

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN SISTEM INSTALASI POMPA SENTRIFUGAL
SEBAGAI TURBIN (PAT) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK SEDERHANA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

SALAMAT JUNAIDI
1307230221



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Selamat Junaidi
NPM : 1307230221
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Instalasi Pompa Sentrifugal
Sebagai Turbin (PAT) Untuk Pembangkit Listrik
Sederhana
Bidang ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Februari 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I

H. Muharnif. M, S.T., M.Sc

Dosen Penguji II

Bekti Suroso, S.T., M.Eng

Dosen Penguji III

Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV

Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Salamat Junaidi
Tempat /Tanggal Lahir : Padang Sidempuan / 26 Juni 1995
NPM : 1307230221
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Rancang Bangun Sistem instalasi Pompa Sentrifugal Sebagai Turbin (PAT) Untuk Pembangkit Listrik Sederhana”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Februari 2020

Saya yang menyatakan,



Salamat Junaidi

ABSTRAK

Pump As Turbines (PAT) merupakan inovasi tepat guna yang dapat mengubah pompa sentrifugal menjadi turbin yang menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dasar dari *Pump As Turbines* (PAT) adalah kebalikan dari kerja pompa yang biasanya pompa digunakan untuk mengalirkan air dari dataran rendah ke dataran tinggi sedangkan di *Pump As Turbines* (PAT) air dari dataran tinggi masuk ke *output* pompa dan keluar dari *input* pompa sehingga pompa menghasilkan putaran untuk menggerakkan generator, yang selanjutnya dapat dijadikan suatu alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan listrik. Pada *Pump As Turbines* (PAT) prinsip kerja pompa dibalik menjadi mesin tenaga yang mengkonversikan energi potensial menjadi energi kinetik, karena pompa digunakan sebagai pengganti turbin air.

Perancangan *Pump As Turbines* (PAT) ini dilakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. adapun hasil dari menentukan letak pompa dan generator yang dijadikan turbin pada diagram benda bebas titik/memusat adalah sebesar 44,145 N dan menentukan letak pompa sentrifugal pada rangka adalah sebesar 39,24 N. *Pump As Turbines* (PAT) ini dirancang sebuah rangka dan mengetahui faktor keamanan dari rangka menggunakan solid work dengan jumlah beban sebesar 490 N. Dan *Pump As Turbines* (PAT) ini digerakkan dengan 2 buah pompa yang di rangkai secara seri dan paralel. Adapun faktor keamanan dari rancangan rangka *Pump As Turbines* (PAT) ini di dapat 154 masih terbilang aman untuk beban sebesar 490 N.

Kata kunci: *Pump As Turbines* (PAT), Solidwork, Pompa sentrifugal

ABSTRACT

Pump As Turbines (PAT) is an effective innovation that can convert centrifugal pumps into turbines that produce electricity. The basic working principle of Pump As Turbines (PAT) is the opposite of pump work which is usually used to pump water from the lowlands to the highlands while in Pump As Turbines (PAT) water from the highlands enters the pump output and exits the pump input so that The pump produces a rotation to drive the generator, which can then be used as an alternative that can be developed to produce electricity. In Pump As Turbines (PAT) the working principle of a pump is turned into a power engine that converts potential energy into kinetic energy, because the pump is used instead of a water turbine. The design of Pump As Turbines (PAT) was carried out in the mechanical engineering laboratory of the University of Muhammadiyah, North Sumatra. The result of determining the location of pumps and generators used as turbines on point free body diagrams was 44,145 N and determining the location of centrifugal pumps on the frame was 39 , 24 N. Pump As Turbines (PAT) is designed in a frame and knows the safety factor of the framework using solid work with a total load of 490 N. And this Pump As Turbines (PAT) is driven by 2 pumps arranged in series and parallel. The safety factor of the design of the framework of Pump As Turbines (PAT) in the 154 can still be considered safe for a load of 490 N.

Keywords: Pump As Turbines (PAT), Solidwork, Centrifugal Pump

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Instalasi Pompa Sentrifugal Sebagai Turbin (PAT) Untuk Pembangkit Listrik Sederhana” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sekaligus Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak H.Muharnif.M, S.T., M.Sc, selaku Dosen Penguji I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Bekti Suroso,S.T.,M.Eng selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi, S.T.,M.T Dan Chandra A Siregar S.T.,M.T selaku Ketua Dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis.
7. Orang tua saya: Zulfikri Lubis dan Aida Norma Nasution, yang telah banyak memberikan kasih sayang, nasehatnya, doanya serta pengorbanan yang tidak dapat ternilai dengan apapun itu kepada penulis selaku anak yang dicintai dalam melakukan penulisan tugas sarjana ini.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Abang Saya Feri Alim Suhandi Lubis A.Md.Kep, Beserta Sahabat-sahabat saya Ikhsan Hakim Nasution S.Pd, Zulpahmi Husein Lubis, Ahmad Soleh Batu Bara, Reza Hasbi, Muhammad Suaib Aulia Nasution, Amir Hamjah Harahap, Ahmad Alfian Lubis, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 20 Februari 2020

Salamat Junaidi

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR NOTASI | xii |
| | |
| BAB 1 PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan masalah | 2 |
| 1.3. Batasan masalah | 3 |
| 1.4. Tujuan penelitian | 3 |
| 1.5. Manfaat penelitian | 3 |
| 1.6. Sistematika penulisan | 3 |
| | |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Pengertian Perancangan | 5 |
| 2.2. Pengertian pompa sentrifugal | 5 |
| 2.3. Klasifikasi pompa sentrifugal | 8 |
| 2.4. Alternator | 10 |
| 2.5. Turbin air | 11 |
| 2.5.1. Fungsi turbin | 12 |
| 2.5.2. Komponen turbin air | 12 |
| 2.5.3. Prinsip kerja turbin | 12 |
| 2.5.4. Klasifikasi turbin air | 13 |
| 2.6. Penggunaan pompa sebagai turbin | 16 |
| 2.7. Menentukan Letak Pompa dan Generator | 17 |
| 2.8. Menghitung Faktor Keamanan Pump as Turbines (PAT) | 18 |
| | |
| BAB 3 METODOLOGI | 19 |
| 3.1. Tempat dan Waktu | 19 |
| 3.2. Alat dan Bahan yang digunakan | 20 |
| 3.2.1. Alat yang digunakan | 20 |
| 3.2.2. Bahan | 23 |
| 3.3. Proses Pengujian | 27 |
| 3.4. Spesifikasi Pompa | 28 |
| 3.4.1. Pengujian Pompa Sebagai Turbin | 28 |
| 3.4.2. Pompa Hisap | 30 |
| 3.5. Desain Alat | 31 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.6 | Jalannya Penelitian | 31 |
| 3.6.1. | Persiapan Pendahuluan | 31 |
| 3.7 | Diagram Alir | 32 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 4.1 | Rancangan sistem | 33 |
| 4.2 | Menentukan Letak Pompa dan Generator Yang Dijadikan Turbin Pada Rangka Di Hitung Dari Bagian Samping Rangka | 34 |
| 4.3 | Menentukan letak pompa sentrifugal pada rangka dihitung dari bagian samping rangka | 37 |
| 4.4 | Menentukan titik berat konstruksi pump as turbines | 40 |
| 4.5 | Menghitung faktor keamanan dari konstruksi pump as turbines | 41 |
| 4.6 | Proses penghitungan | 43 |
| 4.7 | Penjelasan hasil analisis | 43 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN SARAN | 45 |
| 5.1. | Kesimpulan | 45 |
| 5.2. | Saran | 45 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI

SURAT KETENTUAN PEMBIMBING

BERITA ACARA

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1. Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian | 19 |
| Tabel 4.1. Hasil pengujian menggunakan solid work | 41 |
| Tabel 4.2. Hasil analisis rangka <i>pump as turbines</i> (PAT) | 42 |

DAFTAR GAMBAR

| | HAL | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Pompa Sentrifugal | |
| Gambar 2.2 | Bagian Utama Pompa Sentrifugal | 6 |
| Gambar 2.3 | Operasi rangkaian seri dan paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik sama | 8 |
| Gambar 2.4 | Operasi paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik berbeda | 9 |
| Gambar 2.5 | Altenator dengan magnet | 11 |
| Gambar 2.6 | Grafik Perbandingan Turbin | 16 |
| Gambar 2.7 | Instalasi Pompa Sebagai Turbin | 17 |
| Gambar 3.1 | Mesin Las | 20 |
| Gambar 3.2 | Mesin Gerinda | 20 |
| Gambar 3.3 | Mesin Bor | 21 |
| Gambar 3.4 | Penggaris Siku | 21 |
| Gambar 3.5 | waterpass | 22 |
| Gambar 3.6 | Kaca Mata Las | 22 |
| Gambar 3.7 | Meteran | 23 |
| Gambar 3.8 | Besi Holo | 23 |
| Gambar 3.9 | Bak Penampung Air | 24 |
| Gambar 3.10 | Pipa Ukuran 1,5 inchi | 24 |
| Gambar 3.11 | L Bow | 25 |
| Gambar 3.12 | Sambungan pipa te stuck | 25 |
| Gambar 3.13 | Roda | 26 |
| Gambar 3.14 | Flow Meter | 26 |
| Gambar 3.15 | Magnet dan Spul Motor | 27 |
| Gambar 3.16 | Keran Air | 27 |
| Gambar 3.17 | Pompa 1,5 inchi Sebagai Turbin | 29 |
| Gambar 3.18 | Pompa 1,5 inchi Sebagai Turbin | 29 |
| Gambar 3.19 | Diagram Alir | 32 |
| Gambar 4.1 | Bagian-Bagian Pump As Turbines (PAT) | 33 |
| Gambar 4.2 | Pompa PAT dan Generator Dari Samping | 34 |
| Gambar 4.3 | Pompa Sentrifugal Dari Samping | 37 |
| Gambar 4.4 | <i>ures</i> hasil pengujian menggunakan solid work | 41 |
| Gambar 4.5 | <i>von mises</i> hasil pengujian menggunakan solid work | 41 |
| Gambar 4.6 | Properti Baja ST37 di solid work | 42 |

DAFTAR NOTASI

Notasi

| | |
|----------------|---|
| σ_y | = Tegangan luluh material |
| σ_{MAX} | = Tegangan izin desain |
| x | = titik letak pusat massa dalam sumbu x |
| y | = titik letak pusat massa dalam sumbu y |
| w | = gaya berat |

Satuan

| |
|----------------------|
| (N/mm ²) |
| (N/mm ²) |
| (Cm) |
| (Cm) |
| (N) |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pump As Turbines (PAT) merupakan inovasi tepat guna yang dapat mengubah pompa sentrifugal menjadi turbin yang menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dasar dari Pump As Turbines (PAT) adalah kebalikan dari kerja pompa yang biasanya pompa digunakan untuk mengalirkan air dari dataran rendah ke dataran tinggi sedangkan di Pump As Turbines (PAT) air dari dataran tinggi masuk ke *output* pompa dan keluar dari *input* pompa sehingga pompa menghasilkan putaran untuk menggerakkan generator, yang selanjutnya dapat dijadikan suatu alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan listrik. Pump As Turbines (PAT) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti sumber air atau saluran air dengan cara memanfaatkan ketinggian air (head) dan jumlah debit air (Q). Pada Pump As Turbines (PAT) prinsip kerja pompa dibalik menjadi mesin tenaga yang mengkonversikan energi potensial menjadi energi kinetik, karena pompa digunakan sebagai pengganti turbin air.

Selanjutnya sebuah Pump As Turbines (PAT) agar bisa menghasilkan sebuah listrik dapat dilakukan dengan perancangan / rancang bangun konstruksi yang mendukung proses pembuatan Pump As Turbines (PAT). Dalam pemakaiannya kita harus menentukan kondisi dan penempatan Pump As Turbin (PAT) yang ditinjau dari ketinggian yang menggunakan sebuah tangki dan meletakkan Pump As Turbin (PAT) dan instalasi pipa. Dalam aplikasi Pump As Turbines (PAT) sangat membutuhkan konstruksi untuk meningkatkan head dan untuk meningkatkan debit yang banyak .oleh sebab itu berbagai asumsi dapat dilakukan sebuah instalasi pengujian Pump As Turbin ini menggunakan pompa yang disusun seri maupun pompa yang disusun secara paralel.

Dan untuk mendorong Pump As Turbines (PAT) peletakan pompa sebagai head dan pompa sebagai peningkatan debit harus sejalan dengan instalasi pipa yang dibuat.

Dari uraian latar belakang di atas maka dibuat pembangkit listrik yang efektif dan efisien sebagai bahan penelitian dengan menggunakan pembangkit listrik metode Pump As Turbines (PAT).

Atas dasar itu sebagai seorang mahasiswa tingkat akhir dituntut dapat menemukan ide atau konsep dan cara mengatasi masalah sesuai jurusan dan disiplin ilmu yang dipelajari, Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis bersama tim mempunyai ide untuk merancang sebuah sistem pembangkit tenaga air yang memanfaatkan ketinggian jatuh air dan jumlah debit yang maksimal. konstruksi untuk hal tersebut dapat dilakukan seefisien mungkin yaitu tanpa ketinggian jatuh tapi memanfaatkan sebuah pompa untuk mendorong Pump As Turbines (PAT) dengan susunan seri dan parallel.

Dari uraian latar belakang di atas maka Pump As Turbines (PAT) digerakkan oleh air, dan untuk mencerminkan itu digunakan lah pompa untuk mendorong Pump As Turbines (PAT) agar dijatuhkan air. Maka dirancanglah *“RANCANG BANGUN SISTEM INSTALASI POMPA SENTRIFUGAL SEBAGAI TURBIN (PAT) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK SEDERHANA”*.

1.2. Rumusan masalah

1. Bagaimana merancang/mendesain Pump As Turbines (PAT) yang akan dibuat.
2. Bagaimana memilih material yang digunakan dalam perancangan dan faktor keamanan dari Pump As Turbines (PAT)
3. Bagaimana memilih jenis pompa yang digunakan sebagai Pump As Turbines (PAT) dan pompa yang digunakan untuk mendorong secara seri dan parallel.

1.3. Batasan masalah

1. Pump As Turbine (PAT) ini di rancang di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan ruang dan tempat yang tersedia.
2. Konstruksi set up tersebut mampu untuk menghasilkan head dan debit yang dibutuhkan oleh Pump As Turbines (PAT).

1.4. Tujuan penelitian

1. Mengetahui jenis material yang akan dipilih untuk pembuatan rangka Pump As Turbines (PAT)
2. Menghasilkan konstruksi Pump As Turbines (PAT) yang sederhana dan mudah di operasikan.
3. Mengetahui pompa sentrifugal seperti apa yang layak digunakan untuk dijadikan sebagai turbin.

1.5. Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari alat yang dirancang adalah :

1. Mengetahui dan mempelajari teknik instalasi Pump As Turbines (PAT)
2. Dapat mensimulasikan sebuah sistem pembangkit (PAT) secara sederhana.

1.6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan dibuat dalam 5 bab dengan pembahasan masing-masing bab adalah sebagai berikut.

1. Bab 1.

Pembahasan tentang latar belakang perumusan masalah, tujuan penelitian ,pembatasan masalah dan manfaat penelitian sistematika dan metodologi yang digunakan.

2. Bab 2.

Uraian tentang teori-teori pendukung yang ada dan berkaitan dgn pembahasan yang sedang dibuat.

3. Bab 3.

Pembahasan tentang metodologi ,lokasi penelitian ,peralatan pendukung serta bahan2 ,prinsip kerja ,diagram blok sistem dan flowchart sistem.

4. Bab 4.

Pembahasan tentang hasil rancangan ,yaitu hasil pengujian ,analisa dan sebagainya.

5. Bab 5.

Kesimpulan dan saran ,yaitu tentang kesimpulan hasil pengujian dan saran untuk menyempurnakan maupun mengembangkan sistem.

BAB 2

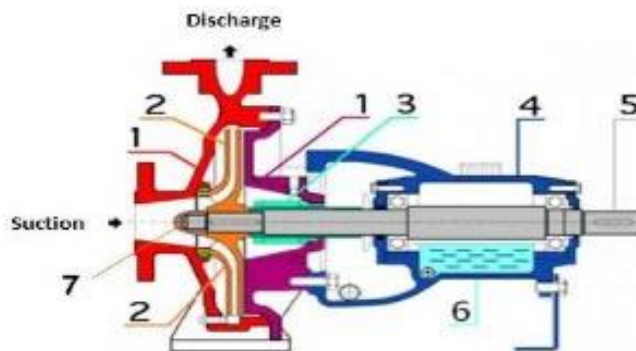
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Perancangan

Perancangan adalah kegiatan awal dari satu rangkaian dari pembuatan produk. Tahap perancangan tersebut dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan-kegiatan lain yang menyusulnya. Sebelum sebuah produk dibuat terlebih dahulu dilakukan proses perancangan yang nantinya menghasilkan sebuah gambar sketsa atau gambar sederhana dari produk yang akan dibuat kemudian digambar kembali dengan aturan gambar sehingga dapat dimengerti oleh semua orang yang ikut terlibat dalam proses pembuatan produk tersebut.

2.2. Pengertian Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah suatu mesin kinetis yang mengubah energi mekanik menjadi energi fluida menggunakan gaya sentrifugal. Pompa sentrifugal terdiri dari sebuah cakram dan terdapat sudu-sudu, arah putaran sudu-sudu itu biasanya dibelokkan ke belakang terhadap arah putaran.



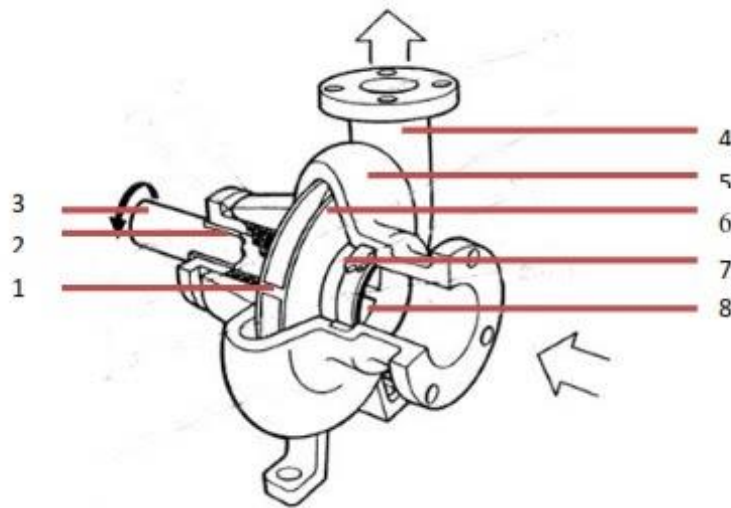
Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal

Keterangan :

1. *Casing*
2. *Impeller*
3. *Shaft seal*
4. *Bearing Housing*
5. *Shaft*
6. *Lubricating reservoir*
7. *Eye of impeller*

Fungsi Bagian-Bagian Utama Pompa Sentrifugal

Bagian-Bagian utama dari pompa sentrifugal.



Gambar 2.2. Bagian Utama Pompa Sentrifugal

Keterangan :

1. *Valve*
2. *Packing*
3. *Shaft*

4. *Discharge nozzle*
5. *Casing*
6. *Impeller*
7. *Bearing*
8. *Eye of impeller*

Fungsi dari bagian-bagian pompa sentrifugal adalah

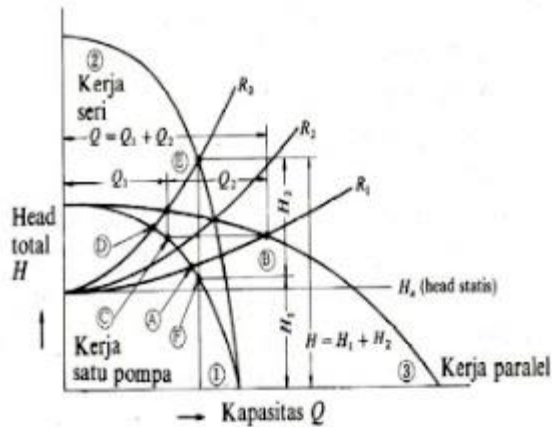
- *Valve* adalah impeller yang berfungsi sebagai tempat berlalunya cairan pada impeller.
- *Packing* digunakan untuk mencegah dan mengurangi kebocoran cairan dari casing pompa yang berhubungan dengan poros, biasanya terbuat dari Asbes atau Teflon.
- *Shaft* atau Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat tumpuan impeller dan bagian-bagian lainnya yang berputar.
- *Discharge nozzle* adalah bagian dari pompa yang berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida hasil pemompaan.
- *Casing* merupakan bagian luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen di dalamnya.
- *Impeller* berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan/fluida yang dipompa secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan/fluida yang masuk sebelumnya.
- *Bearing* atau Bantalan berfungsi untuk menumpu atau menahan beban dari poros agar dapat berputar. Bearing juga berfungsi untuk memperlancar putaran poros dan menahan poros agar tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek dapat diperkecil.
- *Eye of impeller* adalah bagian masuk pada arah hisap impeller

2.3. Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Klasifikasi Menurut Rangkaian

Menurut rangkaiannya, operasi rangkaian dibedakan menjadi operasi rangkaian seri dan paralel.

Operasi Rangkaian Seri dan Paralel dari Pompa-Pompa dengan Karakteristik Sama.



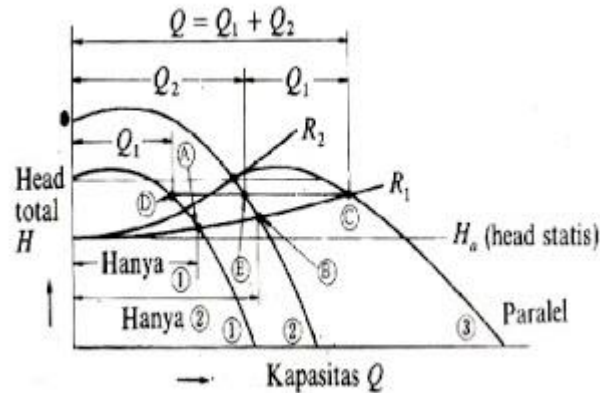
Gambar 2.3. Operasi rangkaian seri dan paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik sama

Gambar di atas menunjukkan karakteristik sama dari pompa yang dipasang secara seri dan paralel. Untuk pompa tunggal diberi tanda (1), pompa seri (2), dan pompa paralel (3). Untuk rangkaian seri menghasilkan head kurva 2 diperoleh dari harga head kurva 1 dikalikan dua untuk kapasitas Q yang sama. Kurva untuk susunan paralel diberi tanda 3, harga kapasitas Q kurva 3 ini diperoleh dari harga kapasitas pada kurva 1 dikalikan dua untuk head yang sama. Kurva R3 menunjukkan tahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan R1 dan R2.

Jika sistem mempunyai kurva head kapasitas R maka titik kerja pompa 1 akan berada di A, jika disusun paralel pada kurva 3 maka titik kerjanya akan berada di B. Terlihat bahwa Q di titik B tidak sama dengan dua kali Q di titik A, ini terjadi karena ada kenaikan head sistem.

Rangkaian seri digunakan untuk menaikkan head, sedangkan paralel untuk menaikkan kapasitas aliran.

Operasi Paralel dari Pompa-Pompa dengan Karakteristik Berbeda



Gambar 2.4. Operasi paralel dari pompa-pompa dengan karakteristik berbeda.

Gambar diatas menunjukkan bahwa pompa 1 mempunyai kapasitas yang lebih kecil daripada pompa 2, jika dipasang paralel akan menghasilkan kurva karekteristik 3. Untuk kurva head kapasitas sistem R akan dicapai titik operasi paralel di C dengan laju aliran total sebesar Q, pompa 1 beroperasi di titik D dengan kapasitas Q1 dan pompa 2 beroperasi di E dengan kapasitas Q2. Laju aliran total $Q = Q_1 + Q_2$. Jika kurva head kapasitas sistem naik lebih curam daripada R maka pompa 1 tidak dapat menghasilkan aliran karena head yang dimiliki tidak cukup tinggi untuk melawan head sistem, bahkan jika head sistem lebih tinggi daripada head pompa maka aliran akan membalik masuk ke dalam pompa 1.

2.4. Alternator

Alternator adalah suatu alat elektromekanikal yang mengkonversi daya mekanis menjadi energi elektrik. Pada prinsipnya generator dapat juga disebut sebagai alternator, tetapi biasanya alternator lebih mengacu pada bentuk yang lebih kecil yang biasa digunakan pada otomotif. Fungsi utama dari alternator adalah sebagai baterai pada kendaraan, dan pada saat mesin motor berputar, alternator bertugas memberi tenaga kepada semua komponen elektrik yang lain. Alternator memiliki 4 bagian yang penting, yaitu :

1. Rotor

Yang dimaksud rotor adalah bagian yang berputar yang terdiri dari magnet permanent, rotor berputar disekitar stator.

2. Stator

Bagian ini adalah bagian yang statis, yang berupa inti besi yang dibungkus dengan kawat tembaga.

3. Dioda

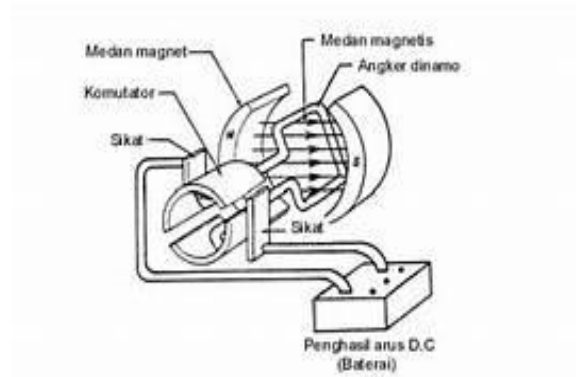
Dioda mengkonversi arus bolak-balik yang dihasilkan oleh pasangan rotor dan stator menjadi arus searah yang digunakan sebagai baterai yang kemudian dapat menggerakkan semua komponen elektrik yang ada pada kendaraan.

4. Pengatur Tegangan

Pada bagian ini dapat mengontrol jumlah voltase yang diberikan oleh alternator.

Arus yang dihasilkan pada alternator dapat diperoleh dengan dua cara yaitu, magnet berputar didalam coil (lilitan) atau coil berputar pada medan magnet yang diciptakan oleh magnet. Besarnya arus yang dihasilkan oleh alternator tergantung pada kecepatan baling-baling, kekuatan medan magnet, dan ukuran dari coil. Semakin tegak lurus medan magnet terhadap lilitan coil, maka semakin besar arus elektrik dan keluaran energinya.

Altenator menghasilkan listrik dengan prinsip yang sama pada DC generator, yakni adanya arus pengumpan yang disebut arus eksitasi saat terjadi medan magnet disekitar kumparan.



Gambar 2.5. Altenator dengan magnet

Arus yang keluar (I) dari altenator dan tegangan yang keluar (V) dari altenator dapat diukur untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan yaitu :

$$P = V \times I$$

dengan :

$$P = \text{daya listrik (kW)}$$

$$V = \text{tegangan listrik (volt)}$$

$$I = \text{arus listrik (ampere)}$$

2.5. Turbin Air

Pengertian Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

2.5.1. Fungsi Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.

2.5.2 Komponen Turbin Air

a. Rotor, yaitu bagian yang berputar pada sistem yang terdiri dari :

- Sudu-sudu, berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh nozzle
- .-Poros, berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
- Bantalan, berfungsi sebagai perapat-perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.

b. Stator, yaitu bagian yang diam pada sistem yang terdiri dari :

- Pipa pengarah / nozzle yang berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan fluida yang digunakan didalam sistem besar.
- Rumah turbin, berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen turbin.

2.5.3. Prinsip kerja turbin air

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh nozzle. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

2.5.4. Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

a. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar.

Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozle tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton.

b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam airdan berada dalam rumah turbin.

Turbin reaksi disebut juga dengan turbin tekanan lebih karena tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk ke roda turbin mempunyai energi penuh,

kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air kesaluran pembuangan. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan antara lain, turbin francis, turbin propeler atau Kaplan.

Berdasarkan arah alirannya, turbin dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu turbin aliran radial dan turbin aliran aksial.

a. Turbin Aliran Radial

Turbin aliran radial adalah turbin yang arah alirannya tegak lurus dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran radial digunakan untuk laju alir (aliran working fluid) rendah dan dengan perbedaan tekanan (difference pressure) tinggi.

b. Turbin Aliran AksialTurbin yang sejajar dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran aksial digunakan untuk laju alir tinggi dan dengan perbedaan tekanan rendah (1 –40 bar). Axial-flow turbines kebanyakan digunakan dalam aplikasi yang melibatkan fluida kompresibel. Dalam banyak penggunaan, efisiensi Axial-flow turbines lebih tinggi dibandingkan radial-inflow turbines.

Adapun macam-macam turbin air antara lain :

a. Turbin Pelton

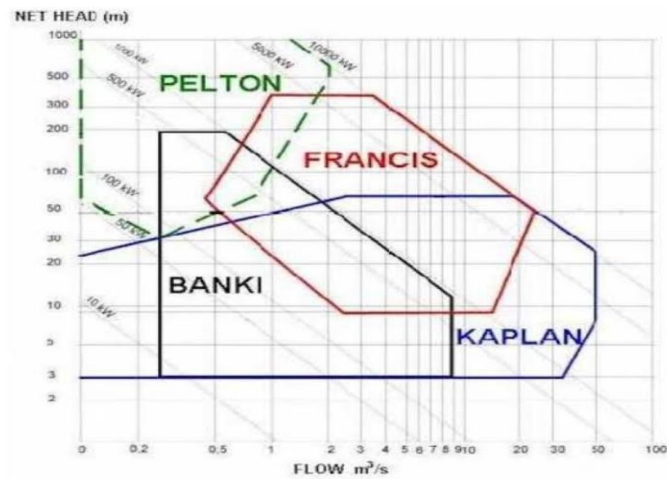
Turbin Pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin.Perubahan energi ini dilakukan didalam nozzle dimana air yang semula mempunyai energi potensial yang tinggi diubah menjadi energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari nozzle akan menumbuk bucket yang dipasang tetap sekeliling runner dan garis pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat bucket. Kecepatan keliling dari bucket akibat tumbukan yang terjadi tergantung darijumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air di atas nozzlenya serta effisiensinya.Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan oleh nozzle.

Turbin pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi. Bentuk sudu turbin terdiri dari 2 bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping.

Keuntungan turbin pelton :

1. Daya yang dihasilkan besar.
2. Konstruksi yang sederhana.
3. Mudah dalam perawatan.
4. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian turbin pelton : Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak. Turbin pelton digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau nosel. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Pada waktu melewati roda turbin, energi kinetik dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi terlepas dan sebagian lagi digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin.



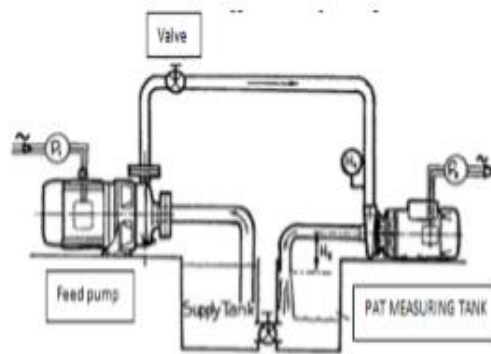
Gambar 2.6. Grafik Perbandingan Turbin

2.6. Penggunaan Pompa Sebagai Turbin

Secara teknis Pump As Turbines (PATs) memiliki 3 komponen utama yaitu Air (sumber energi), turbin air (pada penelitian ini menggunakan Pompa Sentrifugal sebagai turbin) dan generator.

Pump As Turbines (PATs) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit air. Air dialirkan (dijatuhkan) melalui sebuah pipa ke dalam pompa untuk menggerakkan impeller yang ada di dalam pompa tersebut, energi mekanik yang berasal dari putaran impeller pompa akan diteruskan dan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Salah satu alternatif yang ekonomis untuk membangun pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah dengan menggunakan pompa sebagai turbin. Bidang ilmu yang khusus mengoperasikan pompa sebagai turbin ini sering disebut dengan istilah *Pump as turbines*.

jarang yang tahu bahwa beberapa tipe pompa air dapat di aplikasikan sebagai turbin air, biasanya pompa digerakkan oleh motor listrik untuk menaikkan sejumlah air sampai ketinggian tertentu. Pada aplikasi pompa sebagai turbin prinsip kerja pompa di balik yaitu diberi jatuhan air dari ketinggian tertentu untuk memutar impeller pompa, putaran impeller ini akan diteruskan untuk memutar generator sehingga dihasilkan tenaga listrik.



Gambar 2.7. Instalasi Pompa Sebagai Turbin

2.7. Menentukan Letak Pompa dan Generator

Dalam menentukan letak pompa dan generator sangat diperlukan dalam pump as turbines ini yang dimana dihitung dari diagram benda bebas beban terpusat, diagram benda bebas reaksi tumpuan dan diagram gaya lintang.

Adapun rumus untuk menentukan pompa dan generator adalah :

$$x = \frac{\sum Xi . Wi}{\sum Wi} \quad y = \frac{\sum yi . Wi}{\sum Wi}$$

Dengan : x = titik letak pusat massa dalam sumbu x

y = titik letak pusat massa dalam sumbu y

w = gaya berat (N)

i = 1,2,3.....

Untuk keseimbangan suatu benda tegar secara analitis adalah:

Jumlah gaya arah x = 0 ($\sum fx = 0$)

Jumlah gaya arah y = 0 ($\sum fy = 0$)

Jumlah momen = 0 ($\sum m = 0$)

2.8. Menghitung Faktor Keamanan Pump as Turbines (PAT)

Untuk menghitung faktor keamanan pump as turbines ini adalah menggunakan solidwork dan dengan rumus perhitungan $SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}$

σ_y =tegangan luluh material

σ_{max} =tegangan ijin desain

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Tempat pembuatan alat Pump As Turbines (PAT) Dan proses pengujian dilaksanakan di,kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl Kapten Mukhtar Basri. No.3 Glugur Darat II, Medan Timur.20238.

Waktu pembelian bahan dan pembuatan alat Pump As Turbines (PAT) dimulai dari tanggal 27 April 2019 s/d 7 November 2019.

Tabel 3.1 : Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

| No | Kegiatan | Sep | Okt | Nov | Des | Jan | Feb |
|----|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | Mulai | | | | | | |
| 2 | Studi literature | | | | | | |
| 3 | Persiapan material dan peralatan | | | | | | |
| 5 | Pembuatan benda uji | | | | | | |
| 6 | Mulai pengujian | | | | | | |
| 7 | Pengolahan data | | | | | | |
| 8 | Hasil | | | | | | |
| 9 | Seminar dan sidang | | | | | | |

3.2. Alat dan Bahan yang digunakan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam Rancang bangun system instalasi pompa sentrifugal sebagai turbin (PAT) untuk pembangkit listrik sederhana adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat yang digunakan

1. Mesin Las

Mesin ini digunakan untuk menyambung rangka dalam pembuatan PAT



Gambar 3.1. Mesin Las

2. Mesin Gerinda

Mesin ini digunakan untuk memotong besi yang digunakan pada rangka PAT



Gambar 3.2. Mesin Gerinda

3. Mesin Bor

Mesin ini digunakan untuk membuat lobang pada rangka untuk membuat dudukan pompa



Gambar 3.3. Mesin Bor

4. Penggaris Siku

Digunakan untuk membuat dan menentukan tegak lurus untuk mengukur sudut rangka supaya tegak lurus.



Gambar 3.4. Penggaris Siku

5. Waterpass

Digunakan untuk mengukur atau menentukan posisi rata pada rangka



Gambar 3.5. Waterpass

6. Kaca Mata Las (Safety)

Digunakan untuk menutupi area di sekitar mata, dan dapat melindungi mata dari debu dan percikan dari api pengelasan.



Gambar 3.6. Kaca Mata Las (safety)

7. Meteran

Digunakan untuk mengukur panjang besi yang mau dipotong untuk rangka



Gambar 3.7. Meteran

3.2.2. Bahan

1. Besi Holo

Digunakan untuk pembuatan rangka pada Rancang bangun system instalasi pompa sentrifugal sebagai turbin (PAT) untuk pembangkit listrik sederhana dilakukan



Gambar 3.8. Besi Holo

2. Bak Penampung Air

Digunakan untuk menampung air yang akan dihisap oleh pompa



Gambar 3.9. Bak Penampung Air

3. Pipa Ukuran 1,5 Inchi

Digunakan untuk menghisap dan membuang air pada pompa



Gambar 3.10. Pipa Ukuran 1,5 inchi

4. L bow

L bow berfungsi untuk menyambungkan pipa dengan arah melengkung, dengan kelengkungan 90°.



Gambar 3.11. L bow

5. sambungan pipa tee stuck

Berfungsi untuk menyambungn pipa dengan dua arah yang berbeda



Gambar 3.12. Sambungan pipa te stuck

6. Roda

Digunakan untuk kaki pada rangka supaya mudah di pindahkan



Gambar 3.13. Roda

7. Flow Meter

Digunakan untuk mengetahui atau menghitung debit aliran

Spesifikasi:

Ukuran : 1 Inch (25MM)

Ketepatan : 2%

Max Flow rate $Q_{max}(m^3h)$: 7

Tingkat Arus Minimal $Q_n (m^3jam)$: 3,5

Tingkat Aliran Minimum $Q_{min} (m^3jam)$: 0,28

Tekanan Kerja (Batangan) : 10

Memulai Tingkat Aliran : 0,020

Baca Max (m^3) : 99999,9999

Min Reading (m^3) : 0,0001



Gambar 3.14. Flow Meter

8. Magnet dan spul motor

Magnet dan spul motor berfungsi sebagai generator penghasil arus listrik.



Gambar 3.15. Magnet dan spul motor

9. keran air

Berfungsi sebagai pengatur arah aliran air pada sistim instalasi pompa sebagai turbin



Gambar 3.16. keran air

3.3. Proses Pengujian

Salah satu alternatif yang ekonomis untuk membangun pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah dengan menggunakan pompa sebagai turbin. Biasanya pompa digerakkan oleh motor listrik untuk menaikkan sejumlah air sampai ketinggian tertentu. Pada aplikasi pompa sebagai turbin, prinsip kerja pompa dibalik yaitu diberi jatuhnya air dari ketinggian tertentu untuk memutar impeller pompa. Putaran impeler ini akan diteruskan untuk memutar generator sehingga dihasilkan tenaga listrik.

Aliran air yang digunakan berasal dari pompa dipompakan ke atas oleh satu unit pompa pengumpan. Kapasitas aliran (debit) air yang akan diumpankan dapat diatur melalui sebuah katup pengatur (gate valve) sesuai dengan kebutuhan. Gaya gravitasi menyebabkan fluida cair mengalir dari satu tempat yang relatif tinggi menuju tempat yang relatif lebih rendah. Aliran air yang jatuh dari pipa memiliki energi potensial sehingga akan menimbulkan daya air yang diberikan kepada pompa sentrifugal sebagai energi input.

Kemudian daya air ini akan masuk melalui saluran discharge (sisi buang) pada pompa dan memutar impeller (balingbaling) pompa. Maka zat cair mendorong sudu-sudu agar dapat berputar sehingga daya impeller akan diberikan untuk memutar poros pompa. Zat cair yang keluar melalui impeller akan disalurkan keluar pompa melalui saluran suction (sisi hisap).

Dari uraian di atas, jelas bahwa penggunaan pompa sebagai turbin (PAT) dapat mengubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Selanjutnya daya poros ini akan diteruskan oleh suatu sistem transmisi (dalam hal ini digunakan transmisi sabuk) ke generator dan diubah menjadi energi listrik.

3.4. Spesifikasi Pompa

3.4.1. Pengujian Pompa Sebagai Turbin

Pompa yang digunakan dalam instalasi Rancang bangun system instalasi pompa sentrifugal sebagai turbin (PAT) untuk pembangkit listrik sederhana ini terdiri dari tiga unit pompa sentrifugal. Pompa yang digunakan berukuran 1,5 inci dan, disesuaikan dengan instalasi saluran pipa yang telah ada yaitu berukuran 1,5 inci.



Gambar 3.17. Pompa 1,5 inchi sebagai turbin



Gambar 3.18. Pompa 1,5 Inchi Sebagai Turbin

Adapun spesifikasi pompa sentrifugal 1,5 inchi yang digunakan dalam Rancang bangun system instalasi pompa sentrifugal sebagai turbin (PAT) untuk pembangkit listrik sederhana ini adalah:

| |
|--|
| Spesifikasi pompa : |
| YAMAMAX PRO DB-401 |
| Daya pompa : 450 v / 1,5 hp /1100 w. Kapasitas :267 L/m |
| daya hisap : 7 m Tinggi aliran :18 m |

3.4.2. Pompa Hisap

Pompa hisap yang digunakan dalam instalasi Rancang bangun system instalasi pompa sentrifugal sebagai turbin (PAT) untuk pembangkit listrik sederhana ini ada dua pompa sentrifugal dengan spesifikasi sebagai berikut :



| |
|-------------------------------------|
| Spesifikasi Pompa : |
| SAN – EI - 401A |
| Daya : 0,40 Kw / 0,50 HP / 400 Watt |
| Head total : 17 m |
| Tinggi isap : 8 m |
| Tinggi dorong : 9 m |
| Kapasitas : 340 l/min |
| Volt : 220 volt |



| |
|-----------------------------------|
| Spesifikasi pompa |
| MAXON MHF-5C |
| Daya pompa : 220 v / 1 hp /1100 w |
| Kapasitas : 400 L/m |
| Head total : 14 m |

3.5. Desain Alat

Desain alat yang digunakan pada penelitian ini adalah desain alat yang sederhana. Alat yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari dua buah pompa hisap dengan susunan seri dan susunan paralel menuju pompa yang dijadikan pompa sebagai turbin.

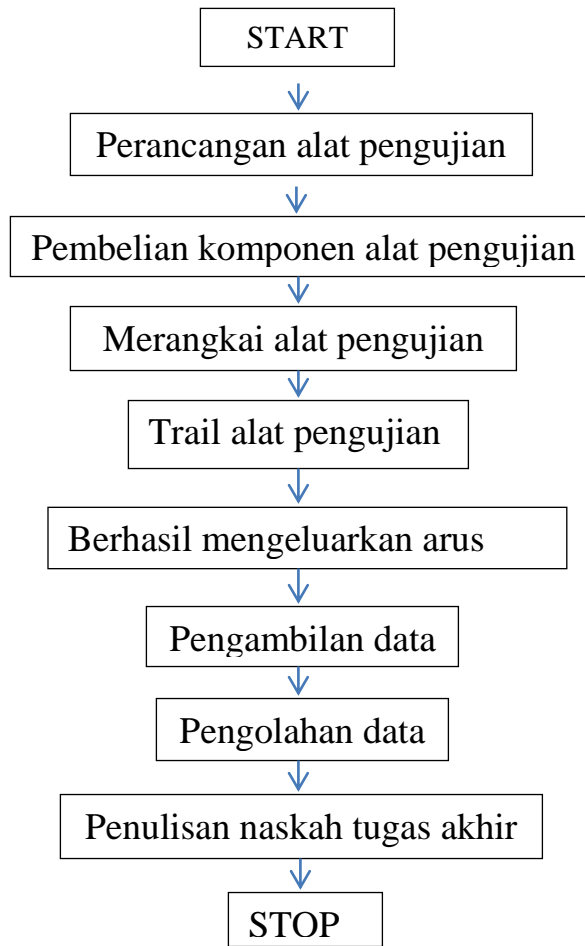
3.6. Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu tahap persiapan dan tahap pelaksanaan penelitian.

3.6.1. Persiapan Pendahuluan

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat rancangan sistem pompa sebagai turbin (PAT) dan rangkaian instalasi pipa sebagai saluran air dari bak penampungan air ke pompa. Selanjutnya adalah pemasangan pada sisi masuk pompa sebagai turbin. Dari pengalaman yang dialami, tersita banyak waktu untuk pembuatan alat pengujian. Setelah rangkaian terpasang, selanjutnya membuat dudukan untuk mesin pompa sebagai turbin dan alternator.

3.7. Diagram Alir



Gambar 3.19. Diagram Alir

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rancangan Sistem

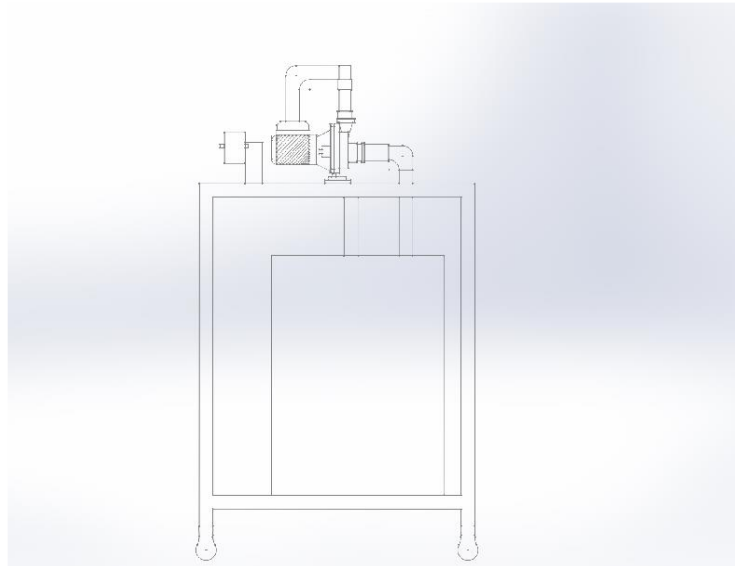


Gambar 4.1. Bagian-Bagian Pump As Turbine (PAT)

Keterangan :

1. Pompa sentrifugal yang dijadikan turbin.
2. Generator.
3. Bola lampu.
4. Bak air.
5. Roda untuk rangka.
6. Pipa ukuran.
7. Rangka.
8. Penutup saluran pipa / kran.

- 9. Pompa sentrifugal.
 - 10. Pompa sentrifugal.
 - 11. Sambungan pipa L.
 - 12. Flow meter.
- 4.2. Menentukan Letak Pompa dan Generator Yang Dijadikan Turbin Pada Rangka Di Hitung Dari Bagian Samping Rangka



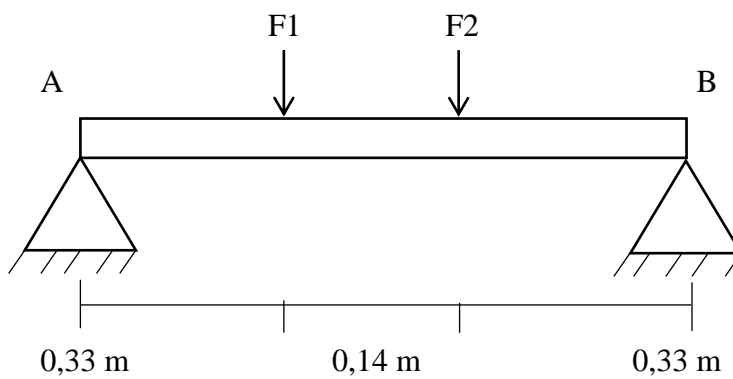
Gambar 4.2. Pompa PAT dan Generator Dari Samping

Diketahui :

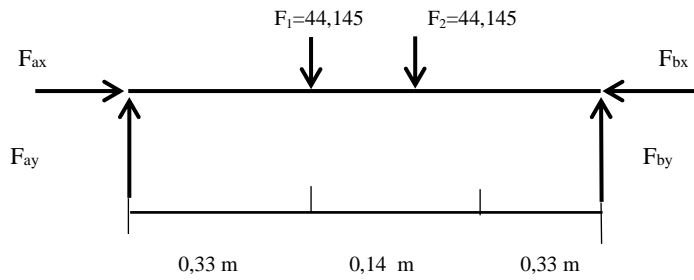
Berat pompa= 9 kg = 9 x 9.81 = 88,29 N

Panjang baja profil L = 80 cm

1. Diagram benda bebas beban titik/memusat



2. Diagram Benda Bebas Reaksi Tumpuan



Penyelesaian :

$$\Sigma F_{x,y} = 0$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{ax} - F_{bx} = 0$$

$$F_{ax} = F_{bx}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{ay} - F_1 - F_2 + F_{By} = 0$$

$$F_{ay} - 44,145 \text{ N} - 44,145 \text{ N} + F_{by} = 0$$

$$F_{ay} - 88,29 \text{ N} + F_{by} = 0$$

$$F_{ay} + F_{by} = 88,29 \text{ N}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$M = F \cdot d$$

$$- F_1 \cdot 0,33\text{m} - F_2 \cdot 0,47 \text{ m} + F_{by} \cdot 1\text{m} = 0$$

$$- 14,56 \text{ m} - 20,74 \text{ m} + F_{by} \cdot 1\text{m} = 0$$

$$- 44,145 \text{ N} + F_{by} = 1\text{m}$$

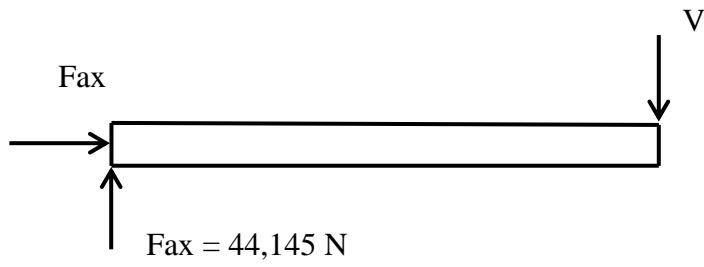
$$F_{by} \cdot 1\text{m} = \frac{44,145 \text{ Nm}}{1\text{m}} = 44,145$$

$$F_{ay} + F_{by} = 88,29 \text{ N}$$

$$F_{ay} + 44,1 \text{ N} = 88,29 \text{ N}$$

$$F_{ay} = 88,29 \text{ N} - 44,145 \text{ N} = 44,145 \text{ N}$$

3. Diagram Gaya Lintang

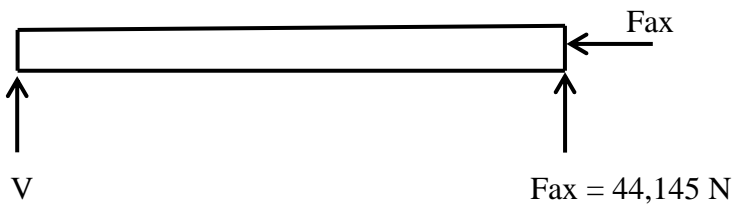


$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{Ay} - V = 0$$

$$V = F_{Ay}$$

$$= 44,1 \text{ N}$$



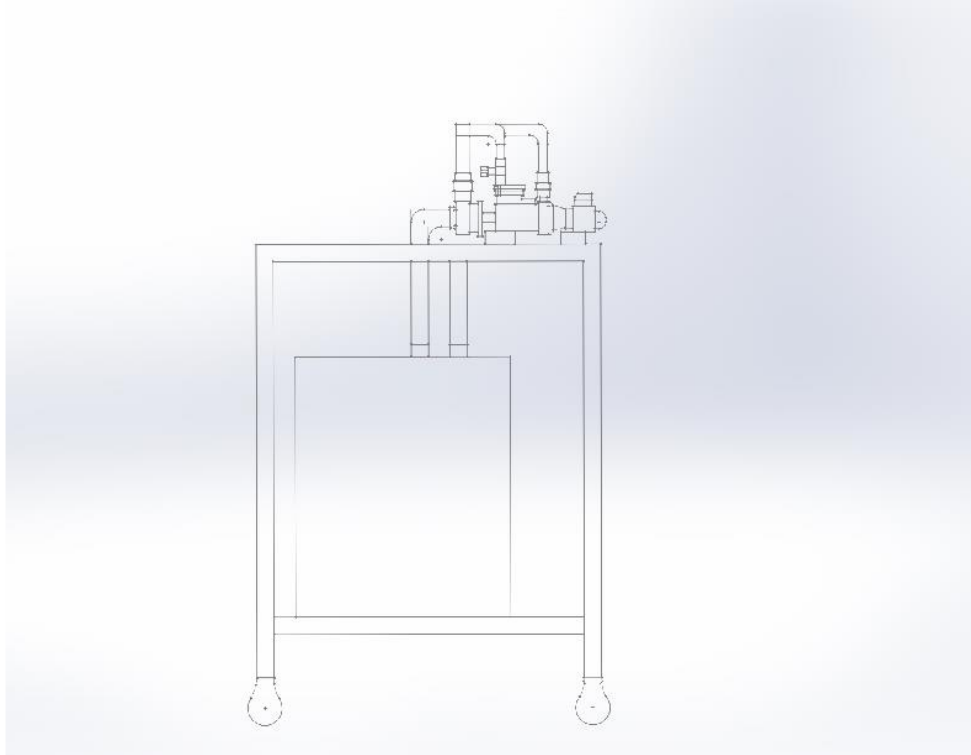
$$\Sigma F_Y = 0$$

$$V + F_{BY} = 0$$

$$V = F_{BY}$$

$$= -44,145 \text{ N}$$

4.3. Menentukan Letak Pompa Sentrifugal Pada Rangka Di Hitung Dari Bagian Samping Rangka



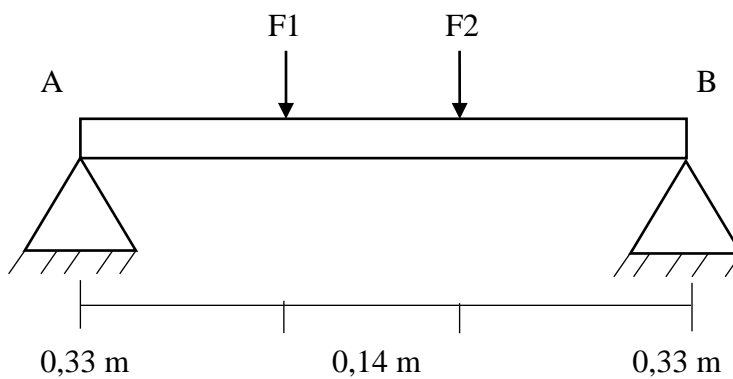
Gambar 4.3. Pompa Sentrifugal Dari Samping

Diketahui :

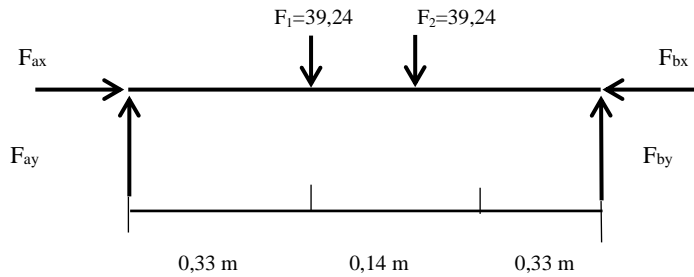
Berat pompa sentrifugal= $8 \text{ kg} = 8 \times 9,81 = 78,48 \text{ N}$

Panjang batang baja rprofil $L= 80 \text{ cm}$

1. Diagram benda bebas beban terpusat



2. Diagram Benda Bebas Reaksi Tumpuan



Penyelesaian :

$$\Sigma F_{x,y} = 0$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{ax} - F_{bx} = 0$$

$$F_{ax} = F_{bx}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{ay} - F_1 - F_2 + F_{By} = 0$$

$$F_{ay} - 39,24 \text{ N} - 39,24 \text{ N} + F_{by} = 0$$

$$F_{ay} - 78,48 \text{ N} + F_{by} = 0$$

$$F_{ay} + F_{by} = 78,48 \text{ N}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$M = F \cdot d$$

$$- F_1 \cdot 0,33\text{m} - F_2 \cdot 0,47\text{m} + F_{by} \cdot 1\text{m} = 0$$

$$- 12,94 \text{ m} - 18,44 \text{ m} + F_{by} \cdot 1\text{m} = 0$$

$$- 39,24 \text{ N} + F_{by} = 1\text{m}$$

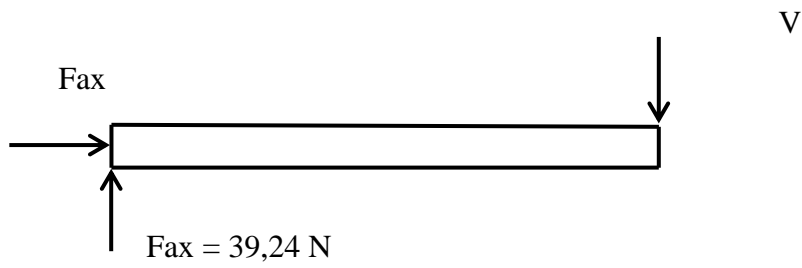
$$F_{by} \cdot 1\text{m} = \frac{39,24 \text{ Nm}}{1\text{m}} = 39,24$$

$$F_{ay} + F_{by} = \text{N}$$

$$F_{ay} + 39,24 \text{ N} = 78,48 \text{ N}$$

$$F_{ay} = 78,48 \text{ N} - 39,24 \text{ N} = 39,24 \text{ N}$$

3. Diagram Gaya Lintang

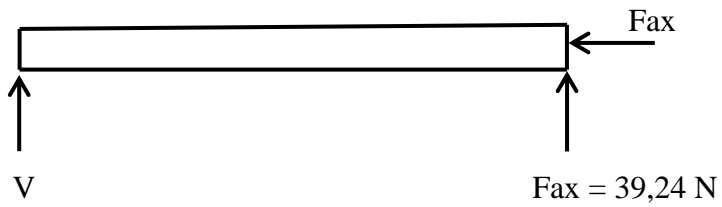


$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{Ay} - V = 0$$

$$V = F_{Ay}$$

$$= 39,24 \text{ N}$$



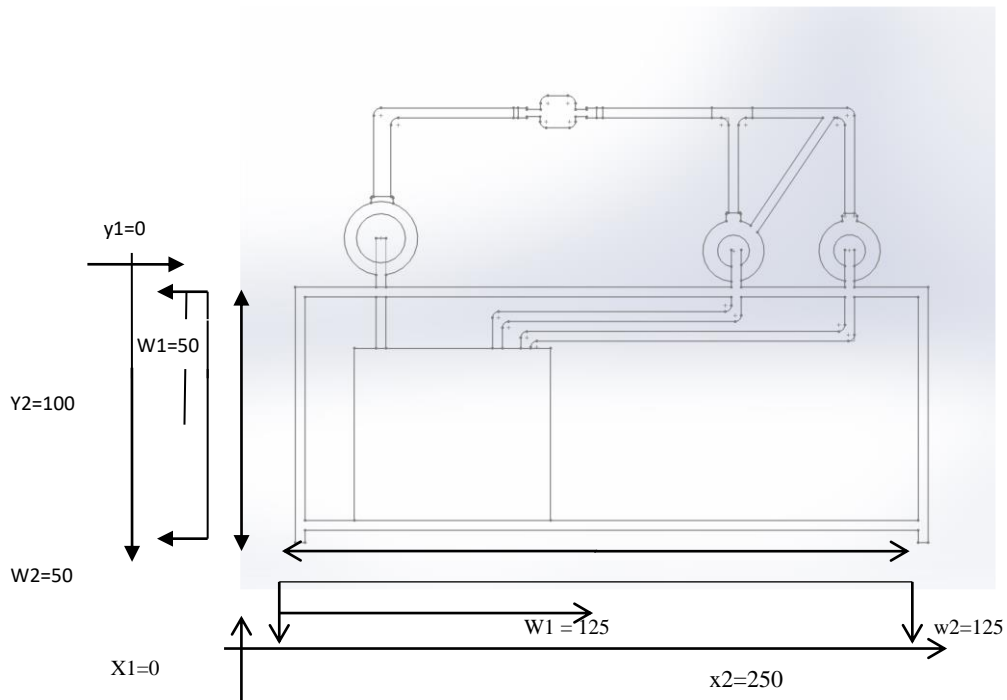
$$\Sigma F_Y = 0$$

$$V + F_{BY} = 0$$

$$V = F_{BY}$$

$$= - 39,24 \text{ N}$$

4.4. Menentukan Titik Berat Konstruksi Pump As Turbines



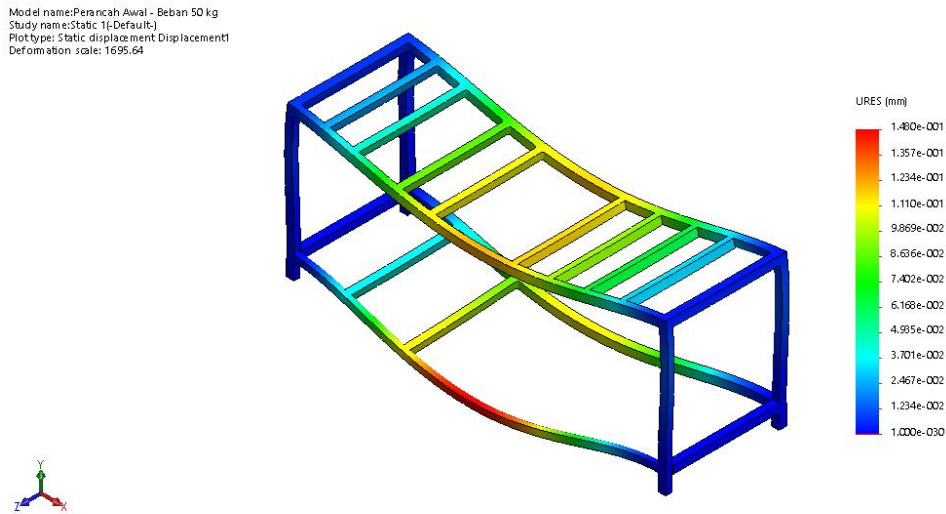
$$\begin{aligned}
 X \text{ titik berat} &= \frac{\sum x_i \cdot w_i}{\sum w_i} \\
 &= \frac{w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2}{w_1 + w_2} \\
 &= \frac{125 \cdot 0 + 125 \cdot 250}{125 + 125} \\
 &= \frac{0 + 31,250}{250} \\
 &= 125 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{\sum y_i \cdot w_i}{\sum w_i} \\
 &= \frac{w_1 \cdot y_1 + w_2 \cdot y_2}{w_1 + w_2} \\
 &= \frac{50 \cdot 0 + 50 \cdot 100}{50 + 50} \\
 &= \frac{0 + 50 \cdot 100}{100} \\
 &= 50 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

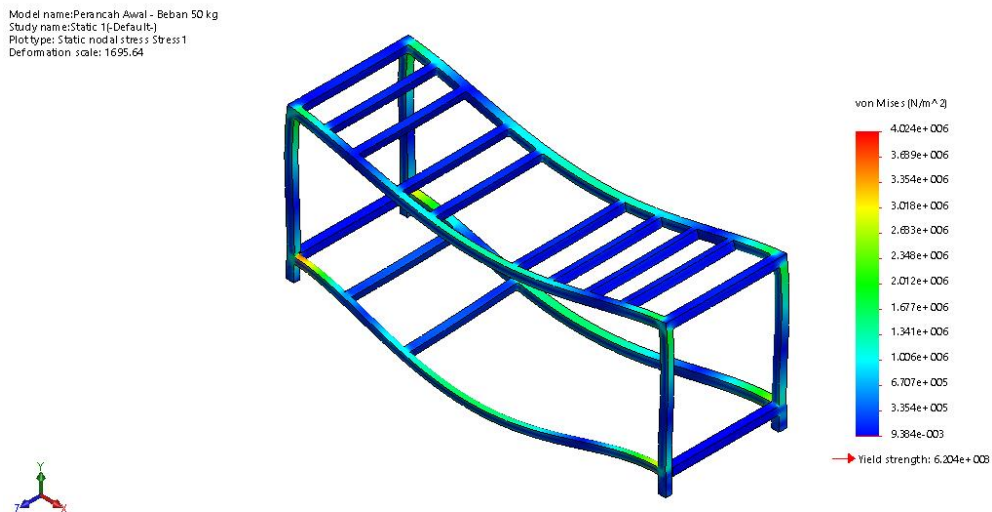
4.5. Menghitung faktor keamanan dari kontruksi *Pump As Turbines* (PAT)

Diketahui :

Tegangan ijin desain = $4,02429 \text{ N/m}^2 = 4,02429 \text{ N/mm}^2$. Dengan jumlah gaya yang diberikan sebesar 490 N.

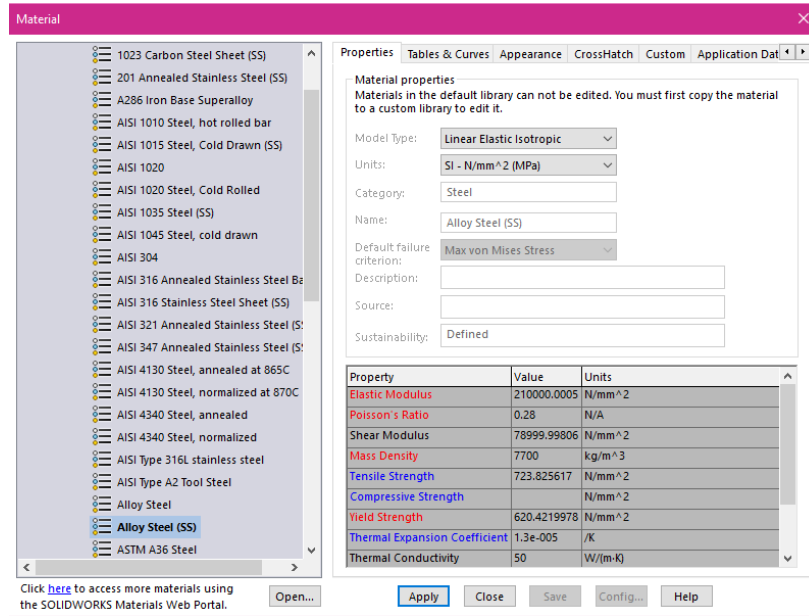


Gambar 4.4. *ures* (pemindahan) hasil pengujian menggunakan solid work



Gambar 4.5. *von mises stress* (tekanan) hasil pengujian menggunakan solid work

Tegangan luluh baja dari baja ST37= 620 N/mm²



Gambar 4.6. Properti Baja ST37 di solid work

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar di atas adalah hasil pengujian pada komponen rangka *Pump As Turbines* (PAT). Dengan data yang ditunjukkan dari gambar tersebut yaitu titik kritis *deformasi* (perubahan bentuk) hasil pengujian rangka *Pump As Turbines* (PAT) angka deformasi maksimal adalah $4,02429 \text{ N/m}^2 = 4,02429 \text{ N/mm}^2$, dengan jumlah gaya yang diberikan 490N

Adapun hasil pengujian dapat dilihat dibawah ini :

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Menggunakan Solidwork

| Nama Komponen | <i>Von mises stress</i> (N/mm ²) | <i>Displacement</i> (mm) | <i>Faktor of safety</i> | <i>Force</i> (N) |
|--------------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|------------------|
| Rangka <i>Pump As Turbines</i> (PAT) | 4,02429 | $1,480 \times 10^2$ | 154 | 490 |

4.6. Proses Penghitungan

Proses penghitungan adalah proses pengolahan data yang di dapatkan dari hasil pengujian menggunakan Solid Works. Penentuan faktor keamanan pada rangka As Turbines (PAT). Adapun proses penghitungan sebagai berikut :

1. Faktor keamanan dari rangka As Turbines (PAT).

Diketahui :

$$\sigma_y = \text{Tegangan luluh material ST37} = 620 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{MAX} = \text{Tegangan izin desain} = 4,02429 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Penyelesaian : } SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{MAX}}$$

$$SF = \frac{620 \text{ N/mm}^2}{4,02429 \text{ N/mm}^2}$$

$$SF = 154$$

4.7. Penjelasan Hasil analisis

Penjelasan analisis adalah penjabaran dari hasil pengujian di atas, dimana yang akan dijabarkan adalah hasil pengujian dari pengujian rangka Pump As Turbines (PAT) menggunakan SolidWorks, dimana hasil yang ditunjukkan dari hasil pengujian adalah adanya indikator warna pada part dan nilai dari indikator warna tersebut, berikut komponen rangka Pump As Turbines (PAT) yang akan dijabarkan.

Tabel 4.2. Hasil Analisis Rangka *Pump As Turbines* (PAT)

| Nama Komponen | <i>Von mises stress</i> (N/mm ²) | <i>Displacement</i> (mm) | <i>Faktor of safety</i> |
|--------------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|
| Rangka <i>Pump As Turbines</i> (PAT) | 4,02429 | 1,480 x 10 ² | 154 |

1. Rangka Pump As Turbines (PAT)

Hasil pengujian yang telah dilakukan pada rangka Pump As Turbines (PAT) menunjukkan angka atau warna ketika suatu beban diberikan pada rangka, pembebanan diberikan pada rangka sebesar 490 N, maka hasil yang didapat setelah pengujian sebagai berikut :

- a. Stress analisis
 - Titik kritis yang berwarna merah = 4,02429 N/m² di belakang rangka bawah yang menunjukkan bahwa bagian belakang yang akan lebih besar menerima deformasi atau perubahan bentuk ketika rangka menerima beban berlebih.
 - Titik yang berwarna hijau dengan nilai sebesar 2,348 N/m² itu menunjukkan bahwa pada yang berwarna hijau berada pada kondisi batas aman tetapi mendekati batas kritis.
 - Titik berwarna biru dengan nilai sebesar 3,354 N/m²
- b. Safety factor (faktor keamanan) Dari rancangan rangka Pump As Turbines (PAT) faktor keamanan di dapat 154 masih terbilang aman untuk digunakan beban sebesar 490 N.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil perancangan Pump As Turbines (PAT) yang telah di buat maka penulis menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain dalam perancangan Pump As Turbines (PAT) yang dibuat menggunakan tekanan air yang dihasilkan dari pompa sentrifugal engine sebagai pengganti ketinggian air menjadi tekanan pada turbin.
2. Hasil penghitungan faktor keamanan untuk kontruksi Pump As Turbines (PAT) dengan menggunakan baja ST37 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 154. pada Tabel 4.1. faktor keamanan, hal ini menunjukkan bahwa kontruksi rangka Pump As Turbines (PAT) dapat menerima beban dari komponen-komponen yang digunakan dalam Pump As Turbines (PAT).
3. Pompa yang digunakan dalam pembuatan Pump As Turbines (PAT) yaitu pompa sentrifugal dengan kapasitas 340 L/M dan 400 L/M dengan daya 0,50 HP/400 watt dan 1 HP/1100 watt.

5.2. Saran

Setelah dilakukan penelitian ini ada beberapa saran yang harus dilakukan untuk mengembangkan penelitian berikutnya :

Yaitu mengganti ukuran pompa sentrifugal yang dijadikan Pump As Turbines (PAT) menjadi lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep rachmat, Ali hamdani, (2017). "*pembangkit listrik metode pump as turbines (PAT)*". Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Majalengka.
- M. Nur Sya Fe'I, Arwijet K, Irzal. "*Rancang bangun simulasi turbin air cross flow design simulation water cross flow turbine*". Teknik mesin, Universitas Negeri Padang.
- Adi Ramadhani Muhammad Arif, G. D. Soplanit, I Nyoman Gede "*Perpormasi pompa air dab type db-125b yang difungsikan sebagai turbin air*". Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Riswan Eko Wahyu Susanto dan Enggar galih rohmat robiyanto (2012). "*Rancang bangun pump installation maintenance trainer*". Program studi perbaikan dan perawatan mesin, Politeknik Kediri
- Deni Rafli, Mulfi Hazwi (2014) "*Simulasi numerik penggunaan pompa sebagai turbin*" Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Priyono Sutikno. "*Pompa sentrifugal sebagai turbin dengan performasi hasil pengujian laboratorium untuk pembangkit mikro hidro*" Lab. Mesin Fluida, Dep. Teknik Mesin, FTI ITB
- Aris munandar, Wiranto. (2004). "*Penggerak mula turbin*" ITB Bandung
- Ir. Hery Sonawan, MT, (2014) "*Perancangan elemen mesin*" Alfabeta Bandung
- Soplanit, G. (2007) "*Penuntunan praktikum turbin pelton*" Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Unsrat. Manado.
- Agustinus Purna Irawan (2009) "*Diktat elemen mesin*" FT Universitas Taruma Negara.

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : SALAMAT JUNAIDI
 NPM : 1307230221

RANCANG BANGUN SISTEM INSTALASI POMPA SENTRIFUGAL SEBAGAI TURBIN (PAT) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK SEDERHANA

Dosen Pembimbing 1 : Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T
 Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

| No | Hari/Tanggal | Kegiatan | Paraf |
|-----|-------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1. | Rabu 7/08/2019 | Pendahuluan Semester dengan judul & | |
| 2. | Sabtu 16/08/2019 | trijana hrs semai & pendahuluan & | |
| 3. | Kamis 22/08/2019 | lanjutan babasan masalah & | |
| 4. | Sabtu 31/08/2019 | lanjutan ke pembimbing II & | |
| 5. | Rabu 4/09/2019 | Perbaiki Bab 2. | <i>[Signature]</i> |
| 6. | Jumat 13/09/2019 | Perbaiki Bab 2. | <i>[Signature]</i> |
| 7. | Senin 23/09/2019 | lanjut Bab 3. | <i>[Signature]</i> |
| 8. | Selasa 8/10/2019 | Perbaiki Bab 3 | <i>[Signature]</i> |
| 9. | Selasa 22/10/2019 | lanjut diagram alir | <i>[Signature]</i> |
| 10. | Senin 04/11/2019 | lanjut Bab 4. | <i>[Signature]</i> |
| 11. | Selasa 19/11/2019 | Perbaiki Bab 4. | <i>[Signature]</i> |
| 12. | Jumat 6/12/2019. | kembali ke pembimbing I | <i>[Signature]</i> |
| 13. | | AA seminar. | <i>[Signature]</i> |



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Menyatakan surat ini agar disebutkan
pada tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 81/II.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 18 Januari 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : **SALAMAT JUNAIDI**
Npm : 1307230221
Program Studi : **TEKNIK MESIN**
Semester : **X1 (SEBELAS)**
Judul Tugas Akhir : **RANCANG BANGUN SISTEM INFALASI POMPA SERTRIFUGAL
SEBAGAI TURBIN (PAT) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
SEDERHANA.**

Pembimbing 1 : **MUNAWAR ALFANSURY SIREGAR ST.MT**
Pembimbing 11 : **SUDIRMAN LUBIS ST. MT**

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.



Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 12 Jumadil Awal 1440 H

18 Januari 2019 M

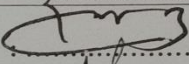
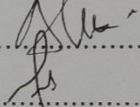
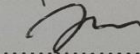
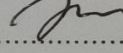
Dekan

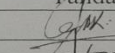
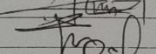



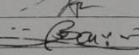
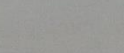
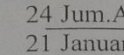
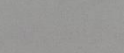
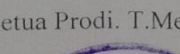
Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2019 – 2020**

Peserta Seminar
 Nama : Selamat Junaidi
 NPM : 1307230221
 Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Instalasi Pompa Sentrifugal Sebagai Turbin (PAT) Untuk Pembangkit Listrik Se-Derhana .

| DAFTAR HADIR | TANDA TANGAN |
|--|---|
| Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T |  |
| Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T |  |
| Pembanding – I : H.Muharnif.S.T.M.Sc |  |
| Pembanding – II : Bekti Suroso.S.T.M.eng |  |

| No | NPM | Nama Mahasiswa | Tanda Tangan |
|----|------------|------------------------|---|
| 1 | 1307230295 | Oki ARIA Kusuma |  |
| 2 | 1307230041 | Muhammad Suhib AULIANI |  |
| 3 | 1507230122 | Ahmad Chalvy |  |
| 4 | 1507230039 | Muhammad Rizad Arsyad |  |
| 5 | 1507230188 | DANU TIRTA DEWA SURYA |  |
| 6 | 1307230116 | AKBAR RIZKY |  |
| 7 | 1507230128 | AHMAD IKHISANI |  |
| 8 | 1307230222 | Amir Hamzah Harahap |  |
| 9 | 1407230248 | M. Nur Syah Putra |  |
| 10 | 1407230265 | BASYARUDDIN |  |

Medan, 24 Jum.Awal 1441 H
21 Januari 2020 M

Ketua Prodi. T.Mesin



**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Selamat Junaidi
NPM : 1307230221
Judul T.Akhir : Rancang bangun Sistem Instalasi Pompa Sentrifugal Sebagai Turbin (PAT) Untuk Pembangkit Listrik Sederhana.

Dosen Pembimbing – I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
Uraian buku skripsi
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....

Medan 24 Jum.Awal 1441 H
21 Januari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- I

[Handwritten Signature]
H.Muharnif.S.T.M.Sc

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Selamat Junaidi
NPM : 1307230221
Judul T.Akhir : Rancang bangun Sistem Instalasi Pompa Sentrifugal Sebagai Turbin (PAT) Untuk Pembangkit Listrik Sederhana.

Dosen Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

Rekomendasi: ganti judul T.A!

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 24 Jum.Awal 1441 H
21 Januari 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- II

Bekti Suroso.S.T.M.Eng

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : SALAMAT JUNAIDI
Npm : 1307230221
Tempat & Tanggal Kelahiran : Padang Sidempuan, 26 Juni 1995
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat KTP : Desa Ampung Siala, Kec. Batang Natal
Kab. Mandailing Natal Provinsi Sumut

Nomor Telepon : 0822-7216-0408
Nama Orang Tua
Ayah : Zulfikri Lubis
Ibu : Aida Norma Nasution

PENDIDIKAN FORMAL

Jenjang Pendidikan

2001-2007 : SD Negeri No.142672 Batang Natal
2007-20010 : SMP Negeri 1 Batang Natal
2010-2013 : SMA Negeri 1 Batang Natal
2013-2020 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera utara