		16
3.1	Bahan Perancangan.....	16
3.2	Perancangan dan Pembuatan Turbin Impuls (De Laval).....	17
3.3	Perancangan dan Pembuatan Boiler	20
3.4	Pengujian dan Pengukuran	22
3.5	Perhitungan Efisiensi.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1	Hasil Pengukuran Daya Masuk	24
4.2	Hasil Pengukuran Daya Masuk	25
4.3	Pengujian Daya, Kecepatan dan Energi	26
4.3.1.	Pengujian Tanpa Beban.....	27
4.3.2.	Pengujian Terkopel Dengan Beban	28
4.3.2.1	Pengujian Terkopel Dengan Generator	29
4.3.2.2	Pengujian Terkopel Dengan Generator Dan Beban Resistor	32
4.4	Perhitungan Efisiensi Pembangkit Listrik	33
4.5	Pembahasan	33
BAB V PENUTUP.....		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA		36

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Cara Kerja Turbin Impuls.....	10
Gambar 2.2 Konstruksi Generator DC	12
Gambar 2.3 Wujud Dari Molekul Propana dan Butana	13
Gambar 2.4 Desain Boiler Sederhana	14
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	16
Gambar 3.2 Desain 2D Turbin De Laval Di Solidwork 2013.....	18
Gambar 3.3 Desain 3D Turbin De Laval Di Solidwork 2013.....	18
Gambar 3.4 Desain 3D Boiler	21
Gambar 4.1 Hasil Akhir Turbin De Laval.....	24
Gambar 4.2 Hasil Akhir Dari Boiler.....	25
Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Putar Turbin De Laval Tanpa Beban	28
Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Putar Turbin De Laval Dengan Generator	29
Gambar 4.5 Grafik Tekanan Boiler Terhadap Suhu Boiler	30
Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Turbin Dengan Keluaran Tegangan Pada Generator	31
Gambar 4.7 Grafik tegangan terhadap arus ketika diberi beban.....	32

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Bahan Pembuatan Turbin De Laval	19
Tabel 3.2 Bahan Pembuatan Boiler.....	21
Tabel 4.1 Kecepatan Putar Turbin De Laval Tanpa Generator.....	27
Tabel 4.2 Data Pengukuran Dengan Generator.....	29
Tabel 4.3 Data Pengukuran Dengan Beban Resistor	32



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang terjadi di era modern seperti saat ini memang berlangsung begitu pesat dan membawa dampak yang besar terhadap tingkat kesejahteraan hidup umat manusia di muka bumi ini. Namun demikian di sisi lain fenomena ini sekaligus juga menjadikan ketergantungan umat manusia dalam kelangsungan hidupnya terhadap listrik dari waktu ke waktu semakin besar, sehingga listrik seolah-olah sudah merupakan kebutuhan pokok yang tidak mungkin diabaikan.

Mengingat betapa pentingnya listrik sebagai penunjang kelangsungan hidup dan menyangkut hajat hidup orang banyak, maka di Indonesia sesuai dengan UUD 1945, masalah listrik sepenuhnya pengelolaannya dikuasai oleh Negara, dan dalam pelaksanaannya dilakukan oleh suatu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang disebut Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Kebutuhan listrik masyarakat Indonesia pada masa sekarang ini sangatlah besar jumlahnya. PLN sendiri sebagai pihak yang paling bertanggung jawab terhadap pengadaan listrik di negeri ini masih sangat kewalahan untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi masyarakat. Hal ini dikarenakan antara lain wilayah Indonesia yang sangat luas, jumlah penduduk yang banyak, dan sumber energi penggerak pembangkit listrik yang berasal dari bahan bakar fosil yang sangat tidak mencukupi atau terbatas.

Belajar dari realita ini seharusnya masyarakat bisa berpikir dan bersikap kreatif dalam memenuhi kebutuhan listrik mereka. Apalagi bila melihat kondisi geografis Indonesia yang sesungguhnya sangat kaya sumber energi yang dapat dijadikan penggerak pembangkit listrik yang berasal dari alam. Antara lain sinar

matahari yang berlimpah, panas bumi yang belum tereksploitasi, dan aliran arus sungai-sungai besar yang tersebar hampir di seluruh pelosok negeri.

Dari berbagai macam teknologi pembangkit listrik dapat dibedakan menjadi dua macam turbin yaitu, turbin impuls dan turbin reaksi. Hanya saja untuk menggunakan kedua macam teknologi pembangkit listrik tersebut dasar pertimbangannya adalah efisiensi dan efektivitas, selain itu kondisi alam dimana pembangkit listrik akan ditempatkan. Misalkan, pertimbangan seperti sumber energi yang untuk menggerakkan pembangkit listrik. Secara Umum bahwa Turbin Reaksi lebih mempunyai kisaran output daya yang lebih besar dibandingkan dengan Turbin Impuls. Namun, pada tekanan yang sangat kecil beberapa keunggulan ada dari Turbin Impuls.

Bentuk dari turbin impuls yang sangat baik dari segi kinerja dan efisiensi adalah Turbin De Laval. Turbin De Laval yaitu merupakan salah satu jenis dari Turbin Impuls yang memanfaatkan energi potensial dan merubahnya ke kinetik. Turbin De Laval pertama kali dipatenkan Carl G.P. De Laval pada tahun 1888. Turbin De Laval ini menggunakan baling-baling yang berbentuk seperti mangkok/cangkuk maka disebut dengan Turbin Impuls karena memanfaatkan gaya dorong dari sumber energi, dan adalah salah satu keunikan dari Turbin De Laval dibandingkan dengan turbin lainnya. Cara menggerakkan Turbin De Laval melainkan dengan uap yang dihasilkan dari panas air dalam boiler. Sedangkan sumber pembakaran bisa berasal dari beberapa sumber, seperti batu bara, panas bumi, gas alam, biogas, termasuk dari sampah-sampah yang dibakar.

Hal inilah yang menginspirasi untuk mengkaji tentang efisiensi Turbin Impuls dengan tenaga uap agar dapat dimanfaatkan secara optimal dan maksimal untuk menghasilkan listrik yang dibutuhkan masyarakat dan sekaligus mendorong masyarakat untuk membina komunitas-komunitas yang mandiri terhadap kebutuhan listrik terutama di daerah pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan aliran listrik dari PLN.

Oleh karena itulah penelitian ini yang nantinya akan disusun ke dalam bentuk tugas akhir atau skripsi diberi judul “RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MENGGUNAKAN TURBIN IMPULS”.

1.2.Rumusan Masalah

Dari uraian singkat diatas, permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang pembangkit listrik skala kecil berbasis Turbin Impuls?
2. Bagaimana membuat model fisik pembangkit listrik Turbin Impuls?

1.3. Batasan Masalah

Dengan adanya rumusan masalah yang harus diselesaikan pada penelitian ini, maka harus dibatasi pada hal – hal berikut:

1. Perancangan pembangkit listrik adalah skala model atau miniature.
2. Jenis bahan bakarmenggunakan LPG
3. Menggunakan generator DC

1.4.Tujuan Penelitian

1. Merancang pembangkit listrik skala kecil berbasis Turbin Impuls.
2. Membuat model fisik pembangkit listrik Turbin Impuls.

1.5.Manfaat Penelitian

1. Sebagai alternatif penyediaan tenaga listrik skala rumah tangga khususnya di daerah yang belum mendapatkan aliran listrik PLN.
2. Model pembangkit sebagai dasar untuk merancang pembangkit listrik Turbin Impuls skala besar untuk aplikasi sesungguhnya.

1.6. Sistematik Penulisan

Pembuatan tulisan mengenai penelitian ini dilakukan dengan membagi penulisan menjadi beberapa bab, yaitu sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika pembahasan dari tugas akhir “Pemanfaatan Mesin Stirling Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa”.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori dan tentang komponen – komponen utama yang diterapkan.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang tahapan atau proses pembuatan sistem dari tahap awal hingga tahap akhir pengujian dan pengambilan data untuk dianalisis.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini memuat hasil pengamatan, pengujian sistem dan penjelasannya, serta indikator keberhasilan dari Pemanfaatan Mesin Stirling Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini memuat mengenai penelitian yang telah dilaksanakan serta saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Riyaldi [2] dengan judul Perancangan Turbin Uap Type *Impuls* Penggerak Generator Dengan Satu Tingkat Ekstarki, Daya Generator 10 Mw ,Putaran Poros Turbin 5700 RPM yang meneliti cara merancang pembangkit listrik tenaga uap menggunakan turbin *Impuls*, terutama menggunakan turbin Impuls tingkat satu. Pada pengujiannya tercatat hasil dari daya turbin tercatat sebesar 12,417 MW dengan tekanan uap pada 42 Bar dan suhu boiler mencapai 480 °C.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Rudi Haryanto [3] dengan judul Perencanaan Turbin Uap Untuk Pembangkit Listrik Pada Pabrik Kelapa Sawit Dengan Kapasitas Olah 60 Ton TBS/Jam. Turbin yang digunakan adalah turbin Impuls jenis Curtis dengan hasil spesifikasi yang tercatat adalah putaran poros 5000 rpm dan daya turbin 2469,28 KW dengan spesifikasi generator yang mencapai kecepatan 1500 rpm dan daya keluaran sebesar 1500 KW.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Roy Franc J.S. [4] dengan judul Perancangan Turbin Uap Untuk PLTGU Dengan Daya Generator Listrik 80 MW Dan Putaran Turbin 3000 RPM. Merancangan turbin impuls uap yang digunakan untuk siklus rankine pada PLTGU. Hasil yang tercatat adalah tekanan uap mencapai 82 Bar dengan suhu 550 °C dan Daya turbin yang dihasilkan adalah 95,782 MW dengan efisiensi turbin mencapai 84.15%.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Termodinamika

a. Pengertian Termodinamika

Kata Termodinamika berasal dari kata Yunani yaitu ,termo, artinya panas dan,dinamika, artinya gerak. Jadi Termodinamika membahas tentang panas yang bergerak atau perpindahan panas antara suatu kondisi ke kondisi lain, tetapi bukan hanya panas yang berpindah, karena dalam ilmu Termodinamika pada umumnya adalah perubahan suatu energi ke energi lain. [1]

Banyak sistem termodinamika dapat dilihat di alam. Matahari yang terlihat dilangit adalah sumber energi terbesar bagi bumi, menghangatkan udara, tanah, dan samudra. Massa udara yang besar bergerak di permukaan bumi. Arus air raksasa yang berputar di laut. Semua gerakan dan putaran terjadi karena transformasi panas ke kerja. Energi mengambil beberapa bentuk yang berbeda. Tidak bisa dibuat dan dihancurkan, tetapi hanya dapat berubah bentuk. Pernyataan ini merupakan salah satu hukum fundamental dari Termodinamika. Pertimbangkan bagaimana energi berubah bentuk dalam awan badai;

1. Awan badai mempunyai gerakan di dalamnya.
2. Gerak antara tetesan air di dalam awan yang menggosok antara awan yang lainnya dan menghasilkan friksi.
3. Friksi menyebabkan penumpukan energi statis.

b. Bentuk dan Perubahan Energi

Dalam dunia termodinamika maka ada tiga tipe perubahan energi pada umumnya yaitu energi kinetik, potensial, dan internal. Sebagai contoh energi dapat berubah bentuk ketika menyalakan mobil. Pertama ketika mobil dinyalakan maka baterai mengakibatkan startor untuk berjalan. Baterai adalah kotak besar yang berisi senyawa energi kimia. Kerja dari baterai adalah merubah energi kimia menjadi energi listrik. Motor listrik memutar mesin, bentuk dari energi

kinetik, dan busi api menyala. Busi menyalakan bahan bakar melalui proses pembakaran dimana energi kimia dari bensin dirubah menjadi bentuk energi panas yang dinamai internal energi. Dalam beberapa detik untuk menyalakan mobil, energi berubah dari kimia menjadi listrik menjadi kinetik menjadi panas atau internal energi.[1]

c. Energi Kinetik

Kinetik energi dapat dikaitkan dengan geraknya massa kepada kerangka acuan. Kebanyakan tanah/bumi menjadi bagian dari kerangka acuan, tapi dengan kasus seperti pesawat terbang dan burung, udara lebih menjadi bagian dari kerangka acuan. Mengkalkulasi energi kinetik (EK) dengan obyek yang mempunyai massa (m) bergerak pada kecepatan (V) [1], relatif pada kerangka acuan, menggunakan persamaan dibawah:

$$EK = \frac{mV^2}{2} \quad (2.1)$$

m = massa (Kg)

V = Kecepatan (m/s)

Satuan dari energi kinetik adalah $Kg \cdot m^2 / s^2$, yang setara dengan satuan *Joules*.

Unit energi berikut ini setara dengan satu sama lain:

$$1 KJ = 1000 Kg \cdot m^2 / s^2 = 1000 N \cdot m = 1 kPa \cdot m^3$$

d. Energi Potensial

Energi potensial adalah bentuk energi yang terkait dengan massa pada ketinggian di atas kerangka acuan. Massa mempunyai potensi untuk melakukan kerja dengan bergerak ke bawah dalam medan gravitasi. Seringkali kerangka acuan untuk energi potensial adalah tanah/bumi, tetapi bisa antara dua ketinggian pada sumbu vertikal.

Kalkulasi untuk energi potensial (EP) dari sebuah objek yang memiliki massa (m) pada ketinggian (h) diatas kerangka acuan dengan percepatan gravitasi (g), menggunakan persamaan dibawah:

$$EP = m \cdot g \cdot h \quad (2.2)$$

m = Massa (Kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian (m)

e. Tekanan

Tekanan atau *pressure*(P) hasil dari molekul yang bertubrukan pada permukaan objek yang tertutup rapat sehingga mencoba mendorong keluar dengan udara di permukaan luar. Tekanan bisa di definisikan sebagai gaya (F) yang bekerja pada permukaan area dan salah satu properti dari Termodinamika dalam gas dan cairan. [1]

Satuan dari tekanan dapat dilihat dari persamaan dibawah:

$$1 Pa = 1 N/m^2$$

$$1 kPa = 1000 Pa$$

$$1 psi = 6,895 kPa$$

f. Temperatur

Temperatur menggambarkan sesuatu kondisi panas atau dingin dan salah satu bagian dari Termodinamika. Temperatur dapat diukur dengan empat satuan yaitu dengan Celcius ($^{\circ}C$), Kelvin (K), Fahrenheit ($^{\circ}F$), dan Rankine (R). [1]

g. Kalor

Kalor adalah bentuk dari energi yang berpindah karena ada perbedaan suhu, yang dirumuskan sebagai:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (2.6)$$

Q = Kalor

m = Massa

c = Massa Jenis

2.2.2. Turbin Impuls

a. Cara kerja

Prinsip kerja dari turbin impuls dapat dilihat dari contoh kincir air dan turbin uap. Turbin Impuls bekerja dengan prinsip impuls atau hantaman. Turbin jenis ini juga disebut dengan turbin tekanansama, karena oleh aliran air atau uap yang ke luar dari nosel, tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer. Sebagai contoh pada gambar 2.1 adalah turbin impuls yang bekerja dengan prinsip hantaman, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke suduturbin dirubah menjadi energi kinetik. Pancaran air atau uap tersebut yang akan menjadi gaya sentrifugal(F) yang bekerja pada sudu roda.

Rumus gaya sentrifugal:

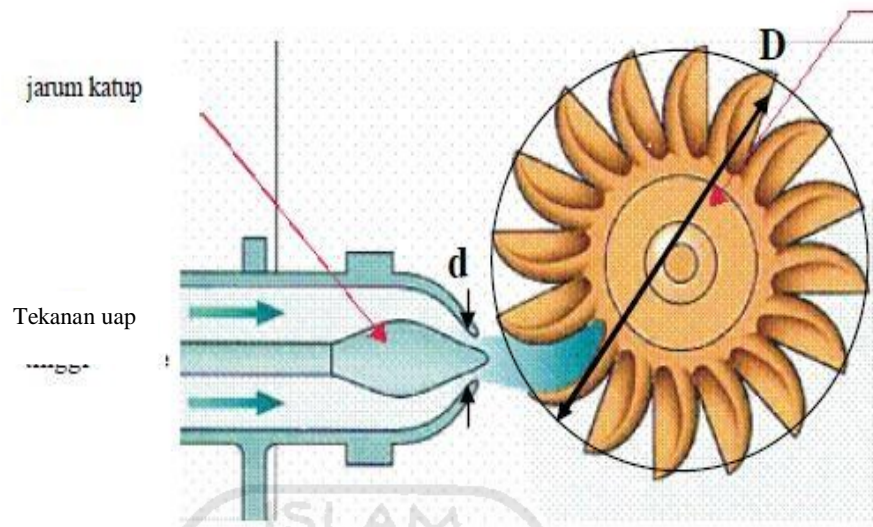
$$F = m \frac{v^2}{r} \quad (2.7)$$

F = Gaya Sentrifugal (N)

m = Massa (Kg)

V = kecepatan (m/s)

r = radius lingkaran (m)



Gambar 2.1 Cara Kerja Turbin Impuls [9]

b. Daya dan Efisiensi Turbin Impuls

Daya poros dari Turbin Impuls dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \tau \cdot 2\pi \cdot n \quad (2.8)$$

P = Daya (Watt)

τ = Torsi (Nm)

n = Rotasi (Rpm)

Persamaan tersebut berasal dari rumus torsi:

$$\tau = \frac{P}{2\pi \cdot n} \quad (2.9)$$

Setelah mendapatkan daya dari turbin Impuls, maka efisiensi Turbin Impuls bisa didapatkan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.10)$$

c. Jenis Turbin Impuls

Turbin Impuls memiliki dua jenis turbin yaitu turbin De Laval dan turbin Pelton yang masing-masing digerakan dengan sumber energi yang berbeda, perbedaan antara turbin De Laval dan turbin Pelton adalah:

1. Turbin De Laval:

Insinyur Swedia, Carl G.P. de Laval, membangun turbin ini. Salah satu turbin uap impuls yang pertama yang bisa dimanfaatkan dengan praktis. Gear diperlukan untuk mengurangi jumlah revolusi yang sangat tinggi ke jumlah yang lebih teknis yang dapat digunakan. Dalam turbin De Laval uap berasal dari nosel tetap. Tekanan uap diberi kecepatan tinggi. Kemudian mengalir melalui sudu-sudu, yang menyimpang dari arah tekanannya pada sudu-sudu dan kemudian berputar untuk menghasilkan energi.

2. Turbin Pelton:

Turbin Pelton adalah turbin air jenis impuls. Hal ini ditemukan oleh Lester Allan Pelton pada 1870. Turbin Pelton memanfaatkan energi impuls dari air yang bergerak, contohnya adalah tinggi jatuh air sungai yang mengalir. Tinggi jatuh air disalurkan melalui nosel yang terus menghantam sudu-sudu turbin agar terjadi gerak putar pada turbin.

2.2.3. Generator DC

Pada umumnya generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanent dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, starter eksitasi, penyearah, bearing dan rumah generator atau casing, serta bagian rotor. [6]

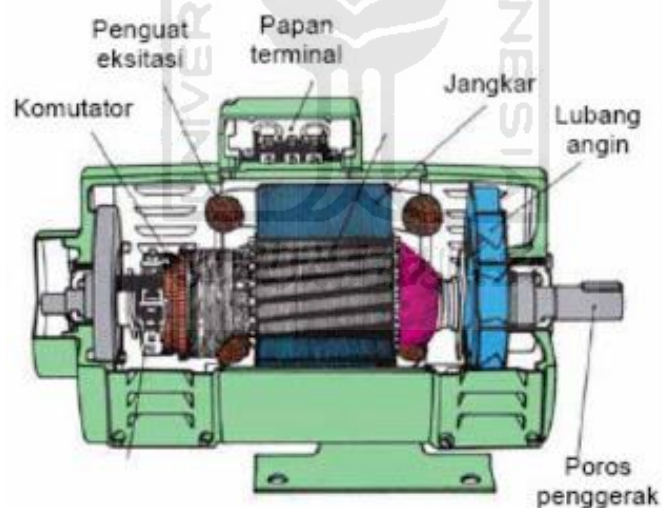
Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri

dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

Dasar teori Teori yang mendasari terbentuknya GGL induksi pada generator ialah Percobaan Faraday. Percobaan Faraday membuktikan bahwa pada sebuah kumparan akan dibangkitkan GGL Induksi apabila jumlah garis gaya yang diliputi oleh kumparan berubah-ubah.

Ada 3 hal pokok terkait dengan GGL Induksi ini, yaitu :

1. Adanya flux magnet yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet.
2. Adanya kawat penghantar yang merupakan tempat terbentuknya EMF.
3. Adanya perubahan flux magnet yang melewati kawat penghantar listrik.



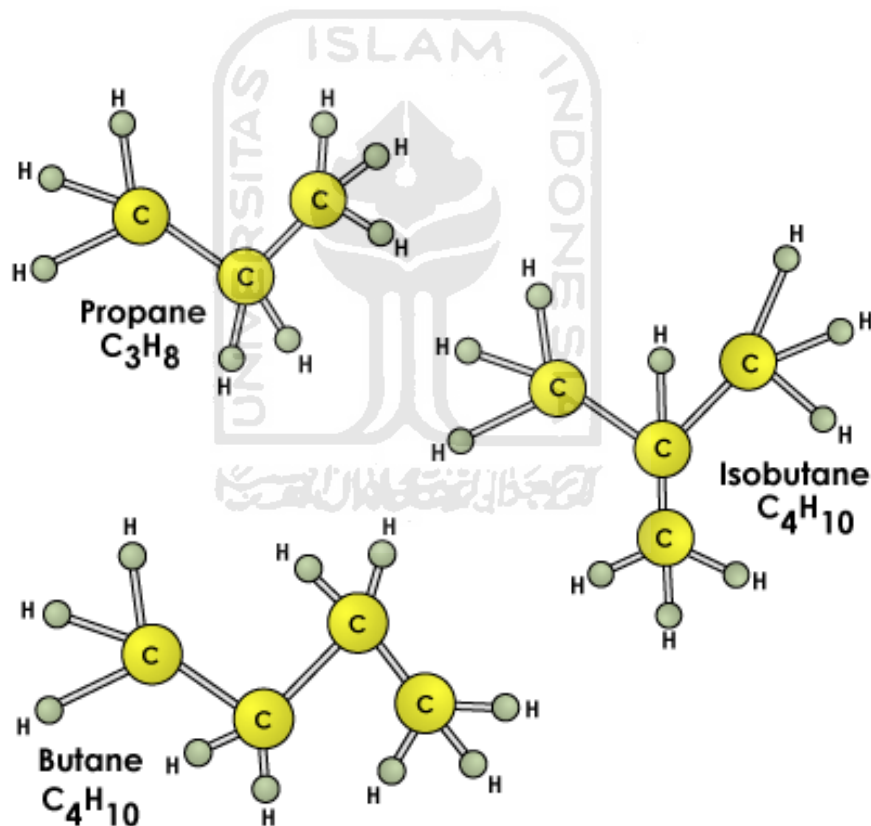
Gambar 2.2 Konstruksi Generator DC [10]

2.2.4. LPG

LPG adalah sebuah singkatan dari *Liquidified Petroleum Gas*. LPG dapat digunakan sebagai bahan bakar buat sebuah pembangkit. LPG mengandung bahan karbon dan hydrogen tergantung struktur molekul, karena LPG dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu Propana dan Butana, kedua hidrokarbon yang banyak

digunakan pada bahan bakar dirumah, industri dan seluruh dunia.LPG dapat disimpan dalam kadar cairan karena itu mudah untuk bisa di bawa dan digunakan dalam sebuah percobaan. [7]

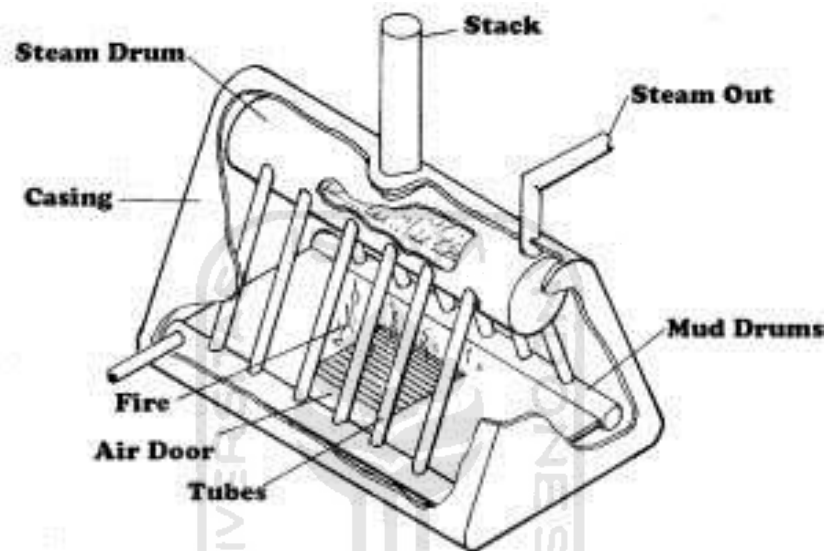
Perbedaan antara Propana dan Butana adalah titik didihnya yang dimana Propana mempunyai titik didih -42°C dan Butana 0°C , dalam arti Propana sangat mudah terbakar dalam kondisi apapun dibandingkan Butana dimana dalam kondisi dingin tidak akan bisa terbakar. Satu kilogram Propana bisa membangkitkan 20286,6 KJ energi. [8]



Gambar 2.3 Wujud dari Molekul Propana dan Butana [12]

2.2.5. Boiler

Boiler dirancang untuk menghasilkan uap sebagai media penggerak turbin. Boiler bisa menampung air yang cukup banyak untuk bisa menghasilkan uap dengan tekanan dan suhu yang tinggi. Manometer dipasang pada boiler untuk bisa mengukur tekanan yang ada dan Termometer untuk mengukur suhu.



Gambar 2.4 Desain boiler sederhana [11]

2.3. Pengukuran Bahan Bakar

Pengukuran ini dimaksud untuk mengetahui besar energi LPG (Propana) karena LPG sangat mudah untuk didapatkan dipasaran mana saja dan mudah untuk proses pembakaran, hal ini berkaitan erat dengan kalor. Dari hasil penelitian bahwa LPG memiliki kandungan gas yang tinggi yaitu 1 kilogram LPG terdapat energy sebesar 20286,6 KJ. Untuk mendapatkan estimasi perbandingan maka gas LPG yang dipakai adalah 3kg, dengan arti $20286,6 \text{ KJ} \times 3 = 60,859.8 \text{ KJ}$. Percobaan dilakukan dengan mengisi setengah tangki boiler dengan air sebesar 0.84 liter atau 0.84 kg, sesudah itu dipanaskan dengan tabung 3 Kg LPG. Kalor jenis air (c) diketahui sebesar $4180 \text{ J/ Kg } ^\circ\text{C}$. Suhu awal boiler akan diukur

terlebih dahulu dengan termometer, selanjutnya akan diukur kembali suhu akhir dari boiler hingga ada perubahan suhu menjadi panas.



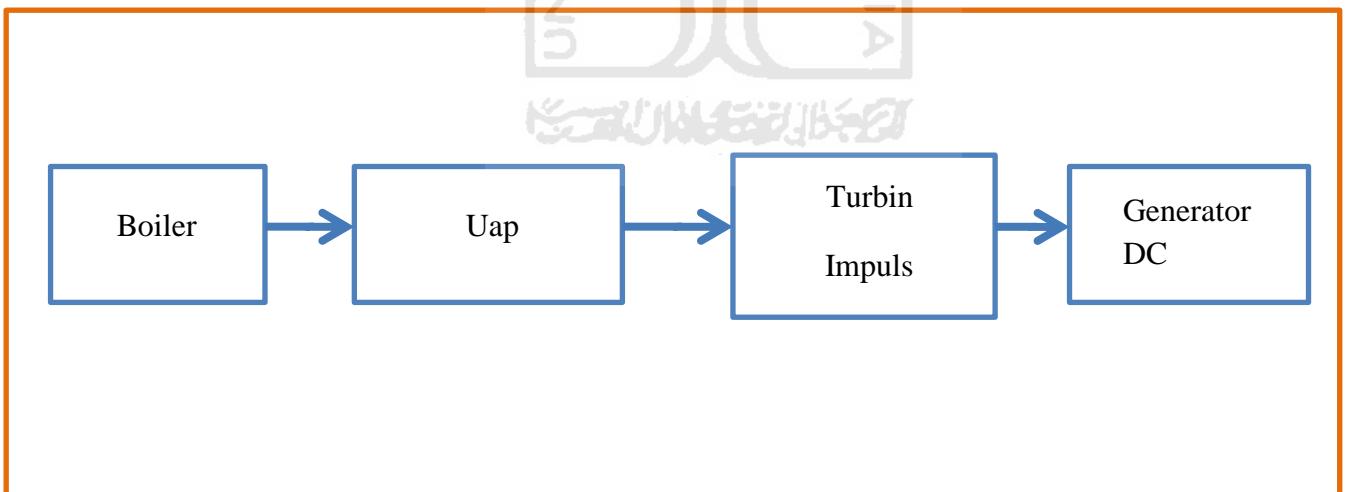
BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1. Bahan Perancangan

Perancangan sistem pembangkit listrik Turbin Impuls menggunakan boiler mini yang sudah dirancang dengan anometer dan berfungsi sebagai pemasukan energi tenaga uap, dimana air akan dipanaskan dengan LPG (propana) dalam boiler dengan suhu mencapai 150°C tertentu untuk menghasilkan uap dengan tekanan kurang lebih 5 Bar. Keluaran uap dari boiler nantinya akan di salurkan melalui pipa yang sudah tersambung ke Turbin Impuls dan dari masukan uap akan memutar Turbin Impuls karena adanya tekanan.

Turbin Impuls akan berperan sebagai *prime mover* atau penggerak utama. Putaran poros dari Turbin Impuls dan akan di kopel dengan roda puley yang disambungkan ke motor DC. Motor DC berperan sebagai generator jadi ketika poros motor DC berputar maka akan menghasilkan tegangan dan arus.



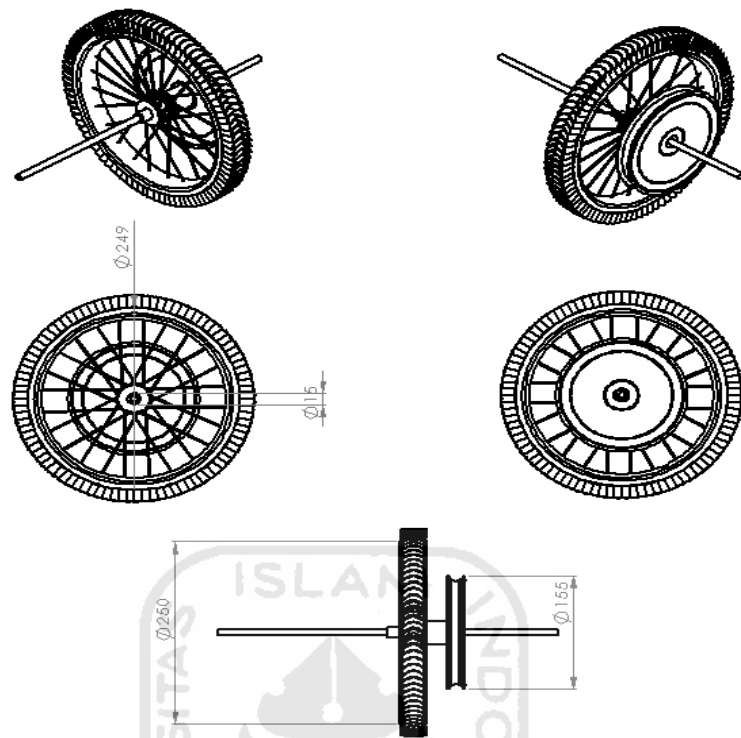
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Hubungan antara boiler, Turbin Impuls dan motor DC dapat dijadikan sebagai pembangkit listrik. Mencari efisien Turbin Impuls sebagai pembangkit listrik adalah tujuan utama dari penelitian saya untuk mengetahui apakah layak Turbin Impuls untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik tenaga uap? Jika tidak, apa saja yang bisa dikembangkan supaya mendapatkan efisiensi yang maksimal untuk menjadi pembangkit listrik yang baik.

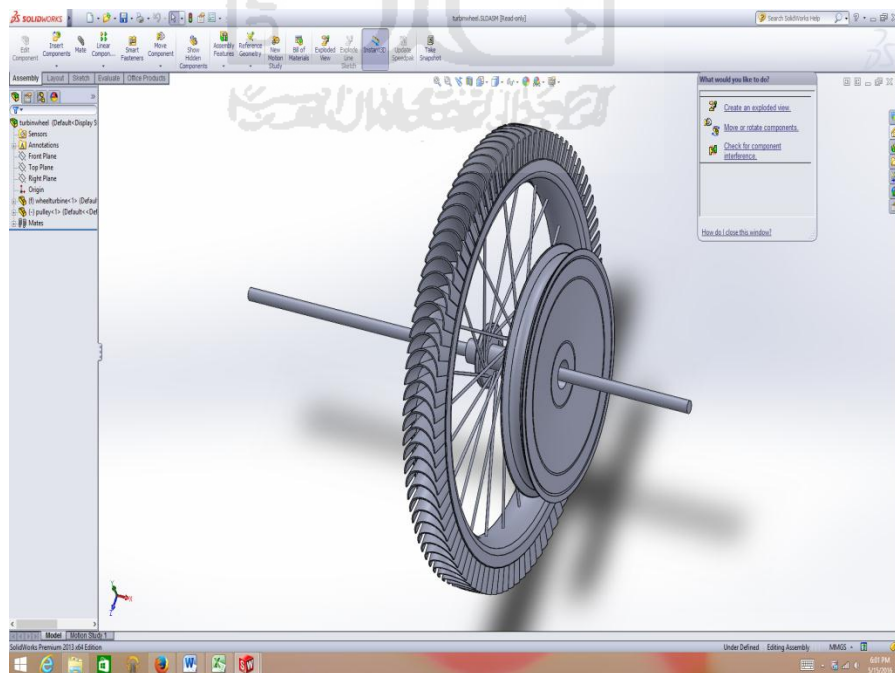
3.2. Perancangan dan Pembuatan Turbin Impuls (De Laval)

Perancangan Turbin Impuls yang dipilih adalah turbin De Laval yang bekerja sebagai penggerak utama atau *prime mover*. Ketika masukan uap dari boiler maka turbin De Laval harus bisa berputar dengan spesifikasi yang diinginkan. Turbin De Laval terdiri dari sudu yang berbentuk lengkungan “U” dan berjumlah banyak yang mengelilingi sudu rotor. Rotor penggerak dari turbin dan nantinya akan di kopel dengan roda van belt yang tersambung ke motor DC 24 volt.

Perancangan pertama kali dibuat dengan menggunakan program komputer *Solidwork 2013* yang menghasilkan gambar 3D dalam komputer. Cara ini dapat memudahkan untuk mendesain Turbin yang akan dibuat tanpa harus membeli bahan-bahan yang diperlukan sebelum direalisasikan.



Gambar 3.2 Desain 2D Turbin De Laval di Solidwork 2013



Gambar 3.3 Desain 3D Turbin De Laval di Solidwork 2013

Sesudah mendapatkan desain yang sesuai maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu pembuatan. Dalam tahap pembuatan ada beberapa bahan yang dibutuhkan untuk membuat turbin De Laval menjadi model pembangkit listrik, yaitu antara lain bisa dilihat di tabel 3.1. Masalah ukuran dan diameter perancangan pembuatan alat disesuaikan dengan adanya di pasar, karena desain awal hanya berfungsi sebagai gambaran supaya mempermudah ketika pembuatan nyata.

Tabel 3.1 Bahan Pembuatan Turbin De Laval

Nama Bahan	Jumlah	Fungsi
Pelek Sepeda	1 Buah	Badan Turbin
Pulley	1 Buah	Penyambung Bagian Turbin
Van Belt motor DC	1 Buah	Penyambung Turbin Ke Motor
Pipa Besi	1 Buah x 1 meter	Bagian Sudu-Sudu Turbin
Tiang Besi	1 Buah x 1.2 meter	Penyangga Turbin
Baut Panjang	1 Buah x 60 cm	Rotor Turbin
Mur	6 Buah	Memperkuat dudukan Rotor
Baut	4 Buah	Memperkuat dudukan Motor

Setelah semua bahan pembuatan lengkap, tahap selanjutnya adalah membuat turbin De Laval sesuai dengan desain yang telah direncanakan.

Langkah pertama, membuat sudu-sudu pada pelek sepeda untuk membuat badan Turbin. Untuk mendapatkan jumlah sudu-sudu maka harus di ukur diameter pelek sepeda yaitu 64 cm keliling maka dari itu jumlah sudu-sudu adalah 64 karena jarak antara sudu ke sudu adalah 1 cm, supaya ketika menglas dari sudu ke pelek akan mudah.

Langkah kedua, membuat dudukan pulley di badan turbin dengan menglas silinder aluminium ke badan turbin dan membubut pulley supaya dapat masuk kedalam silinder. Fungsi pulley untuk meng sambungkan van belt ke motor DC.

Langkah ketiga, membuat penyangga turbin agar dapat berdiri dengan tegak dan ketika di semburkan dengan uap struktur turbin tidak akan goyang, maka dari itu penyangga dibuat dari tiang besi yang berat.

Langkah keempat, membuat dudukan motor DC agar dapat di kopel dengan turbin. Letak dari motor DC adalah di bawah turbin.

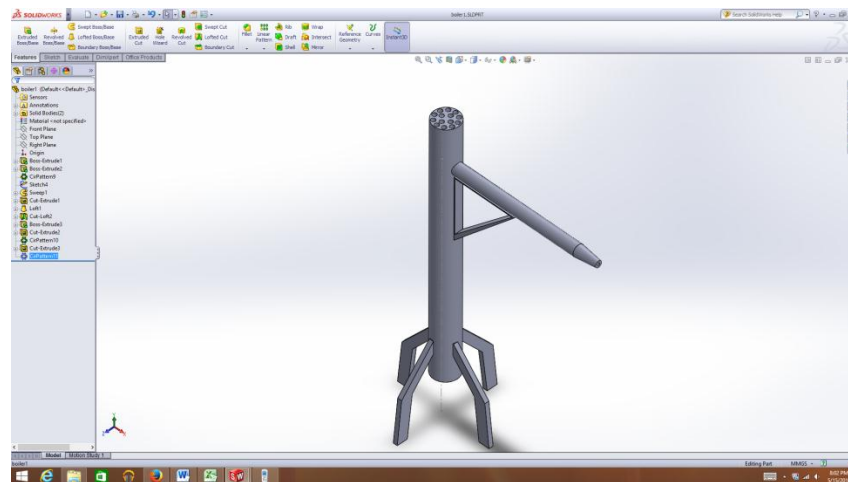
3.3. Perancangan dan Pembuatan Boiler

Agar turbin De Laval dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik maka diperlukan sumber energi yang berupa uap. Boiler dapat menghasilkan uap dengan melalui proses pemanasan air, dimana air dalam boiler akan dibakar menggunakan bahan bakar yang kemudian air tersebut akan mendidih dan menghasilkan uap.

Pertimbangan yang perlu dilihat dalam perancangan boiler adalah sebagai berikut:

1. Desain boiler sederhana dan mudah dibuat.
2. Menggunakan bahan yang bisa menahan tekanan didalamnya.
3. Dapat tahan ketika dibakar dengan api yang besar dan panas.
4. Bisa menampung air yang relatif banyak.
5. Dapat mengukur suhu dan tekanan.

Sama halnya dengan perancangan turbin De Laval, perancangan awal boiler dibuat terlebih dahulu dalam desain 3D di Solidwork.



Gambar 3.4 Desain 3D Boiler

Dengan desain yang ada maka dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan dengan mencari bahan yang sesuai dengan pertimbangan yang ada diatas. Bahan yang sesuai dapat dilihat di tabel 3.2.

Tabel 3.2 Bahan Pembuatan Boiler

Nama Bahan	Jumlah	Fungsi
Tiang Listrik	1 Buah x 60 cm	Badan Boiler
Pipa Tembaga	12 Buah x 60 cm	Penyalur Panas dalam Boiler
Pipa Besi	1 Buah x 40 cm	Penyambung Turbin Ke Motor
Manometer	1 Buah (10 Bar)	Alat Ukur Tekanan
Termometer	1 Buah (300°C)	Alat Ukur Suhu
Nosel	1 Buah	Penyembur Uap
Kompur	1 Buah	Pembakaran Gas
Tabung LPG	1 Buah (3 Kg)	Sumber Pembakaran

Sesudah semua bahan didapatkan maka lanjut ke tahap berikutnya yaitu tahap pembuatan boiler.

Langkah pertama, memotong tiang listrik sepanjang 60 cm dan tutup atas dan bawahnya dengan menglas lingkaran besi sehingga berwujud seperti tabung.

Langkah kedua, melubangi atas dan bawah tabung dengan diameter sebesar 10 cm yang sejajar maka dapat memasang dan menglas pipa tembaga. Fungsi pipa tembaga supaya air didalam boiler dapat ikut panas atau mendidih dengan cepat, dibandingkan tanpa pipa tembaga maka panas akan hanya berada pada permukaan boiler yang mengakibatkan air mendidih dengan pelan.

Langkah ketiga, membuat *furnace* atau tempat pembakaran dengan cara membuat 4 kaki boiler sebagai penyangga, kemudian ditutup dengan aluminium agar tidak terkena angin ketika pembakaran.

Langkah keempat, membuat 3 lubang pada boiler dengan masing-masing lubang buat dudukan Manometer, pipa keluran (*outlet*) tersambung dengan nosel, dan lubang masukan air (*inlet*). Penempatan Termometer ada pada atas boiler.

3.4. Pengujian dan Pengukuran

Pada tahap pengujian akan dilakukan menjadi dua jenis pengujian yaitu:

a. Pengujian turbin De Laval tanpa generator

Pengujian ini dimaksud untuk mengukur kecepatan putar maksimal turbin De Laval tanpa dikopel dengan generator. Alat ukur pengujian ini berupa Tachometer yang berfungsi mengukur kecepatan putar turbin. Turbin nantinya akan diukur kecepatan putarnya selama penurunan tekanan 5 bar sampai 2 bar, sehingga dapat diketahui grafik kinerjanya. Bahan baar yang digunakan adalah tabung gas LPG 3 Kg.

b. Pengujian turbin De Laval terkopel dengan generator

1. Pengujian tanpa beban

Pengujian ini bermaksud untuk mengetahui perbedaan kecepatan putar serta tegangan keluaran sebelum dihubungkan dengan beban. Alat ukur yang digunakan adalah multimeter.

2. Pengujian dengan beban

Pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai arus yang ada ketika diberi beban. Beban yang digunakan berupa resistor 10 ohm yang di paralel untuk mendapatkan beban 1 ohm.

3.5. Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi ini untuk mengetahui energi yang masuk dan energi yang dihasilkan dari keluaran generator. Energi yang masuk belum tentu sama dengan energi yang keluar. Hal tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor, baik itu dari sisi bahan bakar, mekanis turbin, maupun rugi-rugi yang terjadi pada generator. Sehingga perlu dilakukan perhitungan efisiensi dengan membandingkan energi yang masuk, yaitu berupa bahan bakar LPG dan energi keluaran dari generator.

1. Energi Masuk (P_{in}) = Daya yang dihasilkan LPG
2. Energi keluar (P_{out}) = Daya maksimum keluaran generator

sehingga perhitungan efisiensi dapat dihitung dengan rumus tersebut:

$$\text{Efisiensi Pembangkit } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perancangan

Hasil akhir dari perancangan dan pembuatan boiler dan turbin impuls dapat dilihat pada gambar 4,1 dan 4.2 pada berikut ini:

Turbin *De Laval* dengan sirip berbentuk “U” yang nantinya akan ditembakkan langsung oleh boiler menggunakan uap dan terus roda pulley akan berputar setara dengan turbin yang tersambung ke generator DC supaya dapat menghasilkan listrik.



Gambar 4.1 Hasil akhir turbin De Laval

Boiler dirancang dengan pipa tembaga sebagai penyalur panas pada dalaman boiler, disertai juga dengan amometer buat pengukur tekanan dan thermometer sebagai pengukur suhu. Keran besi akan berfungsi sebagai penyalur uap keluar atau *outlet* dari boiler. Bagian bawah boiler dilapiskan oleh aluminium sebagai furnace buat pembakaran gas LPG.



Gambar 4.2 Hasil Akhir dari Boiler

4.2. Hasil Pengukuran Daya Masuk (P_{in})

Pada pengujian turbin De Laval, bahan bakar yang digunakan adalah LPG dikarenakan gas LPG sangat mudah dibeli dan dapat dibakar secara mudah, dimana sudah diketahui bahwa LPG memiliki kandungan gas yang tinggi yaitu 45367402 joules. Dari persamaan 2.6 bahwa nilai kalor LPG akan didapatkan dengan hasil 351120 Joule propane. Dari hasil yang didapatkan maka perlu diketahui nilai daya masuk (P_{in}) supaya bisa dicari nilai efisiensi dari pembangkit listrik turbin De Laval. Diketahui bahwa satuan Joule = Watt Sekon (Ws) maka untuk mendapatkan daya (Watt) dapat di buat persamaan sebagai berikut:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 0.84 \cdot 4180 \cdot (130 - 30)$$

$$Q = 0.84 \cdot 4180 \cdot 100$$

$$Q = 351120 \text{ Joule (Propana)}$$

Jadi diperlukan 351120 *Joule* untuk dapat membakar boiler dengan hasil yang maksimal.

$$Q \text{ (Joule)} = P \text{ (Watt)} S \text{ (Sekon)}$$

$$P = \frac{Q}{S}$$

Dari persamaan diatas maka dapat diketahui bahwa $Q = 351,120$ joule dan karena pembakaran boiler dilakukan selama 40 menit untuk bisa mendapatkan 5 bar maka $S = 40 \times 60 = 2400$ sekon. Maka daya dapat dihitung:

$$P = \frac{351120}{2400}$$

$$P = 146.3 \text{ watt} = P_{in}$$

4.3. Pengujian Daya, Kecepatan dan Energi

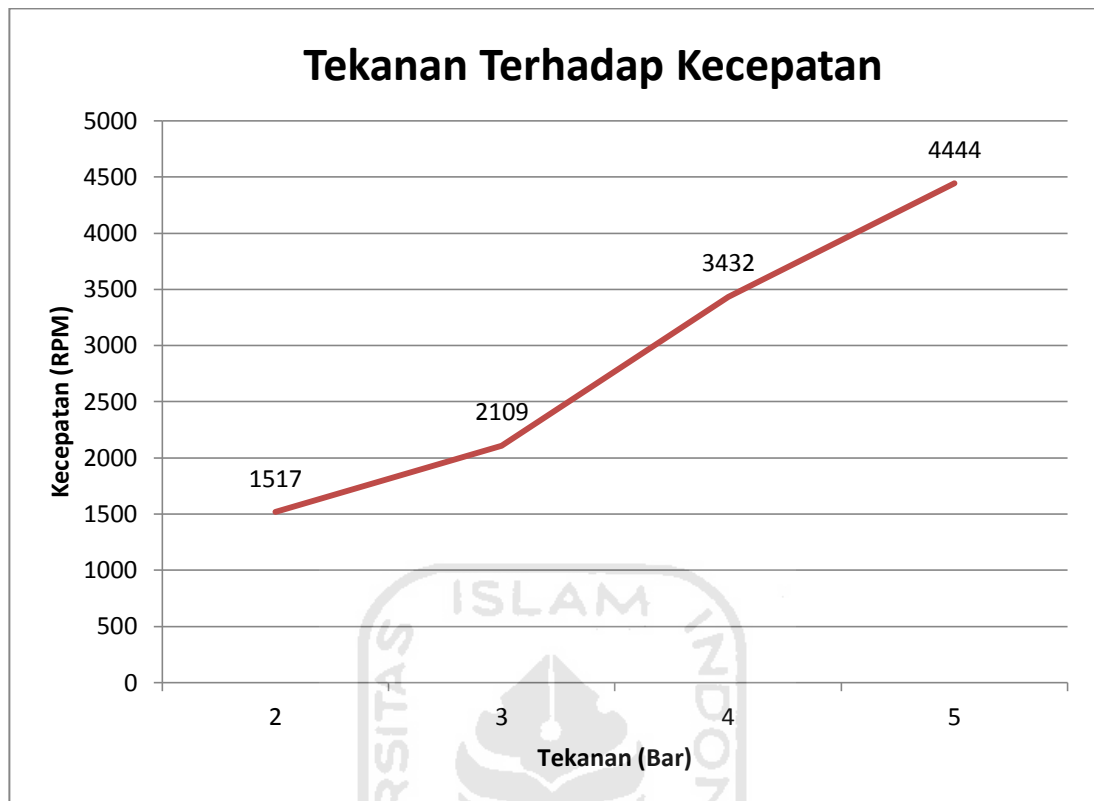
Pengujian daya, kecepatan dan energi dilakukan pada dua tahap yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban. Hasil yang dicari dari kedua pengujian adalah, RPM, Arus (I), Tegangan (V) dan Daya (P). Dari pengujian ini ada juga yang diukur yaitu tekanan (p) dan suhu (T).

4.3.1. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian ini dilakukan ketika turbin dalam keadaan tidak terkopel dengan generator supaya untuk mengetahui kecepatan putar dari turbin De Laval. Kecepatan putar akan diukur pada saat tekanan boiler mencapai 5 bar hingga mencapai 2 bar untuk mendapatkan putaran maksimal dari turbin. Satuan putaran akan diukur dengan RPM dan nilai parameternya yang diambil adalah RPM terhadap Bar atau tekanan. Berikut variasi data hasil pengukuran kecepatan putar dari turbin De Laval sebelum dikopel oleh generator yang ditunjukkan oleh table 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Kecepatan putar turbin De Laval tanpa generator

No	Tekanan (Bar)	Kecepatan (RPM)
1	5	4444
2	4	3432
3	3	2109
4	2	1517
Rata-Rata		2875



Gambar 4.3 Grafik kecepatan putar turbin De Laval tanpa beban

Berdasarkan grafik gambar 4.1 dapat diketahui ketika tekanan pada boiler mencapai 5 bar dan ditembakkan langsung melalui nosel pada turbin maka kecepatan putar maksimum bisa mencapai 4444 RPM ketika dibaca pada takometer tetapi disertai menurunnya tekanan maka kecepatan putar akan ikut menurun dan melambat. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putar turbin De Laval sangat tergantung pada tekanan yang di salurkan dalam boiler maka karena itu semakin besar energi yang di panaskan pada boiler maka semakin tinggi tekanan yang bisa dihasilkan dan ketika disalurkan pada turbin maka kecepatan putar akan sangat tinggi.

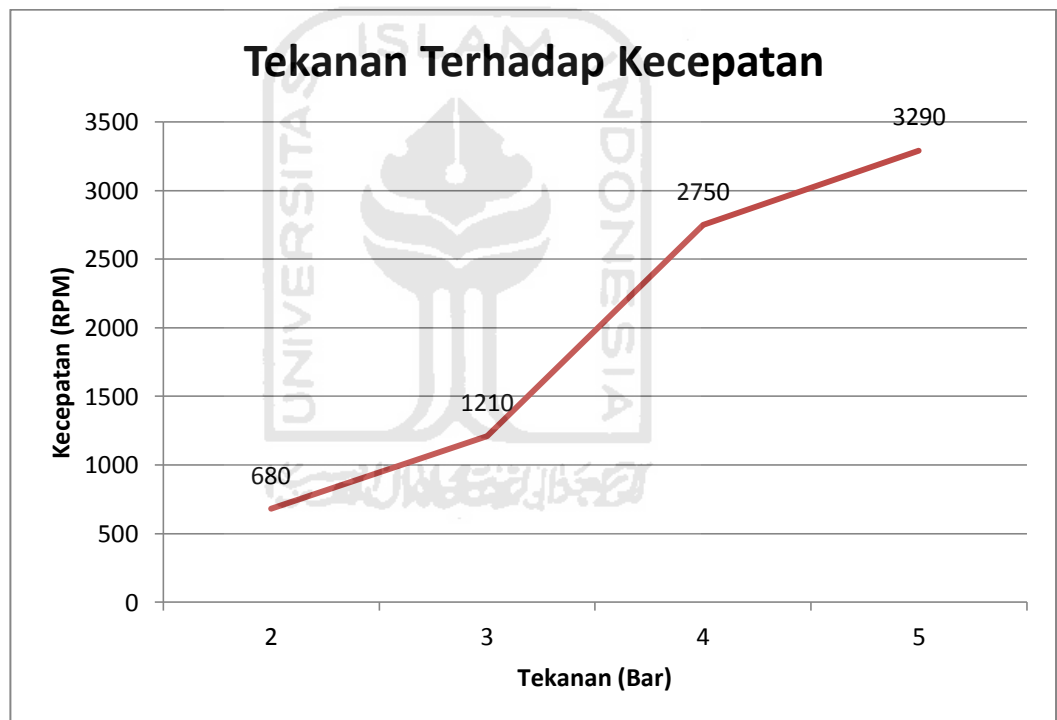
4.3.2. Pengujian Dengan Beban

Pengujian dengan beban dibagi menjadi dua pengujian, yang pertama yaitu pengujian ketika turbin terkopel dengan generator dan kedua ketika turbin terkopel dengan generator dan beban resistor 10 ohm yang di paralel.

4.3.2.1. Pengujian Terkoppel Dengan Generator

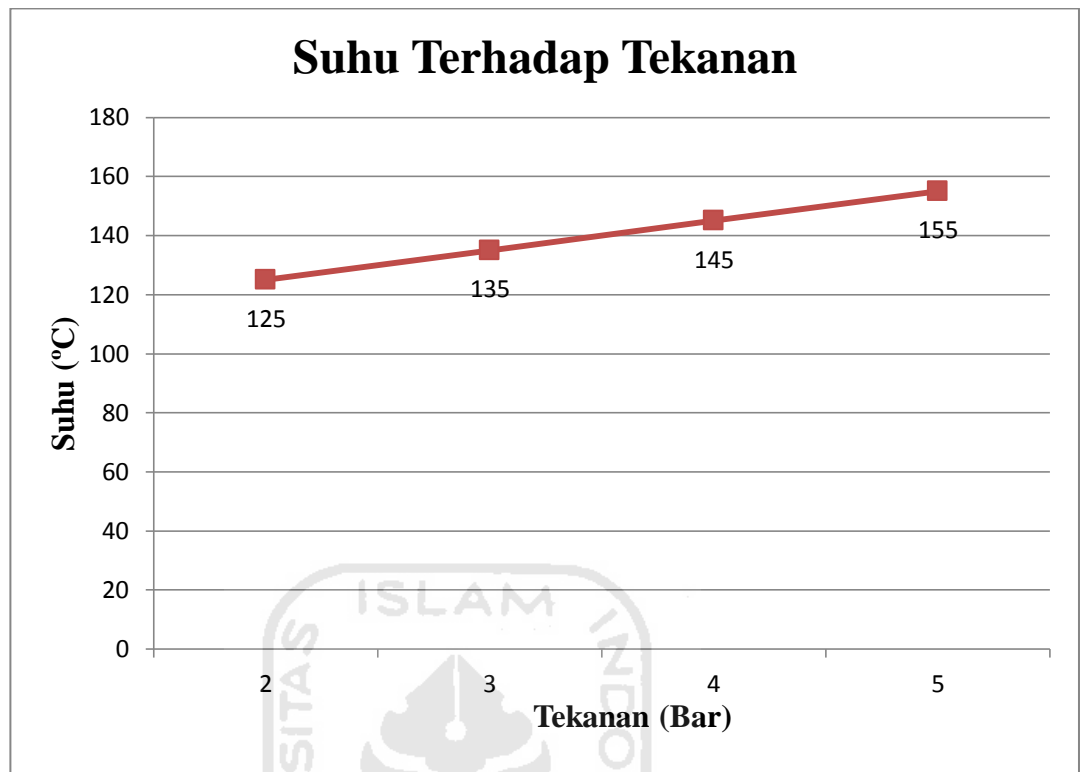
Tabel 4.2 Data pengukuran dengan generator

Tekanan (Bar)	Kecepatan (RPM)	Tegangan (Volt)	Suhu (°C)
2	680	0.55	125
3	1210	1.3	135
4	2750	1.8	145
5	3290	2.3	155



Gambar 4.4 Grafik kecepatan putar turbin De Laval dengan generator

Gambar 4.2 dan gambar 4.1 sangat berbeda karena sudah adanya beban generator, maka mudah diketahui bahwa kecepatan akan berbeda dengan tanpa adanya beban generator. Bisa dilihat dengan tekanan yang sama maka bisa mendapatkan kecepatan yang berbeda karena adanya beban yang menghambat kecepatan putar turbin.



Gambar 4.5 Grafik tekanan boiler terhadap suhu boiler

Diperlukan waktu sekitar 15 menit untuk bisa memanaskan boiler sehingga 100 °C, sesudah itu diperlukan waktu tambahan 25 menit untuk mencapai tekanan maksimum. Jadi diperlukan waktu 40 menit total untuk bisa mendapatkan tekanan maksimum dengan pemanasan yang konstan. Bisa dilihat pada gambar 4.3 bahwa pada tekanan 2 bar maka suhu boiler berada pada 125 °C, kenaikan suhu pada setiap bar adalah 10 °C dan suhu maksimum adalah 155 °C dengan tekanan maksimum 5 bar.



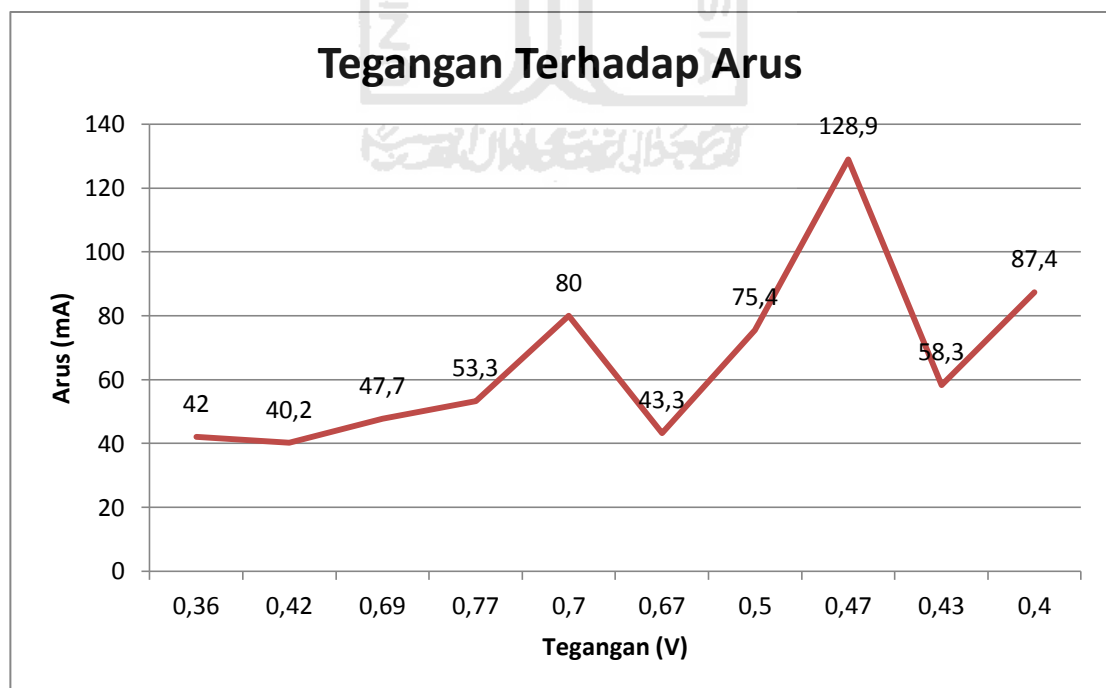
Gambar 4.6 Grafik kecepatan turbin dengan keluaran tegangan pada generator

Berdasarkan variasi nilai kecepatan putar dan tegangan yang bisa dilihat pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putar turbin De Laval maka semakin besar tegangan yang dihasilkan dari generator. Begitu pula sebaliknya, apabila kecepatan putar lambat atau mengalami penurunan maka tegangan keluaran dari generator akan mengalami penurunan.

4.3.2.2. Pengujian Terkoppel Dengan Generator dan Beban Resistor

Tabel 4.3 Data pengukuran dengan beban Resistor

Tekanan (Bar)	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Daya (mW)	Resistor (Ohm)	Suhu (°C)
5	0.36	42	15.12	0.1	155
5	0.42	40.2	16.88	0.2	155
5	0.69	47.7	32.91	0.3	155
5	0.77	53.3	41.04	0.4	155
5	0.7	80	56	0.5	155
5	0.67	43.3	29.01	0.6	155
5	0.5	75.4	37.7	0.7	155
5	0.47	128.9	60.58	0.8	155
5	0.43	58.3	25.06	0.9	155
5	0.4	87.4	34.96	1	155



Gambar 4.7 Grafik tegangan terhadap arus ketika diberi beban

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa ketika turbin hanya terkopel dengan generator tanpa diberi beban resistor paralel maka tegangan akan besar dan arus akan mengecil karena tidak ada tahanan. Sebaliknya, ketika beban diberi beban resistor dan dikopel dengan turbin maka arus cenderung membesar dan tegangan justru mengecil. Hal tersebut sesuai dengan hukum Ohm yang mengatakan bahwa ketika arus (I) yang dialiri melalui sebuah penghantar atau konduktor maka akan berbanding lurus dengan tegangan atau beda potensial (V) dan akan berbanding terbalik dengan hambatannya (R). Dengan kata lain semakin banyak jumlah resistor yang terpasang dalam rangkaian maka nilai resistansi akan semakin mendekati nol dan arus justru akan naik dan tegangan akan menurun..

4.4. Perhitungan Efisiensi Pembangkit Listrik

Dari table 4.5 diketahui daya maksimal adalah 60.58mW. Berdasarkan persamaan 3.1 maka nilai energi keluaran dan masukan atau P_{in} dan P_{out} dapat dihitung nilai efisiensinya sebagai berikut:

$$\eta = \frac{60.58mW}{146.3 W} \times 100\%$$

$$\eta = 0.041\%$$

Jadi efisiensi pembangkit listrik uap menggunakan turbin impuls adalah $\eta = 0.041\%$.

4.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai efisiensi dari pembangkit listrik diketahui sebesar 0.041%. Nilai efisiensi ini justru sangat jauh dari keinginan. Faktor penyebab kecilnya nilai efisiensi dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- a. Faktor bahan bakar yang digunakan sangat mempengaruhi proses pembangkit listrik dalam menghasilkan listrik yang lebih efisien, yaitu melalui proses pembakaran yang kurang sempurna maka akan terjadi

rugi-rugi atau nilai kalor yang dihasilkan sangat kecil maka tidak bisa efisien.

- b. Faktor boiler: bahan boiler yang kurang bagus seperti bahan yang dapat menghambat pemanasan yang kurang efektif, terutama ketikamendidihkan air hingga 100°C akan memerlukan energi yang banyak dan boros sehingga mengurangi nilai efisiensi.
- c. Faktor perancangan turbin: perancangan turbin yang kurang baik dapat mengurangi sistem kerja mekanikal turbin seperti contohnya ketika turbin dikopel dengan generator melalui pulley, hal ini sangat tidak efektif karena ada perantara. Hal yang benar adalah mengkoppel turbin dan generator dengan rotor langsung sehingga tidak ada perantara dan dapat mengurangi rugi-rugi mekanis pada kinerja turbin.

Dengan adanya faktor-faktor penyebab rendahnya efisiensi pembangkit listrik pada penelitian ini, maka besarnya energi yang masuk dalam pembangkit akan lebih kecil ketika keluar karena energi tersebut sebagian besar akan berubah menjadi rugi-rugi, yaitu rugi-rugi mekanis maupun listrik. Dengan rendahnya nilai efisiensi masih ada sisi keunggulan dari pembangkit tersebut yaitu berhasil menghasilkan listrik walaupun tidak sesuai harapan dengan kata lain dari seluruh proses yang dilalui tujuan utama dapat tercapai yaitu bagaimana merancang sebuah pembangkit listrik tenaga uap menggunakan turbin impuls dan telah terbukti bahwa pembangkit listrik tersebut dapat menghasilkan listrik dalam skala kecil, dan perlu diterapkan lagi dalam skala besar untuk bisa mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pembangkit listrik tenaga uap menggunakan turbin impuls dapat disimpulkan:

1. Kecepatan putar turbin De Laval maksimum tanpa generator adalah 4444 RPM.
2. Ketika turbin De Laval hanya terkopel oleh generator dan diberi tekanan 5 bar maka dapat menghasilkan tegangan 2.3 Volt.
3. Kecepatan putar maksimum turbin De Laval ketika terkopel dengan generator dan diberi beban resistor maka pada tekanan 5 bar dapat menghasilkan daya maksimum $60.58mW$.
4. Nilai efisiensi pembangkit listrik tenaga uap menggunakan turbin yang dibuat adalah 0.041%

5.2. Saran

1. Rancangan turbin De Laval harus dirubah terutama dengan tidak menggunakan pulley sebagai perantara kopel antara turbin dan generator, lebih baiknya kalau generator terkopel langsung melalui rotor dengan turbin De Laval.
2. Bahan boiler harus dirubah untuk mendapatkan pemanasan yang efektif, dengan catatan bahan tersebut tahan panas, mudah menyerap panas dan bisa tahan tekanan tinggi.
3. Buat penelitian kedepan untuk bisa membuat sistem Rankine atau *close loop* sistem untuk bisa menjadi pembangkit listrik yang sempurna dengan efisiensi yang tinggi dan dapat mengurangi rugi-rugi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M Pauken, PhD, “*Thermodynamics For Dummies*”, Willey Publishing Inc, Canada, 2011.
- [2] Riyaldi, “Perancangan Turbin Uap *Type Impuls* Penggerak Generator Dengan Satu Tingkat Ekstarksi, Daya Generator 10 Mw, Putaran Poros Turbin 5700 RPM”, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2008, Skripsi.
- [3] R Haryanto, “Perencanaan Turbin Uap Untuk Pembangkit Listrik Pada Pabrik Kelapa Sawit Dengan Kapasitas Olah 60 Ton TBS/Jam”, Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 2010
- [4] R.F.S., “Perancangan Turbin Uap Untuk PLTGU Dengan Daya Generator Listrik 80 MW Dan Putaran Turbin 3000 RPM”, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2009.
- [5] BM. Subakty, “Mesin dan Turbin Uap”, Mutiarasolo, Surakarta, 1985.
- [6] Junan Mutamadra, “Pemanfaatan Mesin Sterling Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2016.
- [7] Blackmer, “*Liquefied Gas Handbook*”, National Fire Protection Association, Massachusetts, 2001.
- [8] <https://ardra.biz/sain-teknologi/ilmu-kimia/menghitung-energi-kalor-bahan-bakar-gas-lpg/>
- [9] Gambar Turbin impuls:
https://www.google.co.id/search?q=turbin+impuls%5C&espv=2&biw=1280&bih=699&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiJ8-vDjY7PAhWOQpQKHeMtCJcQ_AUIBigB#tbm=isch&q=turbin+impuls&imgrc=QiPWd-Unan0aDM%3A

[10] Gambar generator DC:

https://www.google.co.id/search?q=turbin+impuls%5C&espv=2&biw=1280&bih=699&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiJ8-vDjY7PAhWOQpQKHeMtCJcQ_AUIBigB#tbm=isch&q=generator+DC&imgref=fvIVkDZ0B_sb5M%3A

[11] Gambar boiler:

https://www.google.co.id/search?q=turbin+impuls%5C&espv=2&biw=1280&bih=699&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiJ8-vDjY7PAhWOQpQKHeMtCJcQ_AUIBigB#tbm=isch&q=boiler+homemade%5C&imgref=LB1WUhLY_SuUvM%3A

[12] Gambar Molekul LPG:

<https://www.scribd.com/document/201234352/Lpg>

