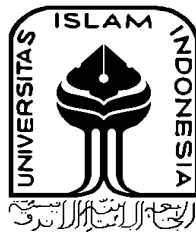


**RANCANG BANGUN TURBIN VORTEX SKALA KECIL DAN
PENGUJIAN PENGARUH BENTUK PENAMPANG SUDU
TERHADAP DAYA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

**Nama : Wahyu Didik Prasetyo
No. Mahasiswa : 12525101
NIRM : 2012061087**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2018

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wahyu Didik Prasetyo
NIM : 12525101
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Mesin

dengan ini menyatakan bahwa judul tugas akhir "Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya". benar bebas dari plagiat sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



karta, 13 April 2018
membuat pernyataan,


Wahyu Didik Prasetyo

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**RANCANG BANGUN TURBIN VORTEX SKALA KECIL DAN
PENGUJIAN PENGARUH BENTUK PENAMPANG SUDU
TERHADAP DAYA**

TUGAS AKHIR



Pembimbing I,

Muhammad Ridlwan.S.T.,M.T.

Pembimbing II,

Arif Budi Wicaksono.S.T.,M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

RANCANG BANGUN TURBIN VORTEX SKALA KECIL DAN PENGUJIAN PENGARUH BENTUK PENAMPANG SUDU TERHADAP DAYA

TUGAS AKHIR

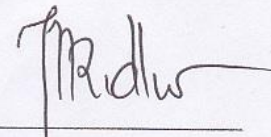
Disusun Oleh :

Nama : Wahyu Didik Prasetyo
No. Mahasiswa : 12525101
NIRM : 2012061087

Tim Penguji

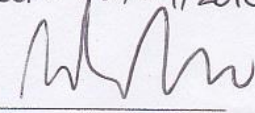
Muhammad Ridwan.S.T.,MT.

Ketua


Tanggal : 05/04/2018

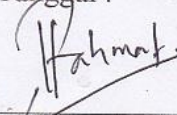
Agung Nugroho Adi,ST.,MT.

Anggota I


Tanggal : 05/04/2018

Rahmat Riza,ST.,M.Sc.

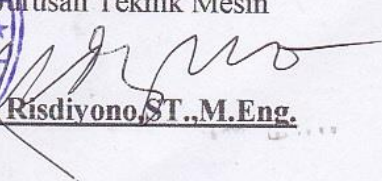
Anggota II


Tanggal : 5-4-2018



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr. Eng. Risdiono,ST.,M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Allah SWT dan atas dukungan dan do'a dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat dirampungkan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya khaturkan rasa syukur dan terimakasih saya kepada:

Allah SWT, karena hanya atas izin dan karuniaNya maka skripsi ini dapat dibuat dan selesai pada waktunya. Puji syukur yang tak terhingga pada Allah penguasa alam yang meridhoi dan mengabulkan segala do'a.

Bapak Sulaiman dan Ibu Sulayem selaku orangtua saya, yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta do'a yang tiada henti untuk kesuksesan saya, karena tiada kata seindah lantunan do'a dan tiada do'a yang paling khusuk selain do'a yang terucap dari orang tua. Ucapan terimakasih saja takkan pernah cukup untuk membalas kebaikan orang tua, karena itu terimalah persembahan bakti dan cinta ku untuk kalian bapak ibuku.

Bapak dan Ibu Dosen pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik. Terimakasih banyak Bapak dan Ibu dosen, jasa kalian akan selalu terpatrit di hati.

Ning tyas (Kakak) dan adik-adik saya Putri, Titik, dan Laras yang senantiasa memberikan dukungan, dan do'anya untuk keberhasilan ini. Maka terimalah karya ini sebagai jawaban atas dukungan dan do'amu.

Rekan-rekan seperjuanganku (teknik mesin angkatan 2012), tanpa semangat, dukungan dan bantuan kalian semua tak kan mungkin aku sampai disini, terimakasih untuk canda tawa, tangis, dan perjuangan yang kita lewati bersama dan terimakasih untuk kenangan manis yang telah mengukir selama ini. Dengan perjuangan dan kebersamaan kita pasti bisa! Solidarity Forever!!!

Terimakasih yang sebesar-besarnya untuk kalian semua, akhir kata saya persembahkan skripsi ini untuk kalian semua, orang-orang yang saya sayangi. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna untuk kemajuan pengetahuan di masa yang akan datang. Amin.

HALAMAN MOTTO

Faidza Azamta Fatawakkal ‘alaAllah

“Kemudian apabila kamu telah membulatkan tekad, maka bertakwalah kepada Allah. (Q.S Ali Imron: 139).”

“Kamu memiliki rencana, Allah juga memiliki rencana. Ingatlah hanya Allah SWT lah sebaik-baiknya perencana.”

"Tak perlu malu karena berbuat kesalahan, sebab kesalahan akan membuatmu lebih bijak dari sebelumnya."

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Alhamdullillah hirabbil 'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul : “**Rancang Bangun Turbin Vortex dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya**”. Shalawat serta salam juga penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya yang syafaatnya dinantikan di yaumul qiyamah.

Pelaksanaan tugas akhir harus ditempuh oleh setiap mahasiswa untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikannya dan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat Iman dan Islam kepada penulis dan Nabi agung Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat, para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Ayah dan Ibu serta seluruh keluarga tercinta yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan dalam menempuh pendidikan.
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Muhammad Ridwan.S.T.,M.T. dan Bapak Arif Budi Wicaksono,S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis.
5. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas jalinan kerjasama dan ilmu yang telah diberikan pada penulis.
6. Teman-teman seperjuangan angkatan 2012 Teknik Mesin UII.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan untuk orang lain pada umumnya.

Wassalamu 'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, Februari 2018

Wahyu Didik Prasetyo

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga air skala kecil sangat bermanfaat untuk daerah terpencil. Potensi air di daerah pedalaman atau terpencil yang tidak tercakup oleh listrik PLN sangatlah besar, banyak aliran sungai dengan potensi debit air tinggi dengan head yang rendah belum dimanfaatkan. Kontruksi mudah dan biaya pembuatan murah sangatlah keharusan. Maka turbin vortex merupakan salah satu turbin yang memenuhi kriteria tersebut, dengan memanfaatkan gaya kinetik pusaran air mengubah menjadi daya poros. Dengan adanya masalah ini maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan daya terbaik dari turbin vortex dengan memvariasikan bentuk sudu dan debit air. Kolam vorex dalam skala laboratorium, sebagai penerus penelitian sebelumnya yang memvariasi diameter sudu, maka penelitian ini meneliti turbin vortex dengan bentuk sudu lengkung, sudu lurus dan lengkung sirip, menggunakan 6 bilah. Hasil penelitian menunjukkan sudu berbentuk lengkung sirip memiliki torsi terbesar 2,00 Nm pada putaran 60 rpm dengan bukaan katup 100%. Daya efektif terbesar 14,4 Watt pada putaran 70 rpm dengan bukaan katup gas pompa air 100% atau debit 7,71 l/s pada turbin lurus, daya potensi 30,27 Watt pada bukaan katup gas pompa air 100% atau debit 7,71 l/s.

Kata kunci: Turbin vortex, Potensi, Mikrohydro

ABSTRACT

Microhydro power plant is very useful for isolated area. Water potency in isolated area that's not facilitated by PLN electricity is very large, many rivers that have high water-debit potency with low head is not used yet. Easy to construct and low-cost of manufacture is must. Hence, vortex turbine is one of turbines that satisfy the criterion, by using whirlpool kinetic energy transformed to be power shaft. Because this problem then this reasearch was done, which the purpose is to obtain the best power from vortex turbine by variating blade shape and water debit. Vortex turbine in laboratory scale, as a successor of previous research that variating blade diameter, then this research is researching vortex turbine that has curve blade shape, straight blade and fin curve, by using 6 blades. The result of this reasearch indicates that blade shaped fin curve has best torque 2,00 Nm at 60 rpm with 100% opened valve. The biggest effective power is 14,4 Watt at 70 rpm with 100% opened pump gas valve or 7,71 l/s debit in blade straight, 30.27 Watt power potency at 100% opened pump gas valve or 7,71 l/s debit.

Keywords : Vortex turbine, potency, mikrohydro

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak	viii
Abstract.....	ix
daftar isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar lampiran.....	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Mesin-Mesin Fluida.....	5
2.2.2 Pengertian Turbin Air	6
2.2.3 Komponen-Komponen Turbin	7
2.2.4 Jenis-Jenis Turbin	8
2.2.5 Cara Kerja Turbin <i>Vortex</i>	13
Bab 3 Metode Penelitian	20
3.1 Alur Penelitian	20
3.2 Studi Pustaka.....	21

3.3	Peralatan dan Bahan.....	21
3.4	Perancangan	21
3.4.1	Perancangan Perangkat Keras	24
3.4.2	Skema Rangkaian Alat Pengujian	24
3.4.3	Parameter Penelitian	25
3.4.4	Langkah-langkah pengujian alat.....	25
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	29
4.1	Hasil Perancangan.....	29
4.1.1	Pengambilan data literatur	29
4.1.2	Perancangan Desain Menggunakan <i>Software CAD</i>	29
4.1.3	Hasil Pembuatan	30
4.2	Hasil Penelitian	32
4.2.1	Pengukuran debit	32
4.2.2	Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin	33
4.3	Torsi	34
4.4	Daya Turbin	38
4.5	Daya Potensi	41
4.6	Efisiensi Turbin Vortex	42
4.7	Torsi dan Daya hasil pengujian terbaik dari masing-masing sudu	45
4.8	Sudu Turbin Vortex Lengkung Bersirip	46
4.9	Sudu Turbin Vortex Lengkung	47
4.10	Sudu Turbin Vortex Lurus	48
4.11	Percobaan variasi diameter sudu	49
Bab 5	Penutup.....	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	51
	Daftar Pustaka	52
	LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1. Hasil pengukuran debit.	32
Tabel 4-2. Hasil uji coba pengaruh debit terhadap putaran turbin.	33
Tabel 4-3. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 70 rpm.	34
Tabel 4-4. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 60 rpm.	35
Tabel 4-5. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 50 rpm.	36
Tabel 4-6. Data daya turbin 70 rpm.....	38
Tabel 4-7. Daya turbin pada putaran 60 rpm.....	39
Tabel 4-8. Nilai efisiensi turbin pada putaran 50 rpm.....	40
Tabel 4-9. Hasil perhitungan daya potensi	42
Tabel 4-10. Nilai efisiensi turbin pada putaran 70 rpm.....	43
Tabel 4-11. Nilai efisiensi turbin pada putaran 60 rpm.....	43
Tabel 4-12. Nilai efisiensi turbin pada putaran 50 rpm.....	44
Tabel 4-13. Data pengujian torsi terbaik.	45
Tabel 4-14. Hasil pengujian daya terbaik.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Skema Turbin <i>Pelton</i>	9
Gambar 2-2. Turbin crossflow.....	10
Gambar 2-3. Turbin <i>Kaplan</i>	11
Gambar 2-4. Skema Turbin <i>francis</i>	12
Gambar 2-5. Skema Turbin <i>Vortex</i>	13
Gambar 2-6. Klasifikasi <i>Vortex</i> berdasarkan kekuatannya.	14
Gambar 2-7. Bentuk permukaan Pusaran Air secara matematik.....	15
Gambar 2-8. Tipe lubang masuk turbin <i>vortex</i>	16
Gambar 2-9. Pemilihan diameter sudu turbin.....	17
Gambar 2-10. Skema Uji Torsi.....	18
Gambar 3-1. Alur Penelitian.....	20
Gambar 3-2. Desain Turbin <i>Vortex</i>	22
Gambar 3-3. Bentuk sudu turbin Lengkung, Lurus dan Lengkung sirip.....	23
Gambar 3-4. Segitiga kecepatan gaya air masuk dan keluar sudu.	23
Gambar 3-5. Skema rangkaian alat pengujian.....	24
Gambar 3-6. Pusaran aliran vortex.	26
Gambar 3-7. Sistem masuk air ke bak penampung	26
Gambar 3-8. Pengukuran debit menggunakan wadah.	27
Gambar 3-9. Pengukuran putaran menggunakan tachometer.....	27
Gambar 3-10. Pengujian torsi.....	28
Gambar 4-1. Rumah Turbin, Bak Penampung dan Rangka	30
Gambar 4-2. Saluran pembawa air.	31
Gambar 4-3. Sudu turbin votex.	31
Gambar 4-4. Grafik debit dibanding bukaan katup gas pompa.	33
Gambar 4-5. Grafik torsi di bandingkan dengan debit pada 70 rpm.	35
Gambar 4-6. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 60 rpm.....	36
Gambar 4-7. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 50 rpm.....	37
Gambar 4-8. Grafik daya efektif dibandingkan dengan debit pada putaran 70 rpm.	39

Gambar 4-9. Grafik daya efektif dibandingkan dengan debit pada putaran 60 rpm	40
Gambar 4-10. Grafik daya efektif dibandingkan dengan debit pada putaran 50 rpm	41
Gambar 4-11. Grafik daya potensi dibandingkan dengan debit.	42
Gambar 4-12. Grafik Pengaruh debit terhadap efisiensi turbin pada putaran 70 rpm	43
Gambar 4-13. Grafik Pengaruh debit terhadap efisiensi turbin pada putaran 60 rpm	44
Gambar 4-14. Grafik Pengaruh debit terhadap efisiensi turbin pada putaran 50 rpm	45
Gambar 4-15. Sudu Lengkung Sirip.....	46
Gambar 4-16. Aliran <i>vortex</i> lengkung sirip.....	47
Gambar 4-17. Sudu Lengkung	47
Gambar 4-18. Aliran <i>vortex</i> pada sudu lengkung.....	48
Gambar 4-19. Sudu berbentuk lurus.....	48
Gambar 4-20. Aliran <i>vortex</i> pada sudu lurus.....	49
Gambar 4-21. Sudu yang di tumbuk oleh air.....	50
Gambar 4-22. Sudu turbin warna kuning yang sudah dipotong dan hijau belum di potong	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Keseluruhan turbin <i>vortex</i>	53
Lampiran 2. Tabung kolam <i>vortex</i>	54
Lampiran 3. Rangka utama turbin <i>vortex</i>	55
Lampiran 4. Rangka atas turbin <i>vortex</i>	56
Lampiran 5. Sudu turbin <i>vortex</i> lurus.....	57
Lampiran 6. Sudu turbin <i>vortex</i> lengkung.	58
Lampiran 7. Sudu turbin <i>vortex</i> lengkung sirip.....	59
Lampiran 8. Data pengujian potensi turbin <i>vortex</i>	60
Lampiran 9. Data hasil percobaan sudu lengkung.....	61
Lampiran 10. Data hasil percobaan sudu lurus.....	62
Lampiran 11. Data hasil percobaan sudu lengkung sirip.....	62
Lampiran 12. Data hasil uji gaya pengereman sudu lengkung.....	62
Lampiran 13. Data hasil uji gaya pengereman sudu lurus.....	62
Lampiran 14. Data hasil uji gaya pengereman sudu lengkung sirip.....	62

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi pada saat sekarang ini semakin berkurang akibat penggunaan energi fosil secara berlebihan di semua bidang. Isu tentang pemanasan global, polusi udara, serta efek gas rumah kaca turut mendorong kemajuan penelitian sumber energi listrik yang lebih ramah lingkungan. Ilmuwan diseluruh dunia menyadari hal ini dan mencoba berbagai energi alternatif. Salah satu sumber energi saat ini yang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Penggunaan berbagai macam turbin semakin maju dan berlomba untuk memanfaatkan energi alam khususnya air. Indonesia adalah negara agraris dan merupakan daerah tropis yang menghasilkan air secara terus menerus, sehingga turbin air lebih diutamakan dari pada turbin angin walaupun angin di Indonesia relatif stabil. Alih fungsi turbin angin menjadi turbin air perlu dilakukan studi lebih lanjut. Massa jenis air yang hampir 1000 kali lipat massa jenis udara menyebabkan gaya dan torsi yang mempengaruhi turbin semakin besar.

Pembangkit listrik tenaga air saat ini salah satu pilihan memanfaatkan sumber energi terbarukan, namun pemanfaatannya masih dalam skala kecil dan menggunakan teknologi yang sederhana artinya pembangkit ini hanya dapat mencukupi energi listrik yang dibutuhkan. Jenis pembangkit listrik tenaga air sering di sebut *microhydro* atau sering disebut juga *picohydro* tergantung keluaran listrik yang di hasilkan pembangkit.

Microhydro yang biasanya memanfaatkan air terjun dengan tinggi jatuh air yang tinggi. Sedangkan untuk tinggi jatuh yang rendah belum maksimal dimanfaatkan. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai dengan mengubah menjadi aliran *vortex*.

Viktor Schauburger seorang peneliti dari Jerman mengembangkan teknologi pembangkit listrik tenaga air dengan memanfaatkan aliran *vortex* air. Aliran *vortex* atau aliran pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir

dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak. Dalam penelitian Viktor Schauburger, memanfaatkan aliran irigasi yang diubah menjadi aliran *vortex*, kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan sudu turbin.

Kemudian teknologi ini dikembangkan oleh Franz Zotloeterer, seorang peneliti berkebangsaan Austria. Ia memulai penelitian ini pada tahun 2004 dan memulai pemasangan turbin pertamanya dengan judul “*Gravitational water vortex power plant*” di Obergrafendorf, Austria pada tahun 2005, kemudian sampai dengan tahun 2013 turbin ini sudah dibangun di beberapa negara seperti Jerman, Republik Ceko, Hungaria, Cili, Thailand, Irlandia, Indonesia, Jepang, Prancis, Italy, dan Swiss. Referensi teoritis dan hasil penelitian tentang teknologi turbin ini jarang dibahas di dunia pendidikan dan sangat jarang dipublikasikan karena teknologi ini sudah menjadi hak paten Zotloeterer. Oleh sebab itu peneliti dari berbagai Universitas di dunia memulai penelitian jenis turbin ini dengan melakukan eksperimen – eksperimen yang ada. Contohnya di Amerika Sligo Institute (Amerika), Khonkaen Universty (Thailand) dan Perguruan Tinggi UGM (Indonesia) sudah memulai penelitian turbin ini dengan meneliti sudu turbin lurus.

Penelitian tentang turbin *vortex* belum sempurna, bentuk sudu turbin *vortex* yang sudah diteliti oleh peneliti sebelumnya berbentuk lurus, dengan berbagai bentuk luasan bidang. Bertolak dari kondisi tersebut oleh karena itu perlu dibuat dan diteliti untuk bentuk sudu turbin *vortex* melengkung, agar nantinya dapat diketahui daya terbaik dari turbin air *vortex* dengan sudu turbin lengkung, lurus dan lengkung bersirip.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang terjadi untuk mengetahui apakah daya turbin *vortex* dengan bentuk sudu lengkung dan lengkung sirip lebih besar dibandingkan dengan sudu plat datar.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah agar penelitian ini lebih terarah, yaitu :

1. Pengamatan kinerja turbin pada *casing* rumah sudu lingkaran dengan skala laboratorium.
2. Tipe sudu yang digunakan adalah tipe lurus, sudu lengkung dan lengkung dengan sirip.
3. Jumlah bilah yang digunakan adalah 6 bilah.
4. Penelitian tidak mencakup kelistrikan.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan pada penelitian adalah :

1. Membuat miniatur turbin *vortex* yang akan diuji dengan berbagai bentuk sudu turbin.
2. Mengetahui pengaruh dari bentuk sudu terhadap torsi dan putaran poros maksimum yang dihasilkan turbin *vortex*.
3. Mengetahui pengaruh bentuk sudu turbin *vortex* terhadap daya yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat diperolehnya data teknik dari pengaruh bentuk sudu lengkung dan lengkung dengan sirip untuk mengetahui dayanya.
2. Menambah pengetahuan bahwa aliran sungai dengan tinggi jatuh air rendah dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk menghasilkan energi listrik.
3. Memperkaya khasanah kajian turbin *head* rendah selain jenis turbin yang sudah ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar laporan penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu:

- BAB 1 : PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang dan permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

- BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Memuat informasi-informasi tentang hasil penelitian yang telah dilakukan terkait dengan perancangan dan percobaan.

- BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi perangkat yang digunakan untuk uji coba penelitian.

- BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat hasil perancangan, hasil identifikasi karakteristik turbin dan hasil data pengujian.

- BAB 5 : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran terkait penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Teori Dasar Aliran

Air yang mengalir mempunyai energi yang dapat digunakan untuk memutar roda turbin, karena itu pusat-pusat tenaga air dibangun di sungai- sungai dan di pegunungan-pegunungan. Pusat tenaga air tersebut dapat dibedakan dalam 2 golongan, yaitu pusat tenaga air tekanan tinggi dan pusat tenaga air tekanan rendah.

Kaidah energi menyatakan bahwa suatu energi akan dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Arus air yang mengandung energi dan energi tersebut dapat diubah bentuknya, misalnya perubahan dari energi potensial (tekanan) ke dalam energi kinetis (kecepatan), atau sebaliknya. Artinya selanjutnya dari kaidah kekekalan energi adalah apabila arus air dalam alirannya dilewatkan melalui turbin air, maka energi yang ada dalam air akan diubah menjadi bentuk energi yang lain (Fritz Dietzel,1990) .

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Mesin-Mesin Fluida

Mesin-mesin fluida adalah mesin-mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi fluida (energi potensial dan energi kinetis) atau sebaliknya yaitu merubah energi fluida menjadi energi kinetis sesuai dengan pengertian diatas, klasifikasi mesin-mesin fluida secara umum (Fritz Dietzel,1990) adalah:

1. Mesin-mesin tenaga

Mesin-mesin tenaga merupakan mesin-mesin fluida yang dapat mengubah energi fluida potensial menjadi energi kinetis.

Contoh : Turbin air dan kincir air

2. Mesin-mesin kerja

Mesin-mesin kerja merupakan mesin-mesin fluida yang dapat mengubah energi kinetis menjadi energi potensial.

Contoh : pompa, *blower*, *fan*, dan kompresor.

Sesuai dengan topik yang dibahas dalam tulisan ini akan dibahas mengenai turbin air.

2.2.2 Pengertian Turbin Air

Turbin adalah bagian terpenting dari pembangkit listrik. Pada turbin aliran air diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar rotor. Dengan *belt*, puli ataupun *gearbox* pada rotor dihubungkan dengan generator yang akan mengubah putaran yang dihasilkan menjadi energi listrik (Nugroho,2015).

Bagian turbin yang bergerak dinamakan rotor atau sudu turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Secara umum, turbin adalah alat mekanika yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap ataupun *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tidak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan (Gibran,2014).

Turbin konvensional, dalam kelompok mesin penggerak mula atau *prime movers* ada tiga macam yaitu :

1. Turbin air dengan media kerja air.
2. Turbin gas dengan media kerja gas panas yang bertekanan.
3. Turbin uap dengan media kerja uap.

Ketiga macam turbin tersebut mempunyai kemiripan dalam konstruksi, namun beda dalam termodinamikanya, karena fluida kerjanya yang tidak sama.

Turbin air mempunyai keuntungan antara lain:

1. Ruang yang diperlukan lebih kecil.

2. Mampu membangkitkan daya yang lebih besar dengan ukuran yang relatif kecil.
3. Dapat beroperasi dengan kecepatan yang lebih tinggi.
4. Mampu memanfaatkan beda ketinggian permukaan air dari yang sangat rendah sampai yang sangat tinggi.
5. Dapat bekerja terendam didalam air.
6. Mempunyai efisiensi yang relatif baik.
7. Dapat dikonstruksikan dengan poros mendatar maupun tegak.

2.2.3 Komponen-Komponen Turbin

Komponen-komponen utama pada turbin menurut (Nugroho,2015) adalah sebagai berikut:

1. Stator

Stator turbin terdiri dari dua bagian, yaitu *casing* dan sudu diam / tetap (*fixed blade*)

- a. *Casing*

Casing atau *shell* adalah suatu wadah berbentuk menyerupai sebuah tabung dimana rotor ditempatkan. Di luar *casing* dipasang bantalan yang berfungsi untuk menyangga rotor.

- b. Sudu tetap

Sudu merupakan bagian dari turbin dimana konversi energi terjadi. Sudu terdiri dari bagian akar sudu, badan sudu dan ujung sudu. Sudu kemudian dirangkai sehingga membentuk satu lingkaran penuh.

2. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar terdiri dari poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor.

- a. Poros

Poros dapat berupa silinder panjang yang *solid* (pejal) atau berongga (*hollow*). Pada umumnya sekarang poros terdiri dari silinder panjang yang *solid*.

- b. Sudu gerak

Sudu gerak adalah sudu-sudu yang dipasang disekeliling rotor membentuk suatu piringan.

c. Bantalan

Bantalan berfungsi sebagai penyangga rotor sehingga membuat rotor dapat stabil/lurus pada posisinya didalam *casing* dan rotor dapat berputar dengan aman dan bebas. Adanya bantalan yang menyangga turbin selain bermanfaat untuk menjaga rotor turbin tetap pada posisinya juga menimbulkan kerugian mekanik karena gesekan.

2.2.4 Jenis-Jenis Turbin

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

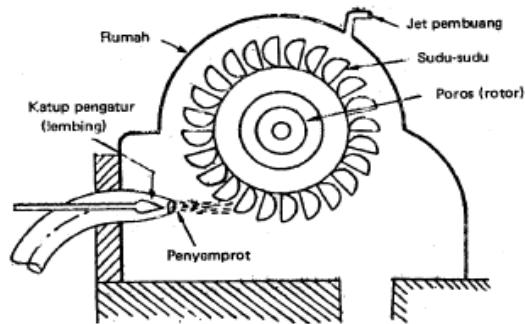
Sebelum berkembang menjadi turbin *Pelton* dan turbin *Crossflow* (jenis impuls), dan turbin *Francis* dan turbin *Kaplan* (jenis reaksi) seperti yang banyak ditemukan saat sekarang, beberapa jenis turbin dengan konstruksi yang relatif sederhana telah mengawalnya. Di samping itu juga telah dilakukan upaya penyempurnaan dengan memodifikasi rancangan dari turbin-turbin yang sudah ada seperti turbin *Pelton*, turbin *Crossflow*, turbin *Francis*, dan turbin *Kaplan* (Dietzel,1990). Beberapa jenis turbin air ini perlu juga dikenal.

2.2.4.1 Turbin Impuls

Pada turbin impuls energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air yang keluar dari nosel mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu turbin arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya roda turbin akan berputar. Beberapa contoh dari turbin impuls *tubin pelton* dan *turbin crossflow*.

1. Turbin *Pelton*

Turbin *Pelton* terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin *Pelton* adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin *Pelton* adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi, turbin *pelton* dapat dilihat pada Gambar 2-1.



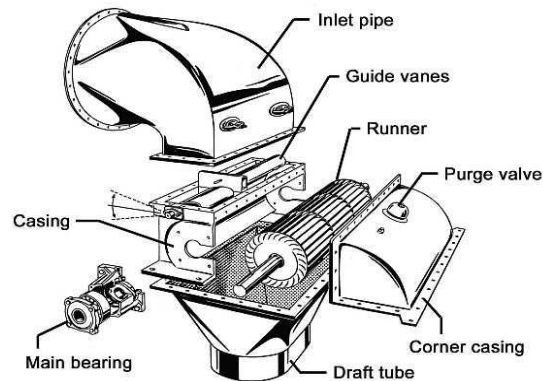
Gambar 2-1. Skema Turbin *Pelton*.

Sumber: Gibran,2014.

2. Turbin *Crossflow*

Pada turbin pelton beroperasi pada *head* relatif tinggi, sehingga *head* rendah kurang efektif. Sebagai alternatif turbin *crossflow* yang dapat beroperasi pada *head* rendah. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³/sec dan *head* antara 1 s/d 200 m. Aliran air dilewatkan melalui sudu-sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder keluar melalui sudu-sudu. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder dan air keluar silinder. Energi yang diperoleh dari tahap kedua adalah 20% nya dari tahap pertama.

Ciri utama turbin impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar. Turbin impuls disebut turbin tak bertekanan karena sudu gerak beroperasi pada tekanan atmosfer. Turbin *crossflow* dapat dilihat pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2. Turbin crossflow

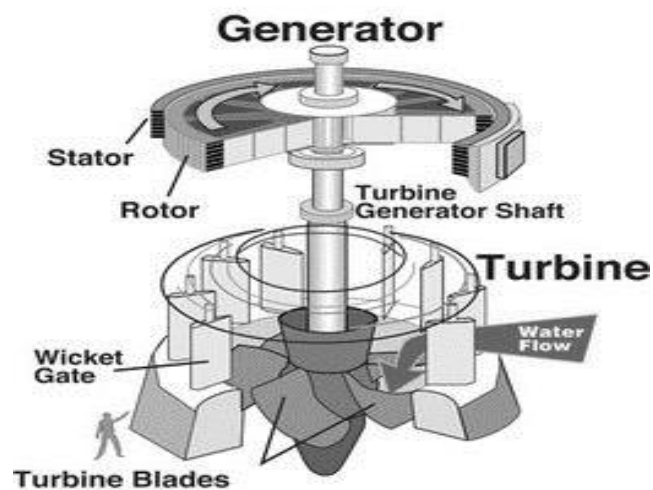
Sumber : Gibran,2014.

2.2.4.2 Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, energi yang tersedia pada saluran masuk hanya sebagian saja yang dirubah menjadi energi kinetik sedangkan sisanya tetap dalam bentuk energi tekan. Ketika air mengalir melalui roda gerak/*runner* terjadi perubahan energi tekan menjadi energi kinetik secara berangsur-angsur. Tekanan pada sisi masuk roda gerak lebih tinggi dibandingkan tekanan pada sisi keluar roda gerak turbin, dimana tekanan tersebut bervariasi terhadap laju aliran fluida yang melalui turbin. Selanjutnya agar perubahan tekanan ini dapat terjadi, maka roda/*runner* dalam hal ini harus tertutup dari udara luar dan seluruhnya terisi air selama turbin beroperasi. Beberapa contoh dari turbin reaksi adalah *turbin francis*, *turbin kaplan*, dan *turbin vortex*.

1. Turbin Kaplan

Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada turbin *kaplan* berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada *francis*, sudu-sudu pada roda jalan *kaplan* dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin kaplan dapat dilihat pada Gambar 2-3. Turbin *kaplan* banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun.

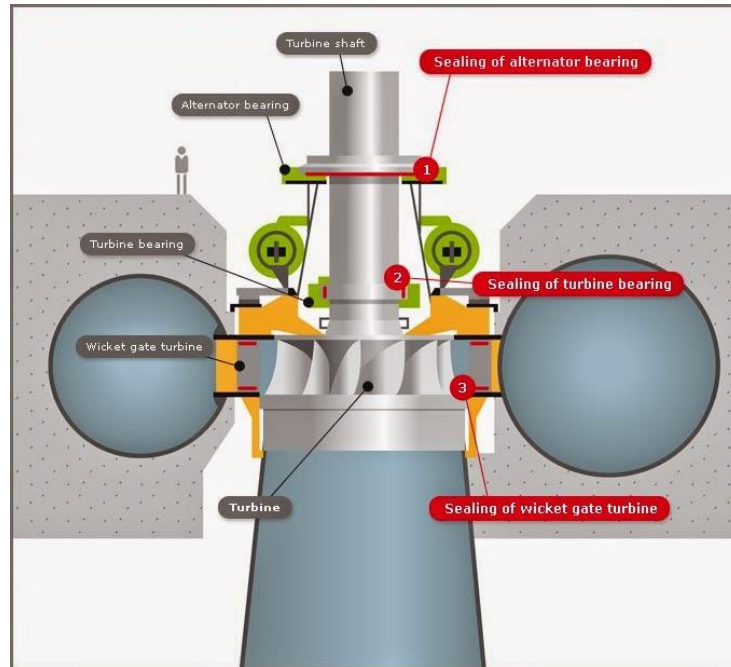


Gambar 2-3. Turbin *Kaplan*

Sumber: Gibran,2014.

2. Turbin Francis

Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah dapat dilihat pada Gambar 2-4. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin *francis* dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.

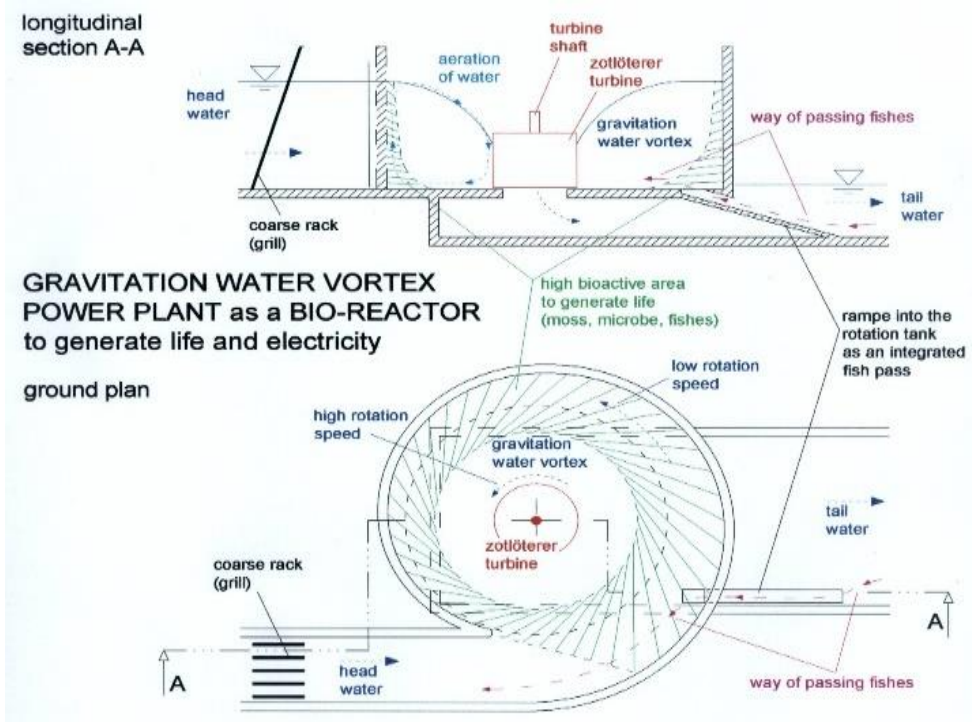


Gambar 2-4. Skema Turbin *francis*.

Sumber : Gibran,2014.

3. Turbin *Vortex*

Turbin ini dinamakan sebagai *Gravitation water vortex power plant (GWVPP)* oleh penemunya Frans Zotleterer berkebangsaan Austria, tetapi nama turbin ini dikenal juga sebagai turbin *vortex* atau turbin pusaran air. Sesuai dengan namanya pusaran air, turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan membentuk aliran pusaran air. Ketinggian air (*head*) yang diperlukan untuk turbin ini 0,7 – 2 m dan debit berkisar 1000 liter per detik. Turbin ini sederhana, mudah dalam perawatannya, kecil, kuat, dan bertahan hingga 50 – 100 tahun. Turbin *vortex* dapat dilihat pada Gambar 2-5.



Gambar 2-5. Skema Turbin *Vortex*.

Sumber : Zotloterer, Franz. 2002.

2.2.5 Cara Kerja Turbin *Vortex*

Sistem PLTA pusran air adalah sebuah teknologi baru yang memanfaatkan energi yang terkandung dalam pusran air yang besar dengan diciptakan melalui perbedaan *head* rendah di sungai (Gibran,2014). Cara kerja turbin *vortex* :

1. Air sungai dari tepi sungai disalurkan dan dibawa ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
2. Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran *vortex*.
3. Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi diinti *vortex* yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran keluar.

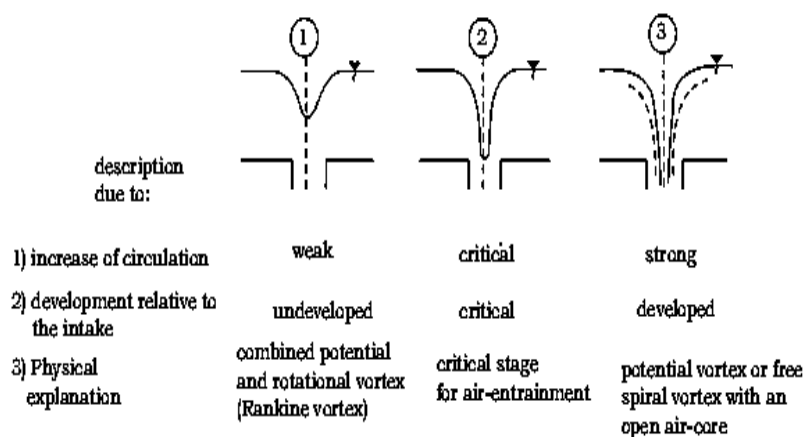
2.2.5.1 Keunggulan Turbin *Vortex*

Beberapa keunggulan dari turbin *vortex*:

1. Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar namun hanya memiliki *head* yang rendah.
2. Tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin lainnya.
3. Tekanan air yang terjadi tidak merusak ekologi, dalam hal ini dampak terhadap kehidupan air (ikan) dan *microorganism* lainnya tetap terjaga.
4. Tidak membutuhkan *draft tube*, sehingga dapat mengurangi pengeluaran untuk penggalian pemasangan *draft tube*.
5. Memiliki daya yang tinggi, dengan variasi debit yang besar dan sangat baik untuk *head* yang rendah.
6. Tidak memerlukan jaring-jaring halus sebagai pencegah masuknya puing-puing kedalam turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

2.2.5.2 Klasifikasi *Vortex*

Dalam klasifikasi ada tiga tipe kekuatan *vortex* dengan melihat bentuk pusaran air dapat dilihat pada Gambar 2-6.



The different types of stable surface vortices at intakes vertically downstream (drain vortices), indication and distinction

Gambar 2-6. Klasifikasi *Vortex* berdasarkan kekuatannya.

Sumber : Prof. B. S. Thandaveswara, Indian Institute of Technology

Madras

Secara umum, fenomena *vortex* terbagi atas dua bagian yaitu :

1. *Vortex* Paksa / *Vortex* Berotasi

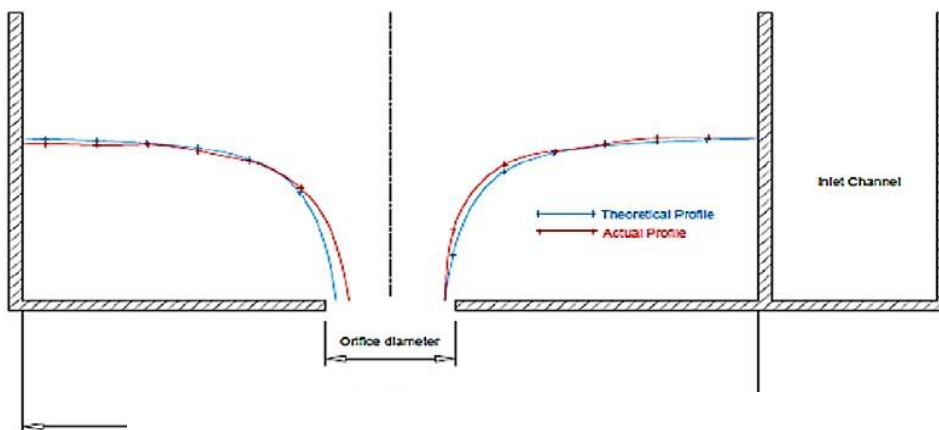
Adalah *vortex* yang terbentuk karena adanya gaya luar yang berpengaruh pada fluida.

2. *Vortex* Bebas / *Vortex* Tak Berotasi

Adalah *vortex* yang terbentuk karena fenomena natural, tidak terpengaruh oleh gaya dari luar sistem fluida, pada aliran inkompresibel, umumnya terjadi karena adanya lubang keluar.

Berikut adalah penemuan fundamental dari penelitian dari *Institute of Technology, Sligo in Civil Engineering*:

1. Bentuk permukaan pusaran air dapat digambar secara matematik dan diprediksi secara akurat (Gambar 2-7).
2. Efisiensi daya Pusaran air yang maksimal dapat terjadi dalam jangkauan rasio antara diameter lubang dan diameter tangki adalah sekitar 14% - 18% masing- masing untuk tempat *head* rendah dan tinggi.
3. Tinggi pusaran bervariasi secara linier sesuai dengan debit.
4. Energi keluar maksimum secara teoritis idealnya = $\rho g Q H_v$
($H_v = \text{Height of Vortex}$).
5. Efisiensi hidrolis maksimum meningkat saat kecepatan impeler setengah dari kecepatan fluida.

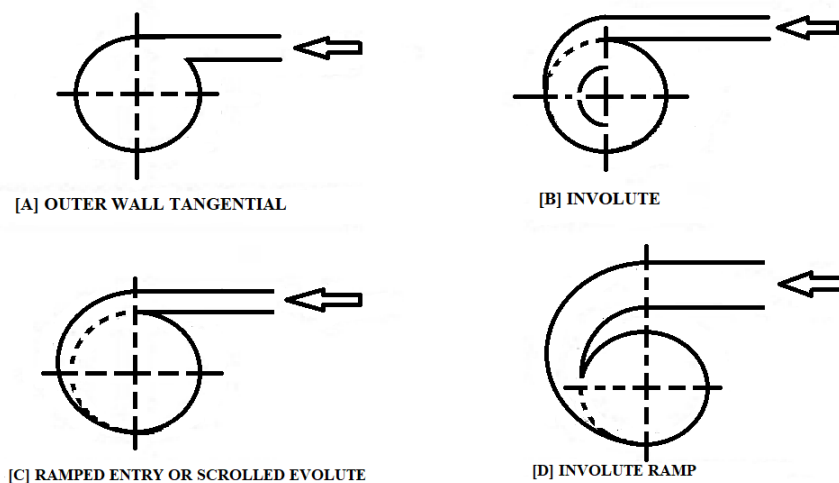


Gambar 2-7. Bentuk permukaan Pusaran Air secara matematik.

Sumber : Petrus jesse ,2015.

2.2.5.3 Saluran masuk (*inlet area*)

Ada beberapa tipe dari saluran masuk (*Inlet area*), yaitu : saluran masuk tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll*. Berbagai tipe tersebut dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan kinerja dari turbin. Dengan konstruksi lubang masuk dengan tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll* dapat mengurangi efek dari turbulensi yang terjadi disekitar dinding saluran masuk dan daerah antara saluran masuk dapat dilihat pada Gambar 2-8.



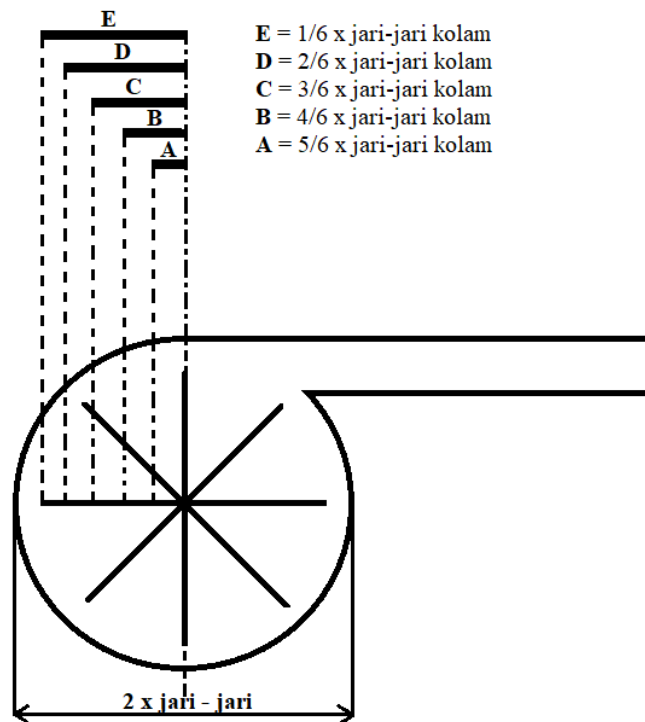
Gambar 2-8. Tipe lubang masuk turbin *vortex*.

Sumber: Yusuf Randabunga, 2013.

2.2.5.4 Sudu turbin

Ukuran diameter sudu turbin *vortex* dapat divariasikan $1/6$, $2/6$, $3/6$, $4/6$, dan $5/6$ dikali jari-jari kolam *vortex* (2.1).

Power terbesar pada sudu $3/6$ dikali jari-jari kolam, dengan menggunakan 6 bilah sudu (Yusuf Randabunga, 2013) untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2-9.



Gambar 2-9. Pemilihan diameter sudu turbin

Sumber: Yusuf Randabunga,2013.

2.2.5.5 Pengukuran debit (Q)

Debit aliran air dihitung dengan menggunakan persamaan (M.Bruce,2006)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.2)$$

Dimana : Q= Debit (l/s)

V= Volume (l)

t = Waktu (s)

2.2.5.6 Pengukuran Torsi

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros engkol atau kemampuan motor untuk melakukan kerja, tetapi disini torsi merupakan jumlah gaya putar yang diberikan ke suatu mesin terhadap panjang lengannya. Torsi biasanya diberi simbol τ . Satuan untuk satuan torsi adalah *Pounds-feet* atau

pounds-inch, dalam satuan British adalah ft.lb (Djuhana,2008). Skema uji torsi dapat dilihat pada Gambar 2-10.

$$T = F \cdot r \quad (2.3)$$

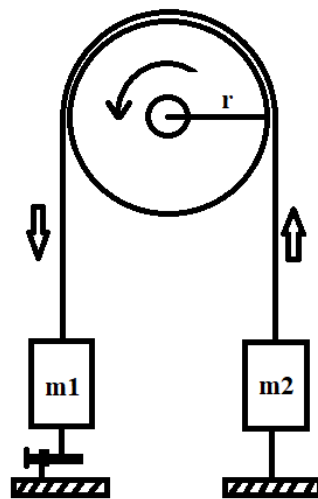
Dimana : T= Momen Torsi (Nm)

F= Gaya pada poros = $F=(m_2-m_1)g$

m_1 m_2 = Pembebanan (kg)

g= Gravitasi (9,8 m/s²)

r= Jari-jari poros (m)



Gambar 2-10. Skema Uji Torsi.

2.2.5.7 Daya efektif

Perhitungan daya efektif yang dapat ditransmisikan oleh poros dapat dihitung dengan persamaan (M.Bruce,2006).

$$P = 2\pi \cdot N \cdot \frac{T}{60} \quad (2.4)$$

Dimana : P= Daya (Watt)

T= Momen gaya (Nm)

N= Putaran turbin (Rpm)

Atau daya efektif yang dihasilkan oleh pergerakan sudu turbin adalah daya yang sebanding dengan torsi dikali dengan kecepatan sudut sudu.

$$P_{act} = T \cdot \omega \quad (2.5)$$

Dengan P_{act} = Daya aktual turbin (Watt)
 ω = Kecepatan sudut sudu (rad/s)
 T = Torsi yang terjadi (RPM)

2.2.5.8 Daya Potensi

Daya hidrolis yang dapat dihasilkan oleh turbin sesuai dengan kapasitas tinggi jatuh yang diketahui adalah (Dietzel,1996)

$$P_{pt} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2.6)$$

Keterangan : P_{pt} = Daya potensi (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Gravitasi (m/s^2)

H = Tinggi jatuh air (m)

2.2.5.9 Efisiensi

Efisiensi turbin dapat dicari dengan persamaan (M.Bruce,2006)

$$\eta = \frac{P_{eff}}{P_{hid}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan : η = Efisiensi (%)

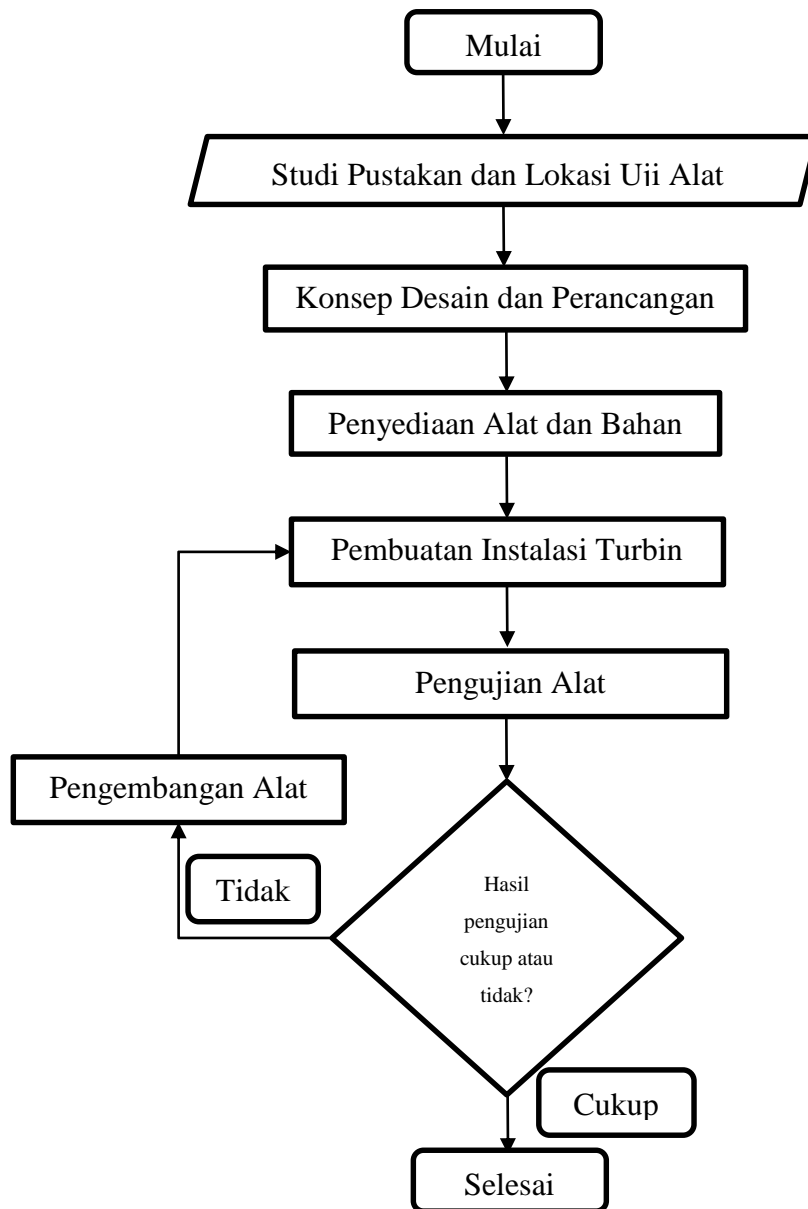
P_{eff} = Daya Hidrolis (Watt)

P_{hid} = Daya Potensi (Watt)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah diagram alir dari beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ditampilkan pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1. Alur Penelitian.

3.2 Studi Pustaka

Kegiatan ini adalah mencari informasi yang berhubungan dengan topik, membaca literatur dari beberapa sumber dari internet dan perpustakaan, melihat dari video percobaan yang sudah ada. Dari studi literatur diperoleh beberapa metode penelitian serta rumus yang digunakan dalam melaksanakan penelitian serta pengolahan data yang diperoleh dalam penelitian ini. Dan mencari lokasi yang dapat digunakan untuk tempat pengujian turbin *vortex*.

3.3 Peralatan dan Bahan

Dalam pembuatan alat penelitian menggunakan peralatan:

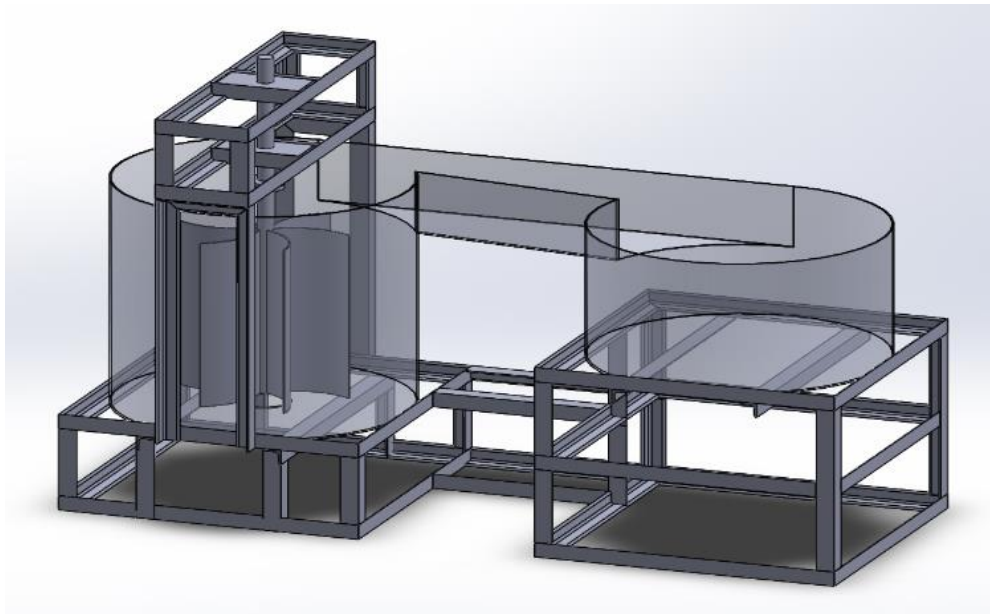
1. Grinda potong duduk.
2. Las listrik.
3. Las Asitelin.
4. Mesin drill.
5. Mesin bor.
6. Mesin bubut.
7. Alat keselamatan kerja.

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat alat penelitian:

1. Besi siku.
2. Drum oli bekas.
3. Plat 2 mm bahan turbin.
4. Besi pejal.
5. Besi bulat berongga.
6. *Pulley*.
7. Mur dan baut.
8. *Bearing*.

3.4 Perancangan

Dalam hal ini peneliti melakukan perancangan menggunakan perangkat lunak untuk membantu perancangan turbin *vortex* agar dapat terealisasi dengan mudah. Pembuatan gambar desain pada penelitian ini menggunakan software CAD yaitu SolidWork 2015. Gambar desain alat dapat ditunjukkan pada Gambar 3-2 dibawah ini.



Gambar 3-2. Desain Turbin *Vortex*.

Dalam Gambar 3-2 mengenai gambar desain turbin yang telah dirancang memiliki beberapa bagian:

1. Kolam *vortex*

Kolam *vortex* menggunakan drum oli bekas dengan diameter 58 cm, tinggi *head* kolam 40 cm, lubang buang 10 cm.

2. Saluran pembawa air

Menggunakan plat dengan panjang 135 cm lebar 20 cm dan tinggi 20 cm.

3. Bak penampung air

Menggunakan drum oli bekas dengan diameter 58 cm dan tinggi bak 32 cm

4. Sudu turbin *vortex*

Pada penelitian ini sudu dibuat berbentuk lurus, lengkung dan lengkung ditambah sirip dibagian bawah.

Tebal plat sudu turbin yang dipilih menggunakan kriteria mudah diperoleh serta harga yang ekonomis dan menyesuaikan dengan ketersediaan dipasaran. Bentuk desain sudu dapat dilihat pada Gambar 3-3.

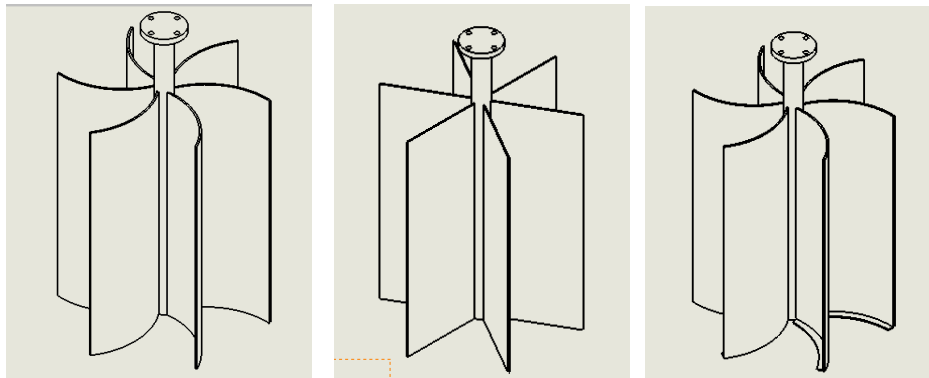
Ukuran lebar diameter sudu turbin *vortex* menggunakan referensi penelitian sebelumnya dapat divariasikan $1/6$, $2/6$, $3/6$, $4/6$, dan $5/6$ x jari-

jari kolam *vortex* dapat dilihat pada persamaan 2.1. Power terbesar pada sudu $3/6$ x jari-jari kolam dengan tinggi sudu 35 cm (Yusuf Randabunga,2013) maka pada penelitian ini menggunakan diameter sudu $3/6$ x jari-jari kolam dengan tinggi sudu 35 cm dan jumlah sudu 6 bilah dengan mengikuti referensi penelitian sebelumnya.

Jari-jari sudu dapat dihitung :

$$r \text{ sudu} = 3/6 \times 29 \text{ cm} = 14,5 \text{ cm}$$

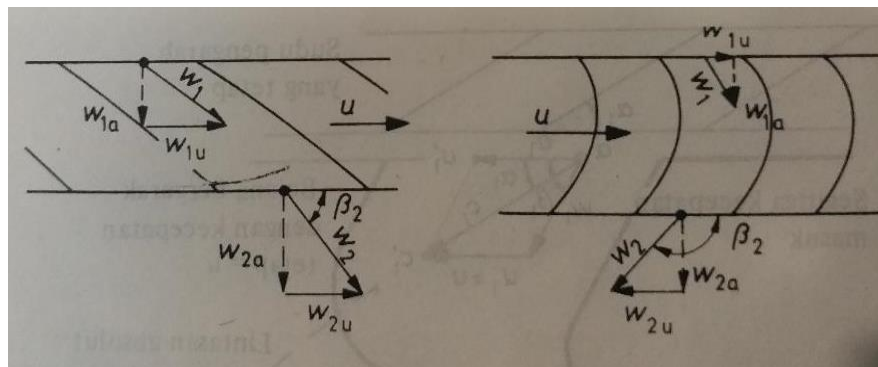
Maka jari-jari sudu yang digunakan pada penelitian ini 14,5 cm



Gambar 3-3. Bentuk sudu turbin Lengkung, Lurus dan Lengkung sirip.

Pada sudu yang rata dan melengkung maka besar gaya yang arahnya searah dengan putaran sudu turbin dapat dijelaskan dalam bentuk segitiga kecepatan seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.

Untuk sudu yang rata maka gaya yang arahnya searah dengan putaran sudu turbin dapat dirumuskan sebagai :



Gambar 3-4. Segitiga kecepatan gaya air masuk dan keluar sudu.

$$F_u = \rho \cdot Q(W_{1u} - W_{2u}) \quad (3.1)$$

Dimana F_U = Besar gaya

W_{1u} = Kecepatan relatif air masuk sudu

W_{2u} = Kecepatan air keluar sudu

Sedangkan untuk sudu melengkung yaitu sudu membentuk sudut (β_2) dengan garis mendatar maka besarnya gaya yang arahnya searah dengan putaran sudu turbin dapat dirumuskan sebagai :

$$F_u = \rho \cdot Q(W_{1u} + W_{2u}) \quad (3.2)$$

Dimana F_U = Besar gaya

W_{1u} = Kecepatan relatif air masuk sudu

W_{2u} = Kecepatan air keluar sudu

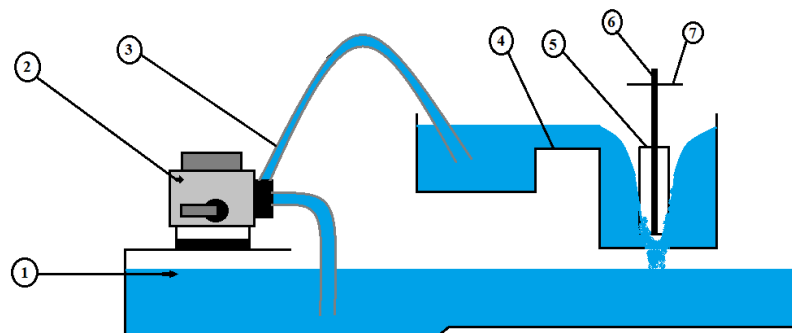
Sehingga bisa dikatakan bahwa dengan adanya kelengkungan yang lebih tajam pada kapasitas air yang sama akan diperoleh daya poros yang lebih besar. Sehingga sudu lengkung dan lengkung sirip di buat dengan sudut lengkung 17° dengan sirip tinggi 1 cm dan kemiringan 45° .

3.4.1 Perancangan Perangkat Keras

Pembuatan dilakukan di CV.Tunas Karya, Jl.Kaliurang, Km.15, Beji, Harjabinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta, Bengkel las angkasa Jl.Bima, Ngaglik, Sleman dan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

3.4.2 Skema Rangkaian Alat Pengujian

Untuk mempermudah pemahaman bagian-bagian alat uji coba turbin *vortex* dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5. Skema rangkaian alat pengujian

Keterangan :

1. Saluran air selokan di Desa Gondanglegi, Widomartani, Sleman.
2. Pompa air bahan bakar premium.
3. Selang air diameter 2 inchi.
4. Kolam turbin *vortex*.
5. Turbin *vortex*.
6. Poros.
7. *Pulley*.

3.4.3 Parameter Penelitian

1. Mengukur putaran pada poros turbin pada masing-masing variasi bentuk sudu.
2. Menghitung torsi yang dihasilkan dari masing-masing variasi bentuk sudu dari data putaran poros dan berat beban pengereman.
3. Menghitung daya poros yang dihasilkan oleh masing-masing variasi bentuk sudu.
4. Menghitung efisiensi dari masing-masing variasi bentuk sudu.

3.4.4 Langkah-langkah pengujian alat

3.4.4.1 Persiapan

Dalam pengujian alat ada beberapa hal yang diperlukan dan dipersiapkan dalam melakukan pengujian alat dalam instalasi turbin.

1. Membersihkan sekitar selokan dari daun dan batang-batang kayu.
2. Memasang saringan pada selang penghisap air agar kotoran dan benda-benda lain tidak masuk kesaluran dan menghambat pompa.
3. Memasang sudu yang akan di uji pada turbin.
4. Meletakkan turbin di atas selokan.
5. Menyiapkan alat-alat ukur untuk mengambil data turbin.
6. Mempersiapkan alat tulis untuk menulis data pengujian.

3.4.4.2 Langkah-Langkah pengambilan data

Pengujian turbin dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

Pompa dinyalakan untuk menghisap air dan dinaikan pada bak penampung, setelah penuh air akan mengalir pada saluran pembawa dan akan masuk pada kolam *vortex* pada sisi samping, Gambar 3-6 menunjukkan sistem masuk air.



Gambar 3-7. Sistem masuk air ke bak penampung

Karena pada dasar kolam terdapat lubang maka air yang mengalir jatuh berputar melewati sisi samping dan menuju ketengah arah lubang buang membentuk pusaran. Setelah dilakukan pengamatan pada aliran maka di dapat data debit air yang keluar pada lubang dan *head* nya tanpa menggunakan sudu turbin. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat, lubang aliran *vortex* dapat dilihat pada Gambar 3-7.



Gambar 3-6. Pusaran aliran vortex.

Kemudian pengujian dilakukan dengan menggunakan sudu turbin, air lalu dialirkan lagi ke bak penampung dan mengalir ke dalam turbin membentuk pusaran dan menumbuk sudu yang mengakibatkan sudu terdorong kebelakang dan menimbulkan putaran pada poros turbin. Dengan begitu akan diukur dan didapatkan data dari masing-masing bentuk sudu.

Data pertama yang diambil adalah debit air yang keluar dari pompa air yang masuk ke kolam penampung. Pengukuran debit dilakukan dengan menampung air tersebut ke dalam wadah yang telah diketahui volumenya, kemudian dihitung waktu yang diperlukan air untuk mengisi penuh wadah tersebut. Dalam percobaan ini digunakan wadah yang mempunyai volume 18 liter dapat di lihat pada Gambar 3-8.



Gambar 3-8. Pengukuran debit menggunakan wadah.

Langkah selanjutnya setelah melakukan pengukuran debit air maka dilakukan pengukuran putaran pada turbin menggunakan alat tachometer digital, dapat dilihat pada Gambar 3-9.



Gambar 3-9. Pengukuran putaran menggunakan tachometer.

Setelah melakukan pengukuran putaran maka langkah selanjutnya melakukan pengukuran torsi menggunakan metode *prony brake* dimana tali pada alat ukur pegas gaya atau timbangan digital dilingkarkan pada alur pulley yang dikopel dengan poros turbin yang diujungnya diberi timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3-10. Ketika poros berputar tali yang tersambung dengan timbangan akan ditarik sehingga terbaca berapa besarnya gaya tarik yang terjadi pada *pulley* (F_g), yang diperoleh dari selisih antara besar skala pembacaan pada timbangan digital 1 (m_2) dengan besarnya massa timbangan digital 2 (m_1).



Gambar 3-10. Pengujian torsi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

4.1.1 Pengambilan data literatur

Pada proses pengambilan data yang bersangkutan dengan sistem yang dirancang mengenai turbin *vortex*, data yang digunakan adalah data dari riset-riset yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa riset yang menjadi literatur berjudul “Pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya *output* listrik pada turbin *vortex*” yang telah dilakukan oleh (Widiyatmoko, UGM, 2012), dan “Pengaruh lebar sudu terhadap kinerja turbin *vortex*” yang telah dilakukan oleh (Yusuf Randabunga, UGM, 2013) data yang menjadi acuan adalah ukuran fisik turbin *vortex* dan metode pengujian.

4.1.2 Perancangan Desain Menggunakan *Software CAD*

Dalam sebuah perancangan kemudian berlanjut ke tahap realisasi, hal yang penting pertama kali yang dilakukan adalah membuat desain. Sehingga dalam proses realisasi nantinya sudah ada patokan-patokan desain seperti apa yang akan dibuat. Perancangan turbin *vortex* menggunakan *software SolidWork 2015* dikarenakan *Solidwork* adalah *software* yang dipelajari pada praktikum di kurikulum Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Acuan ukuran perancangan diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widiyatmoko, 2012. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses desain yaitu pembuatan gambar perbagian sampai dengan proses penggabungan. Hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 3-2 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.1.3 Hasil Pembuatan

4.1.3.1 Rumah Turbin, Rangka dan Bak Penampung

Bahan yang digunakan sebagai rumah turbin dan bak penampung menggunakan drum oli bekas yang di potong dengan ukuran diameter 58 cm dan tinggi 55 cm sebagai rumah turbin, sedangkan bak penampung dengan diameter 58 cm dan tinggi 35 cm. Bahan drum oli bekas digunakan dengan alasan harga yang lebih murah dibandingkan dengan membentuk plat dan mudah mendapatkannya di pasaran. Rumah turbin dapat dilihat pada Gambar 4-1. Besi L sebagai rangka alat percobaan digunakan karena mudah mendapatkannya dan cukup kuat untuk menjadi rangka turbin *vortex*, sesuai yang di desain pada *SolidWork*.



Gambar 4-1. Rumah Turbin, Bak Penampung dan Rangka

4.1.3.2 Saluran Pembawa Air

Saluran pembawa air dirancang agar air masuk dari sisi samping dengan tujuan agar menambah gaya putar air membentuk pusaran, dan akan terpusat dengan kecepatan tinggi di tengah kolam turbin *vortex*. Bahan yang digunakan adalah plat besi dengan ketebalan 2 mm. Gambar saluran pembawa air dapat dilihat

pada Gambar 4-2, desain pembawa air di desain mengacu pada Gambar 2-8 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4-2. Saluran pembawa air.

4.1.3.3 Sudu Turbin

Sudu turbin dalam percobaan ini menggunakan sudu berbentuk lurus, lengkung dan lengkung bersirip, bentuk sudu di bandingkan dengan faktor putaran, torsi dan supaya mengetahui daya maksimum yang dihasilkan, sudu turbin dibuat menggunakan besi pejal dengan diameter 3 cm, besi bulat berongga dengan diameter 3 cm dan plat besi dengan ketebalan 2 mm, diamater sudu 30 cm dan tinggi sudu 35 cm. Berat rata-rata sudu yang di uji coba adalah 1,6 kg. Bentuk sudu dapat dilihat pada Gambar 4-3 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 5, 6 dan 7.



Gambar 4-3. Sudu turbin votex.

4.2 Hasil Penelitian

Dalam penelitian tentang pengaruh bentuk sudu terhadap kinerja turbin *vortex* ada beberapa variabel yang mempengaruhi nilai dari kinerja turbin sehingga berbeda pada setiap bentuk sudunya. Variabel tersebut adalah head, debit, dan massa sudu serta vortisitas.

Massa sudu dipengaruhi oleh dimensi sudu dimana semakin besar dimensi sudu maka massanya juga akan bertambah. Massa sudu tersebut menyebabkan momen inersia yang harus dilawan oleh aliran *vortex* akan semakin besar.

Vortisitas merupakan sebuah konsep yang digunakan pada dinamika fluida. Dalam arti yang sederhana, dapat dikatakan sebagai sebuah kecenderungan dari elemen fluida yang berputar terjadi karena adanya gerakan berputar dari fluida karena adanya perbedaan tekanan dua bidang aliran fluida. Ini bisa dilihat pada arah aliran pada pengujian dimana kecepatan aliran yang berbeda di bagian luar pusaran lebih lambat dari pada aliran air di bagian tengah dan bagian dalam.

4.2.1 Pengukuran debit

Dalam pengukuran debit rumus yang digunakan yaitu persamaan 2.4 dalam menentukan Q aktual yang keluar dari turbin *vortex*.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Untuk percobaan dengan bukaan katup gas pompa air 100% dengan wadah ukur 18 liter dan di isi penuh memerlukan waktu 2,33 detik dan debit yang di dapat adalah:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{18 \text{ l}}{2,33 \text{ s}} \\ &= 7,71 \text{ l/s} \end{aligned}$$

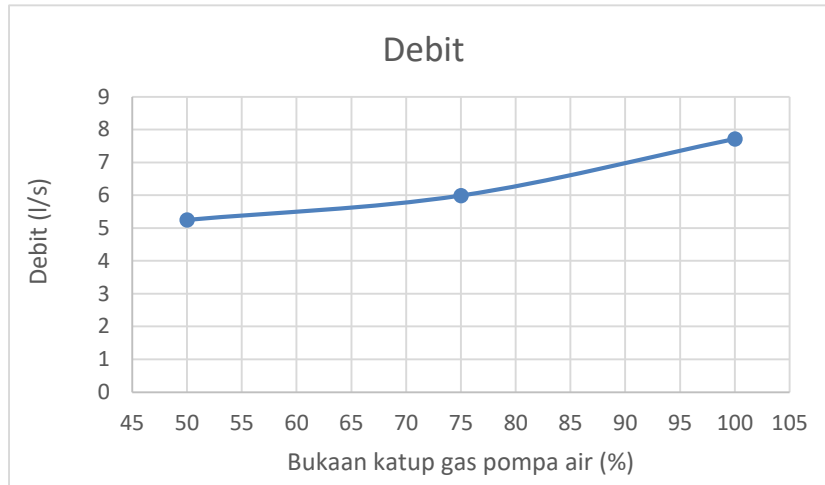
Data pengukuran debit dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1. Hasil pengukuran debit.

Sudu	Bukaan katup gas pompa air (%)	t rata-rata (s)	Debit (l/s)
Tanpa sudu	100%	2,33	7,71
	75%	3,01	5,99

	50%	3,43	5,24
--	-----	------	------

Debit terbesar dengan nilai 7,71 l/s di uji coba dengan bukaan katup gas pompa air 100%. Lebih jelasnya tertera pada grafik Gambar 4-4.



Gambar 4-4. Grafik debit dibanding bukaan katup gas pompa.

4.2.2 Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin

Dari pengujian yang dilakukan terhadap penambahan debit setiap bentuk variasi sudu diperoleh data seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 hasil uji coba pengaruh debit terhadap putaran turbin.

Tabel 4-2. Hasil uji coba pengaruh debit terhadap putaran turbin.

Bukaan katup gas pompa air	Debit (liter)	Putaran(rpm)		
		Sudu lengkung	Sudu lurus	Sudu lengkung sirip
50%	5,24	107	112	109
75%	5,99	115	119	116
100%	7,71	128	133	129

Dengan penambahan debit air akan menyebabkan putaran poros turbin semakin meningkat. Putaran turbin terbesar terjadi pada sudu lurus dengan 133 rpm dengan bukaan katup gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s.

4.3 Torsi

Besarnya nilai torsi dicari dengan menggunakan persamaan 2.3

$$T = F \cdot r$$

$$F = (m_2 - m_1)g$$

Untuk semua bentuk sudu mempunyai torsi yang bervariasi dengan putaran rpm yang berbeda-beda.

Untuk percobaan sudu lengkung dengan debit 7,71 l/s dengan m_1 0,24 kg, m_2 1,06 kg dan diameter *pulley* 0,2032 m, maka dapat dihitung torsinya adalah:

$$F = (1,06 \text{ kg} - 0,24 \text{ kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 8,04 \text{ N}$$

$$T = 8,04 \text{ N} \times 0,2032 \text{ m}$$

$$= 1,63 \text{ Nm}$$

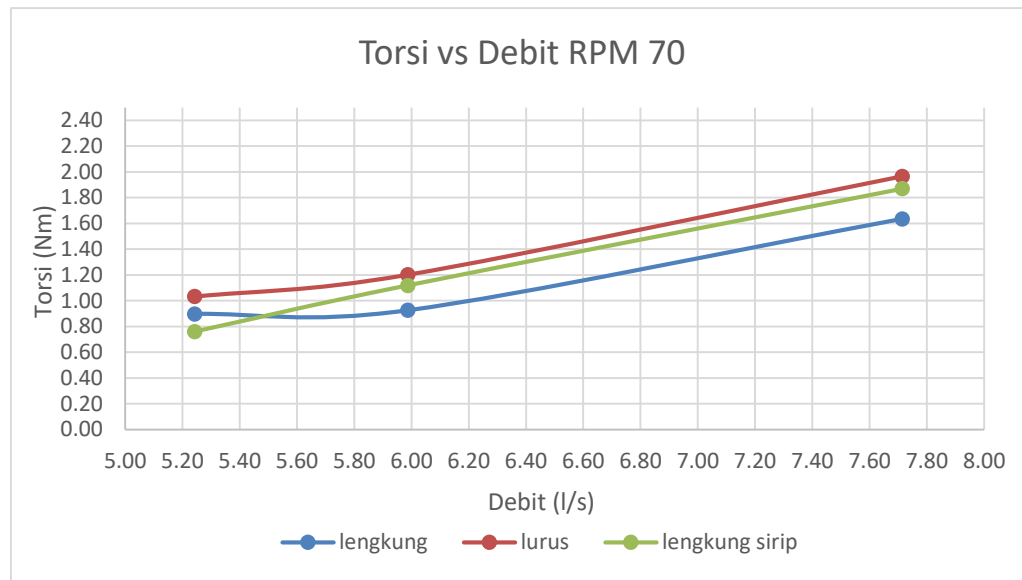
Besarnya torsi turbin untuk masing-masing bentuk sudu dan variasi debit pada 70 rpm.

Pada pengujian dengan putaran tetap 70 rpm, besarnya torsi turbin pada pengujian untuk masing-masing variasi bentuk sudu putaran 70 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 70 rpm.

Sudu	Debit (l/s)	m1(kg)	m2 (kg)	Torsi (Nm)
Lengkung	7,71	0,243	1,063	1,63
	5,99	0,226	0,690	0,92
	5,24	0,173	0,623	0,90
Lurus	7,71	0,194	1,18	1,97
	5,99	0,183	0,786	1,20
	5,24	0,208	0,726	1,03
Legkung sirip	7,71	0,585	1,523	1,87
	5,99	0,19	0,751	1,12
	5,24	0,055	0,436	0,76

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing variasi bentuk sudu dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4-5.



Gambar 4-5. Grafik torsi di bandingkan dengan debit pada 70 rpm.

Dari hasil pengujian torsi yang dilakukan pada putaran 70 rpm torsi terkecil terdapat pada sudu lengkung sirip dengan bukaan katup gas pompa air 50% dengan torsi 0,76 Nm, sedangkan torsi terbesar terjadi pada sudu lurus dengan bukaan gas pompa air 100% atau debit 7,71 l/s dengan besar torsi 1,97 Nm

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing bentuk sudu dan variasi debit pada 60 rpm.

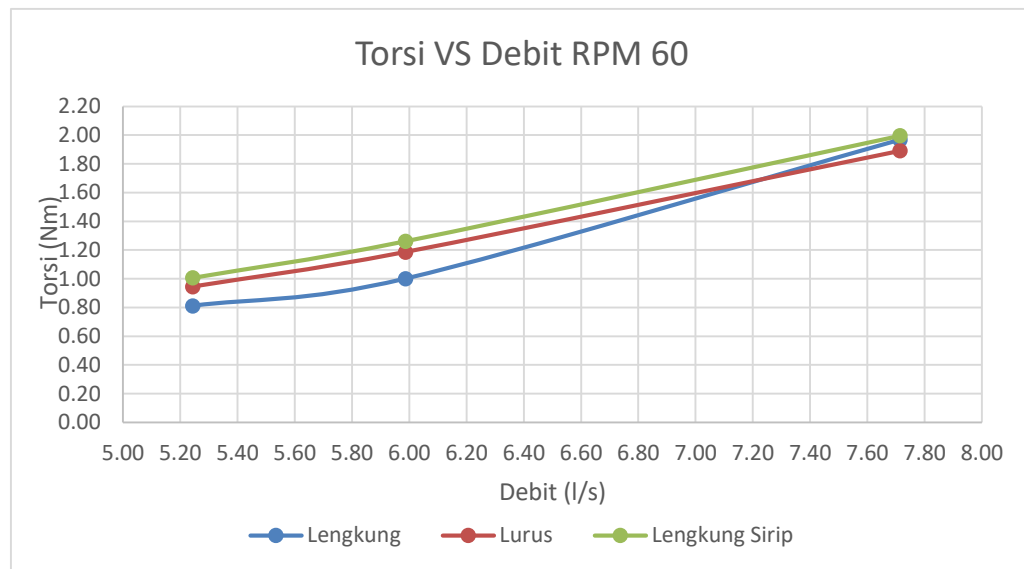
Pada pengujian dengan putaran tetap 60 rpm, besarnya torsi turbin pada pengujian untuk masing-masing variasi bentuk sudu putaran 60 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-4.

Tabel 4-4. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 60 rpm.

Sudu	Debit (l/s)	m1(kg)	m2 (kg)	Torsi (Nm)
Lengkung	7,71	0,323	1,31	1,97
	5,99	0,211	0,713	1,00
	5,24	0,138	0,545	0,81
Lurus	7,71	0,21	1,063	1,89
	5,99	0,185	0,72	1,19
	5,24	0,08	0,506	0,94

Sudu	Debit (l/s)	m1(kg)	m2 (kg)	Torsi (Nm)
Legkung sirip	7,71	0,54	1,44	2,00
	5,99	0,236	0,805	1,26
	5,24	0,071	0,525	1,01

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing variasi bentuk sudu dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 60 rpm.

Dari hasil pengujian torsi yang dilakukan pada putaran 60 rpm torsi terkecil terdapat pada sudu lengkung dengan bukaan katup gas pompa air 50% atau debit air 5,24 l/s dengan torsi 0,81 Nm, sedangkan torsi terbesar terjadi pada sudu lengkung sirip dengan bukaan katup gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s dengan besar torsi 2,00 Nm.

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing bentuk sudu dan variasi debit pada 50 rpm.

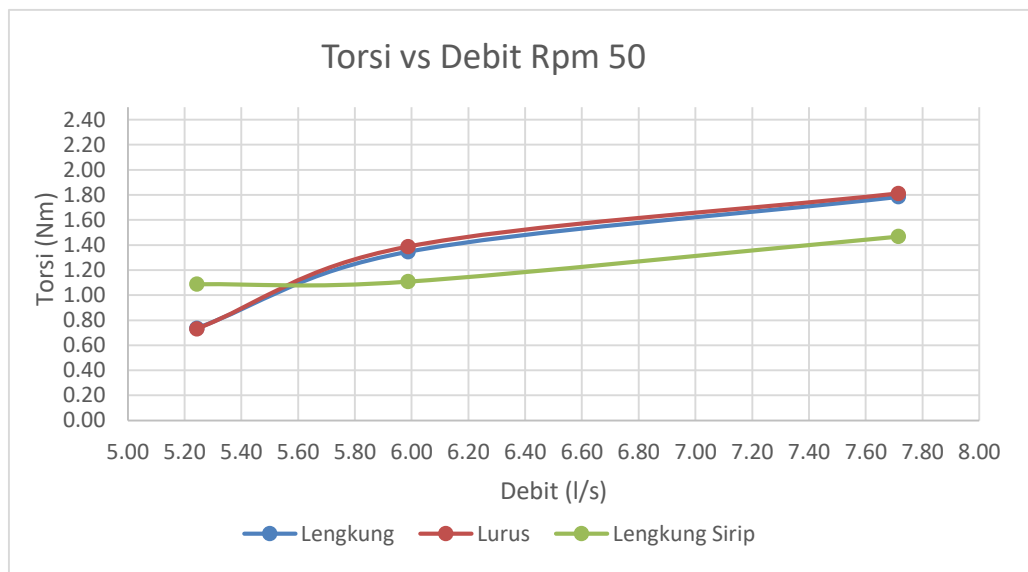
Pada pengujian dengan putaran tetap 50 rpm, besarnya torsi turbin pada pengujian untuk masing-masing variasi bentuk sudu putaran 50 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 50 rpm.

Sudu	Debit (l/s)	m1(kg)	m2 (kg)	Torsi (Nm)
Lengkung	7,71	0,221	1,116	1,78

Sudu	Debit (l/s)	m1(kg)	m2 (kg)	Torsi (Nm)
	5,99	0,2	0,875	1,35
	5,24	0,106	0,475	0,74
Lurus	7,71	0,246	1,121	1,81
	5,99	0,138	0,808	1,39
	5,24	0,043	0,396	0,73
Legkung sirip	7,71	0,366	1,075	1,47
	5,99	0,09	0,625	1,11
	5,24	0,056	0,581	1,09

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing variasi bentuk sudu dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7. Data hasil perhitungan torsi pada putaran 50 rpm.

Dari hasil pengujian torsi yang dilakukan pada putaran 50 rpm torsi terkecil terdapat pada sudu lurus dengan bukaan katup gas pompa air 50% atau debit air 5,24 l/s dengan torsi 0,73 Nm, sedangkan torsi terbesar terjadi pada sudu lengkung sirip dengan bukaan katup gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s dengan besar torsi 1,81 Nm.

4.4 Daya Turbin

Besarnya nilai daya dicari dengan menggunakan persamaan 2.4

$$P = 2\pi \cdot N \cdot \frac{T}{60}$$

Untuk sudu lengkung dengan putaran poros turbin (N) 70 rpm dan torsi (T) sebesar 1,63 Nm maka daya turbin adalah :

$$\begin{aligned} P &= 2 \cdot 3,14 \cdot 70 \text{ rpm} \cdot \frac{1,63 \text{ Nm}}{60} \\ &= 439,6 \cdot 0,027 \\ &= 11,94 \text{ Watt} \end{aligned}$$

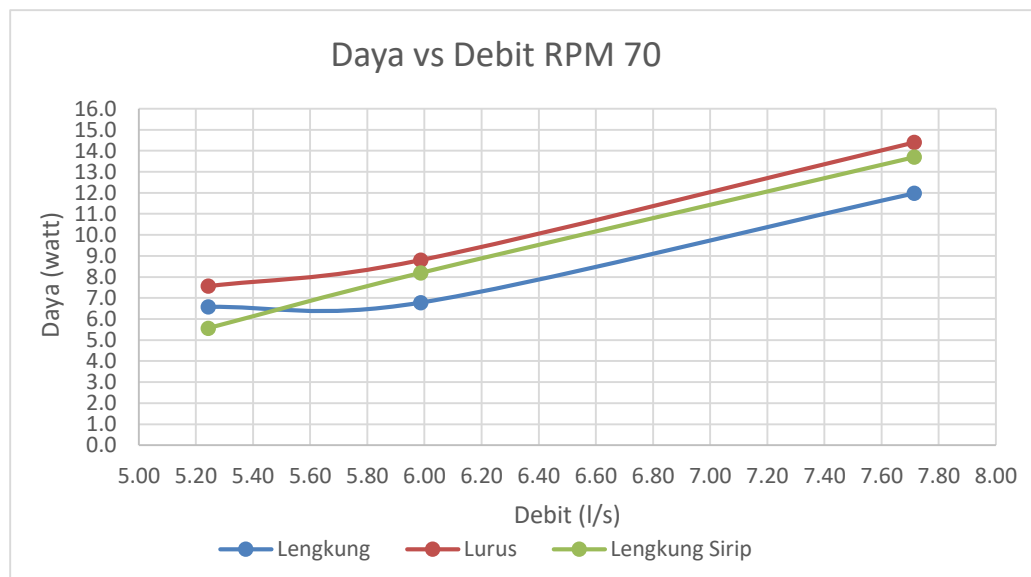
Besarnya daya turbin untuk masing-masing bentuk sudu dan variasi debit pada 70 rpm.

Pada pengujian dengan putaran tetap 70 rpm, besarnya daya turbin pada pengujian untuk masing-masing variasi bentuk sudu putaran 70 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-6.

Tabel 4-6. Data daya turbin 70 rpm

Sudu	Debit (l/s)	Torsi (Nm)	Daya poros (Watt)
Lengkung	7,71	1,63	12,0
	5,99	0,92	6,8
	5,24	0,90	6,6
Lurus	7,71	1,97	14,4
	5,99	1,20	8,8
	5,24	1,03	7,6
Lengkung sirip	7,71	1,87	13,7
	5,99	1,12	8,2
	5,24	0,76	5,6

Besarnya daya turbin untuk masing-masing variasi bentuk sudu dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4-8.



Gambar 4-8. Grafik daya efektif dibandingkan dengan debit pada putaran 70 rpm.

Pada pengujian putaran 70 rpm besar daya terbesar dihasilkan oleh sudu berbentuk lurus dengan nilai 14,4 Watt dengan debit 7,71 l/s. Pada lengkung sirip dengan debit 5,24 l/s terjadi penurunan dibandingkan dengan sudu berbentuk lengkung.

Besarnya daya turbin untuk masing-masing bentuk sudu dan variasi debit pada 60 rpm.

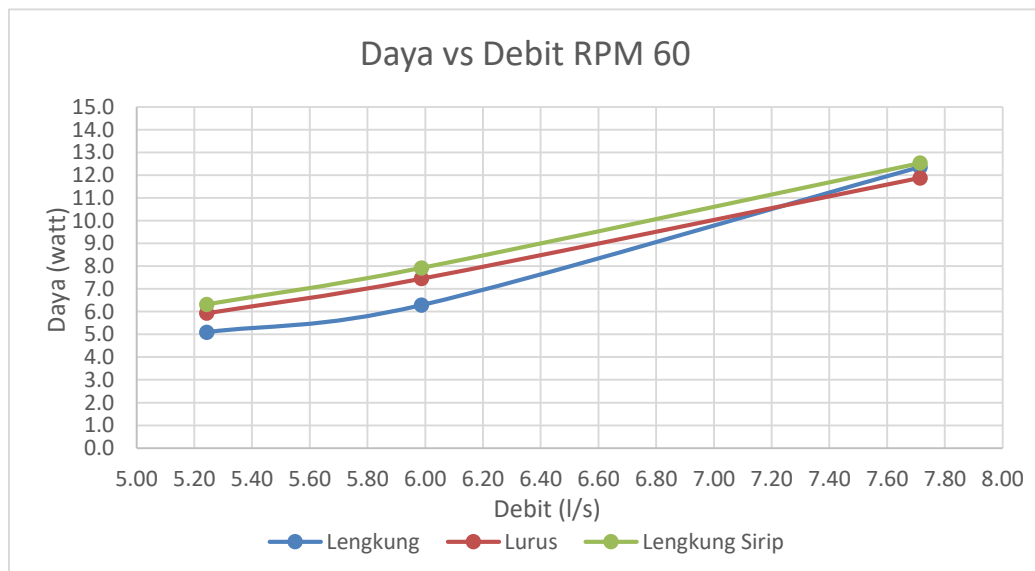
Pada pengujian dengan putaran tetap 60 rpm, besarnya daya turbin pada pengujian untuk masing-masing variasi bentuk sudu putaran 60 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-7.

Tabel 4-7. Daya turbin pada putaran 60 rpm.

Sudu	Debit (l/s)	Torsi (Nm)	Daya poros (Watt)
Lengkung	7,71	1,97	12,4
	5,99	1,00	6,3
	5,24	0,81	5,1
Lurus	7,71	1,89	11,9
	5,99	1,19	7,4
	5,24	0,94	5,9

Sudu	Debit (l/s)	Torsi (Nm)	Daya poros (Watt)
Lengkung sirip	7,71	2,00	12,5
	5,99	1,26	7,9
	5,24	1,01	6,3

Besarnya daya turbin untuk masing-masing variasi bentuk sudu dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9. Grafik daya efektif dibandingkan dengan debit pada putaran 60 rpm

Pada pengujian putaran 60 rpm besar daya terbesar dihasilkan oleh sudu berbentuk lengkung sirip dengan nilai 12,5 Watt dengan debit 7,71 l/s. Sedangkan lengkung dan lurus berhimpitan di debit 7,71 l/s.

Besarnya daya turbin untuk masing-masing bentuk sudu dan variasi debit pada 50 rpm.

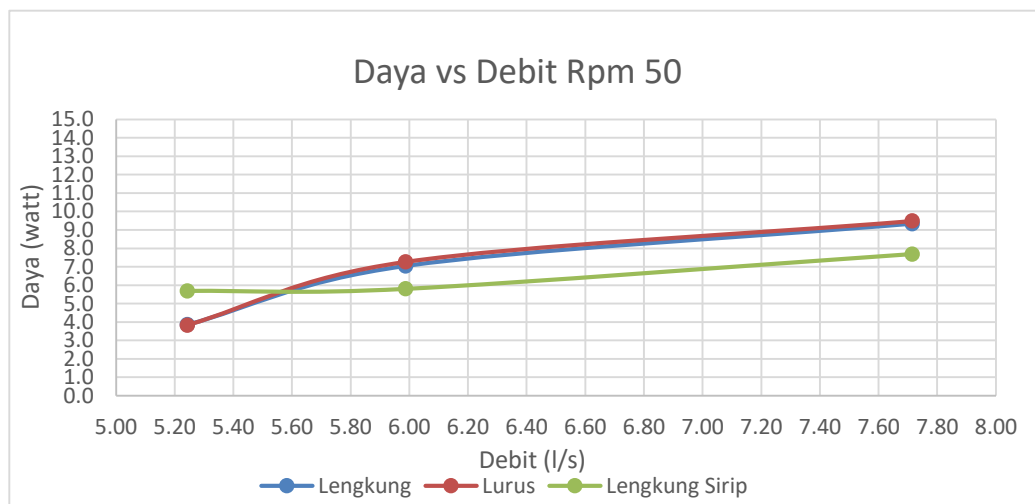
Pada pengujian dengan putaran tetap 50 rpm, besarnya daya turbin pada pengujian untuk masing-masing variasi bentuk sudu putaran tetap 50 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-8.

Tabel 4-8. Nilai efisiensi turbin pada putaran 50 rpm.

Sudu	Debit (l/s)	Torsi (Nm)	Daya poros(Watt)
Lengkung	7,71	1,78	9,3
	5,99	1,35	7,0

Sudu	Debit (l/s)	Torsi (Nm)	Daya poros(Watt)
	5,24	0,74	3,8
Lurus	7,71	1,81	9,5
	5,99	1,39	7,3
	5,24	0,73	3,8
Lengkung sirip	7,71	1,47	7,7
	5,99	1,11	5,8
	5,24	1,09	5,7

Besarnya daya turbin untuk masing-masing variasi bentuk sudu dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4-10.



Gambar 4-10. Grafik daya efektif dibandingkan dengan debit pada putaran 50 rpm

Pada putaran 50 rpm daya turbin paling besar dicapai pada pengujian dengan menggunakan bentuk sudu lurus pada debit 7,71 l/s yaitu 9,5 Watt. Sedangkan pada lengkung sirip terjadi penurunan drastis dengan nilai tertinggi 7,7 Watt.

4.5 Daya Potensi

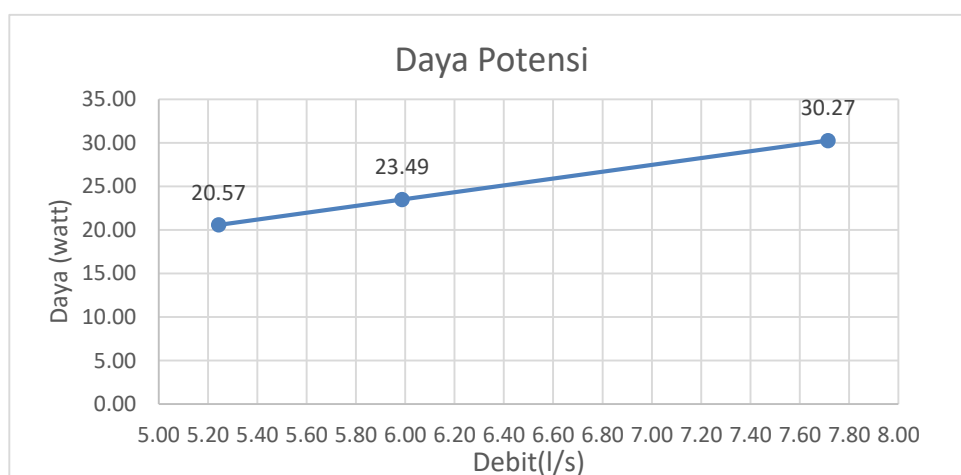
Besarnya nilai daya potensi dicari menggunakan persamaan 2.6

$$\begin{aligned}
 P_{potensi} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \\
 &= (1000 \cdot 9,81 \cdot (7,71 \text{ l/s} / 1000)) \cdot 0,40 \text{ m} \\
 &= 75,635 \cdot 0,40 \text{ m} \\
 &= 30,27 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian dan perhitungan daya potensi dapat dilihat pada Tabel 4-9, Gambar 4-11.

Tabel 4-9. Hasil perhitungan daya potensi

Bukaan katup gas pompa (%)	Debit (l/s)	Head (m)	Daya potensi (Watt)
100	7,71	0,4	30,27
75	5,99	0,4	23,49
50	5,24	0,4	20,57



Gambar 4-11. Grafik daya potensi dibandingkan dengan debit.

Daya potensi terbesar sebesar 30,27 Watt dengan bukaan katup gas pompa 100% atau debit air 7,71 l/s.

4.6 Efisiensi Turbin Vortex

Besarnya nilai efisiensi dicari dengan menggunakan persamaan 2.7.

$$\eta = \frac{P_{eff}}{P_{hid}} \times 100\%$$

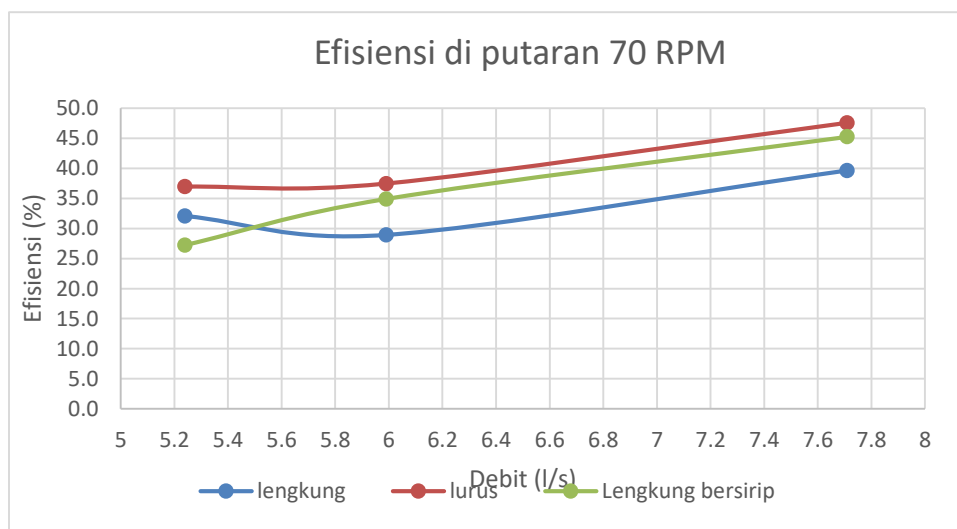
Sehingga efisiensi turbin :

$$\eta = \frac{12W}{30,27W} \times 100\% = 39,6 \%$$

Besarnya efisiensi untuk masing-masing variasi pada putaran 70 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-10 dan Grafik 4-12.

Tabel 4-10. Nilai efisiensi turbin pada putaran 70 rpm

Bentuk sudu	Debit (l/s)	Daya poros (Watt)	Daya potensi (Watt)	Efisiensi (%)
Lengkung	7,71	12	30,27	39,6
	5,99	6,8	23,49	28,9
	5,24	6,6	20,57	32,1
Lurus	7,71	14,4	30,27	47,6
	5,99	8,8	23,49	37,5
	5,24	7,6	20,57	36,9
Lengkung bersirip	7,71	13,7	30,27	45,3
	5,99	8,2	23,49	34,9
	5,24	5,6	20,57	27,2



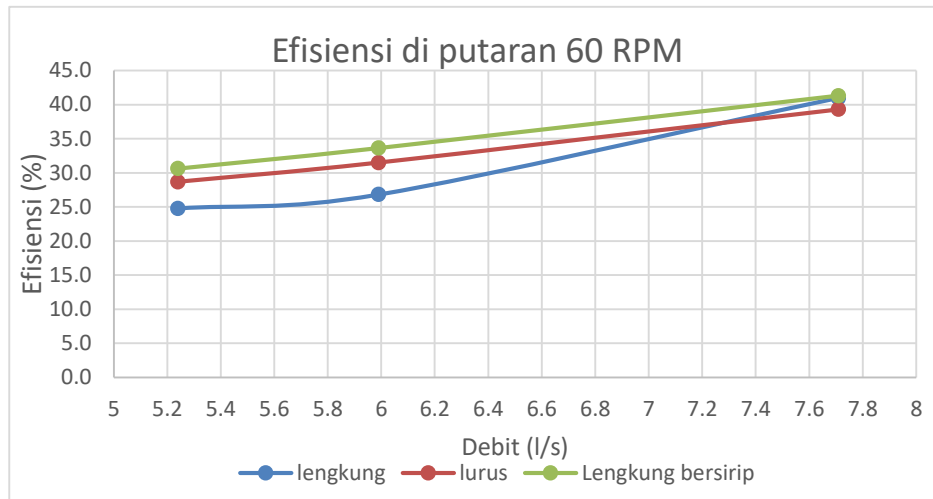
Gambar 4-12. Grafik Pengaruh debit terhadap efisiensi turbin pada putaran 70 rpm

Besarnya efisiensi untuk masing-masing variasi pada putaran 60 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-11 dan Grafik 4-13.

Tabel 4-11. Nilai efisiensi turbin pada putaran 60 rpm

Bentuk sudu	Debit air (l/s)	Daya poros (watt)	Daya potensi (watt)	Efisiensi (%)
Lengkung	7,71	12,4	30,27	41,0
	5,99	6,3	23,49	26,8
	5,24	5,1	20,57	24,8
Lurus	7,71	11,9	30,27	39,3

Bentuk sudu	Debit air (l/s)	Daya poros (watt)	Daya potensi (watt)	Efisiensi (%)
	5,99	7,4	23,49	31,5
	5,24	5,9	20,57	28,7
Lengkung bersirip	7,71	12,5	30,27	41,3
	5,99	7,9	23,49	33,6
	5,24	6,3	20,57	30,6

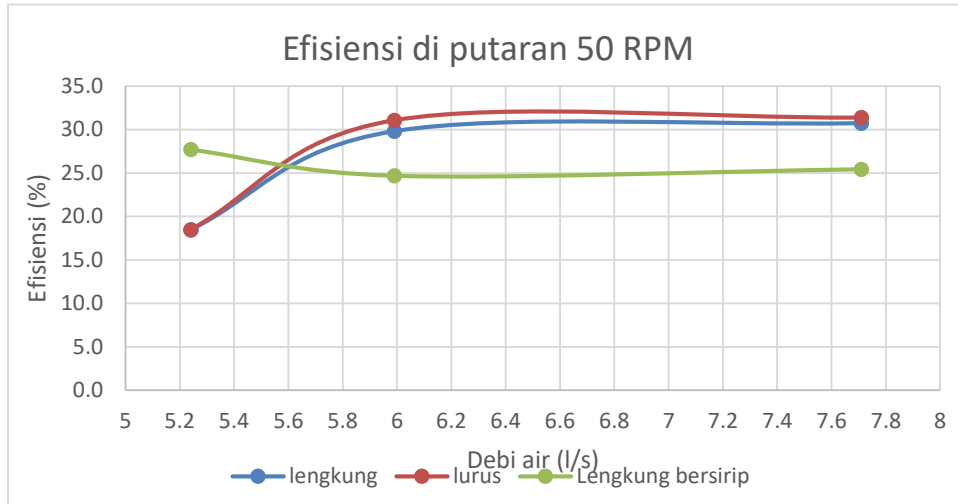


Gambar 4-13. Grafik Pengaruh debit terhadap efisiensi turbin pada putaran 60 rpm

Besarnya efisiensi untuk masing-masing variasi pada putaran 50 rpm dapat dilihat pada Tabel 4-12 dan Gambar 4-14.

Tabel 4-12. Nilai efisiensi turbin pada putaran 50 rpm

Bentuk sudu	Debit air (%)	Daya poros (Watt)	Daya potensi (Watt)	Efisiensi (%)
Lengkung	7,71	9,3	30,27	30,7
	5,99	7	23,49	29,8
	5,24	3,8	20,57	18,5
Lurus	7,71	9,5	30,27	31,4
	5,99	7,3	23,49	31,1
	5,24	3,8	20,57	18,5
Lengkung bersirip	7,71	7,7	30,27	25,4
	5,99	5,8	23,49	24,7
	5,24	5,7	20,57	27,7



Gambar 4-14. Grafik Pengaruh debit terhadap efisiensi turbin pada putaran 50 rpm

Dikarenakan lengkung yang dibuat tidak terlalu besar maka hasilnya tidak berbeda jauh dari sudu berbentuk lurus bahkan saat pengujian pada rpm 70 lurus menjadi yang tertinggi.

4.7 Torsi dan Daya hasil pengujian terbaik dari masing-masing sudu

Data torsi terbaik dapat dilihat pada tabel 4-13.

Tabel 4-13. Data pengujian torsi terbaik.

No	Tipe sudu	Debit (l/s)	Putaran(RPM)	Torsi (Nm)
1	Lurus	7,71	60	1,89
2	Lengkung	7,71	60	1,97
3	Lengkung Sirip	7,71	60	2,00

Nilai torsi terbaik di dapatkan pada pengujian dengan sudu lengkung sirip dengan nilai 2,00 Nm, nilai gaya pengereman berpengaruh kepada torsi yang dihasilkan.

Daya terbaik yang didapatkan dari hasil pngujian ini dapat dilihat pada tabel 4-14

Tabel 4-14. Hasil pengujian daya terbaik.

No	Tipe sudu	Debit (l/s)	Putaran(RPM)	Torsi (Nm)	Daya (Watt)
1	Lurus	7,71	70	1,97	14,4
2	Lengkung	7,71	70	1,63	12,0
3	Lengkung Sirip	7,71	70	1,87	13,7

Daya terbaik di hasilkan dengan pengujian pada sudu lurus dengan daya 14,4 Watt dan debit 7,71 l/s.

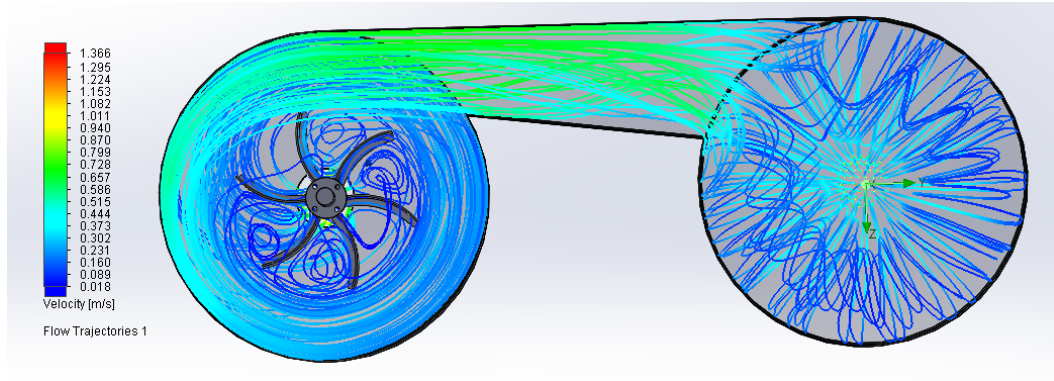
4.8 Sudu Turbin Vortex Lengkung Bersirip

Dalam penelitian ini sudu turbin vortex berbentuk lengkung bersirip dengan jumlah 6 bilah, luas bidang satu permukaan sudu $0,054 m^2$, tinggi sirip 1 cm dengan kemiringan sirip 45° , tinggi 35 cm, diameter 30 cm dapat dilihat pada Gambar 4-15, setelah di uji mempunyai torsi tertinggi dengan 2,0 Nm pada putaran 60 rpm dengan bukaan gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s dan daya terbesar 13,7 Watt pada putaran 70 rpm dengan debit 7,71 l/s.



Gambar 4-15. Sudu Lengkung Sirip

Untuk rpmnya tidak secepat sudu turbin berbentuk lurus karena penambahan sirip mengakibatkan pengurangan vortisitas atau kecepatan air berputar dalam turbin *vortex*, arah aliran turbin *vortex* dapat dilihat pada Gambar 4-16. Simulasi aliran menggunakan *SolidWork* 2015.



Gambar 4-16. Aliran *vortex* lengkung sirip

Semakin kecil sudu diameter turbin maka rpm akan naik karena pada bagian tengah pusaran kecepatan air lebih tinggi dari pada di pinggir kolam *vortex* dan sebaliknya jika diameter sudu dilebarkan maka rpm akan turun tetapi torsi akan meningkat. Berat dari sudu adalah 1,75 kg dengan bahan plat besi tebal 2 mm dan poros menggunakan besi pejal dan besi tabung.

4.9 Sudu Turbin Vortex Lengkung

Sudu lengkung dalam penelitian ini memiliki 6 bilah sudu dengan luasan satu bidang permukaan sudu $0,051 \text{ m}^2$, tinggi 35 cm dan diameter 30 cm. Dapat dilihat pada Gambar 4-17.

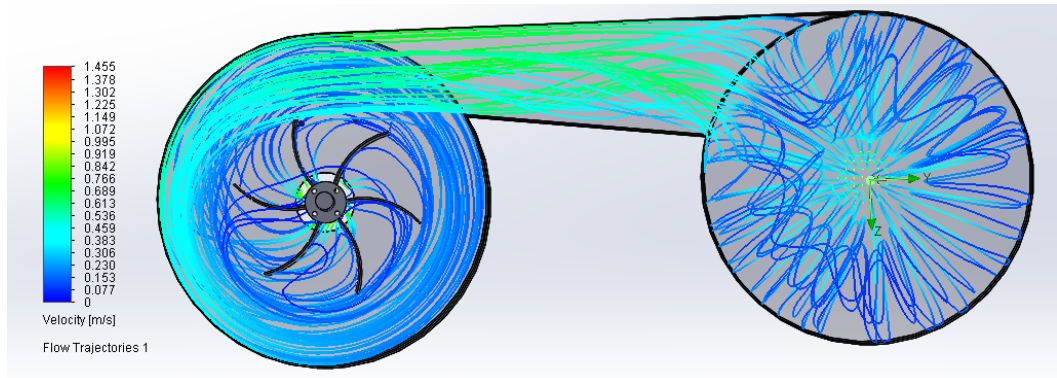


Gambar 4-17. Sudu Lengkung

Setelah melakukan pengujian dapat diamati bahwa turbin lengkung memiliki torsi maksimal 1,97 Nm pada putaran 60 rpm dengan debit 7,71 l/s. Sudu lengkung memiliki torsi yang lumayan bagus dikarenakan luas bidang tumbukan air luas. Arah gaya air melaju lebih cepat ketengah disebabkan bidang yang lengkung, dikarenakan air melaju ketengah banyak air yang langsung terarah jatuh

menuju lubang buang oleh sebab itu sudu turbin ini membutuhkan air yang banyak untuk memulai putaran.

Daya yang dihasilkan maksimal turbin ini didapat pada bukaan katup gas pompa air 100% atau debit 7,71 l/s dengan besaran daya 12,4 Watt pada putaran 70 rpm. Aliran kecepatan sudu lengkung dapat dilihat pada simulasi yang dilakukan dengan *software SolidWork* pada Gambar 4-18.



Gambar 4-18. Aliran *vortex* pada sudu lengkung

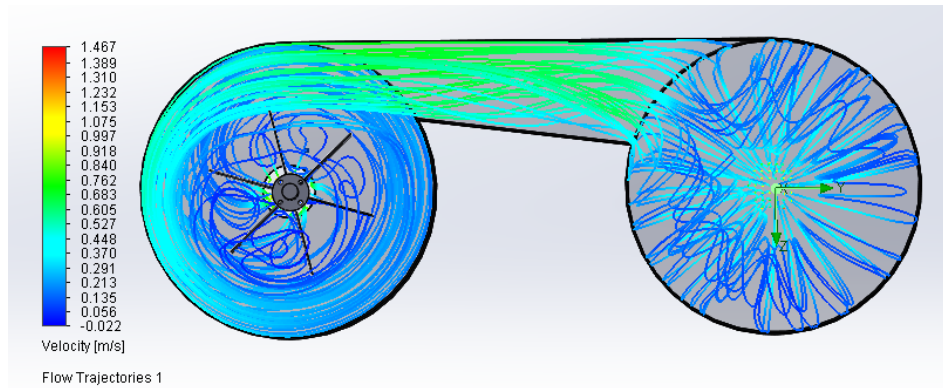
4.10 Sudu Turbin Vortex Lurus

Sudu turbin lurus dalam penelitian ini memiliki 6 bilah sudu dengan luasan satu bidang permukaan sudu $0,047 \text{ m}^2$, tinggi 35 cm, dan diameter 30 cm. Bentuk sudu dapat dilihat pada Gambar 4-19.



Gambar 4-19. Sudu berbentuk lurus

Hasil dari penelitian pada sudu lurus ini dengan keunggulan putaran rpm yang paling tinggi dengan 133 rpm pada bukaan katub gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s. putaran rpm tinggi disebabkan gaya yang bekerja kecil dan luas bidang permukaan yang ditumbuk oleh air lebih kecil dari pada sudu berbentuk lengkung. Aliran simulasi *vortex* pada sudu lurus dapat dilihat pada Gambar 4-20.



Gambar 4-20. Aliran *vortex* pada sudu lurus

Dikarenakan arah gaya tumbukan yang lurus maka torsi yang dihasilkan pada saat rpm 70, dengan nilai torsi 1,97 Nm dengan bukaan katub gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s pada putaran 70 rpm. Untuk daya terbesar yang dihasilkan sebesar 14,4 Watt pada bukaan katub gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s pada putaran 70 rpm.

4.11 Percobaan variasi diameter sudu

Percobaan perubahan diameter sudu dari $\frac{3}{6}$ x jari-jari kolam turbin ke $\frac{2}{6}$ x jari-jari kolam turbin dilakukan karena saat percobaan menggunakan sudu dengan $\frac{3}{6}$ saat dilakukan pengereman di 50 rpm tinggi *head* air menurun di sebabkan tumbukan yang terjadi begitu besar dan ruang di sisi kolam sempit sehingga hilangnya aliran *vortex* yang terjadi pada sisi pinggir kolam turbin *vortex* yang berakibat air langsung jatuh menuju lubang didasar kolam *vortex*.

Modifikasi dilakukan dengan tujuan agar *head* tidak turun, dengan modifikasi ini ketinggian *head* air saat pengujian tidak turun, tetapi saat pengujian dengan diameter sudu $\frac{2}{6}$ x jari-jari kolam, aliran air yang menumbuk permukaan sudu sangat sedikit sehingga gaya dorong yang terjadi sangat kecil, saat dilakukan pengereman yang di rencanakan 70 rpm, 60 rpm dan 50 rpm tidak dapat dilakukan

dikarenakan sebelum mencapai 70 rpm sudu turbin sudah berhenti sehingga tidak bisa dilakukan pengambilan data dapat dilihat pada gambar 4-21.



Gambar 4-21. Sudu yang di tumbuk oleh air.

Untuk bentuk sudu yang di potong atau di modifikasi dapat dilihat pada Gambar 4-22.



Gambar 4-22. Sudu turbin warna kuning yang sudah dipotong dan hijau belum di potong

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Telah dibuat miniatur turbin *vortex* dan sudah di uji menggunakan berbagai bentuk sudu turbin.
2. Dari hasil pengujian torsi yang dilakukan torsi terkecil terdapat pada sudu lurus pada putaran 70 rpm dengan bukaan katup gas pompa air 50% atau debit air 5,24 l/s dengan torsi 0,73 Nm, sedangkan torsi terbesar terjadi pada sudu lengkung sirip pada putaran 60 rpm dengan bukaan gas pompa air 100% atau debit air 7,71 l/s dengan besar torsi 2,00 Nm.
3. Daya terbesar efektif sebesar 14,4 Watt pada sudu turbin lurus pada 70 rpm bukaan katup gas pompa air 100% dengan debit 7,71 l/s dan daya potensi terbesar adalah 30,27 Watt pada bukaan katup gas pompa air 100% dengan debit 7,71 l/s. Sedangkan untuk putaran terbesar terjadi pada sudu lurus dengan putaran 133 rpm dengan bukaan gas pompa air 100% dengan debit 7,71 l/s.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Setelah melakukan percobaan langsung dilapangan maka ada beberapa pengembangan yang dapat dilakukakan untuk penelitian selanjutnya untuk penyempurnaan alat yang telah dibuat.

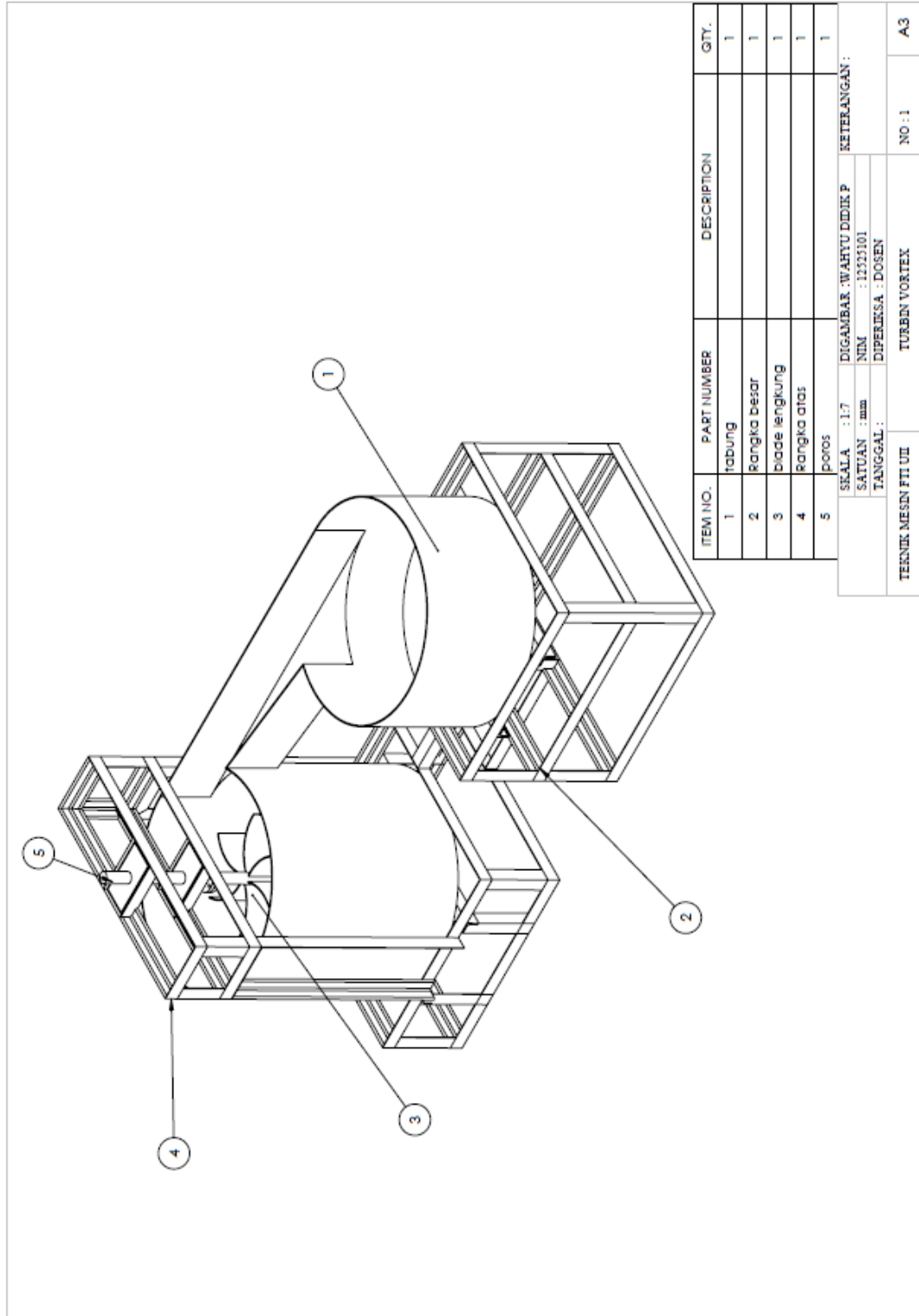
1. Penelitian selanjutnya dapat menambah generator agar turbin dapat di uji sampai menghasilkan listrik, agar mengetahui daya listrik yang dapat di hasilkan oleh turbin *vortex* ini.
2. Bentuk rumah turbin dapat dirubah agar putaran pusaran air dapat meningkat dengan merubah dasar kolam turbin *vortex*.
3. Alat-alat ukur pengujian ditingkatkan kualitasnya dan metode ujinya ditingkatkan agar mendapatkan hasil pengujian yang valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Djuhana.2008 “Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB”. Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercubuana.
- Fritz Dietzel (1990) “ Turbin Pompa Dan Kompresor” Jerman
- Gibran,(2014),”Rancang bangun turbin vortex dengan casing berpenampang lingkaran yang menggunakan sudu diameter 46cm pada 3 variasi jarak antara sudu dan saluran keluar”,USU.
- Hunggul Y.S.H.Nugroho & M.Kudeng S., (2015) “Pembangkit listrik tenaga mikro hidro”,Yogyakarta.
- Indra Bayu S.K,2014, “Analisa perancangan turbin vortex dengan casing berpenampang spiral dan lingkaran dengan 3 variasi dimensi sudu”,USU.
- Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H. 2006.“*Fundamentals Of Fluid Mechanics Fifth Edition*”. Jhon Wiley & Sons Inc.
- Pardede, Petrus Jese Patarmatua. 2015. “Analisa Teoritis Turbin *Vortex* dengan Rumah Turbin Berbentuk Lingkaran dengan Variasi Diameter Saluran Buang, Ketinggian Air dan Diameter Runner”. Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara Medan.
- Thandaveswara, B.S. “*Hydraulics: Rotational and Irrotational Flow*”, Indian Institute of Thechnology Madras
- Widiyatmoko. 2012. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap Daya Output Listrik pada Turbin *Vortex*. Magister Teknik Sistem FT UGM Yogyakarta.
- Warnik,C.C, “HydroPower Engineering”, Prentice Hall, Inc, New York,1989.
- Yusuf Randabunga, (2013) “Pengaruh lebar sudu terhadap kinerja turbin vortex, UGM.
- Zotloterer, Franz. 2002. “*Zotloterer Gravitational Vortex Plant*”.

LAMPIRAN

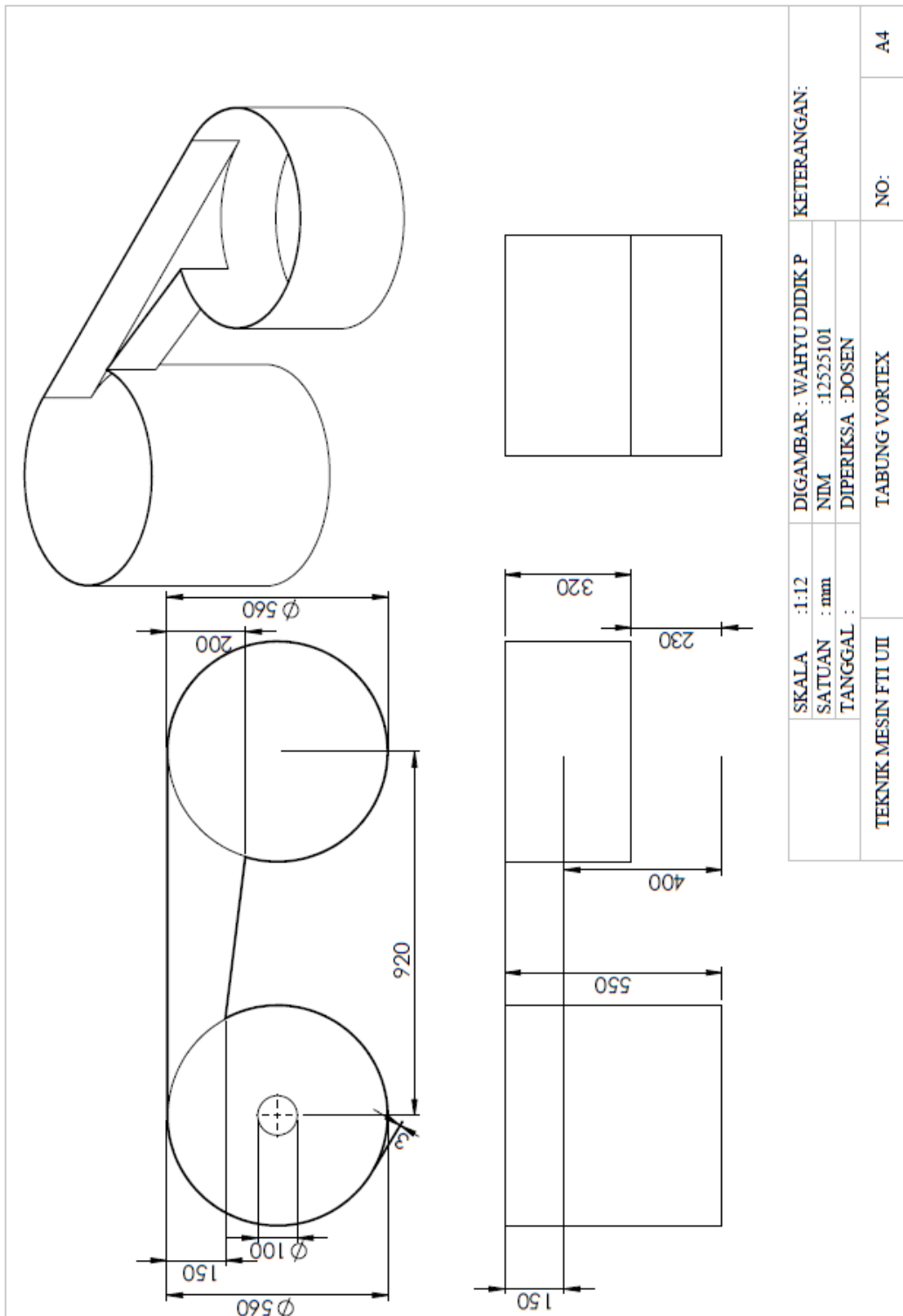
Lampiran 1. Keseluruhan turbin *vortex*



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1		tabung	1
2		Rangka besar	1
3		blade lengkung	1
4		Rangka atas	1
5		poros	1

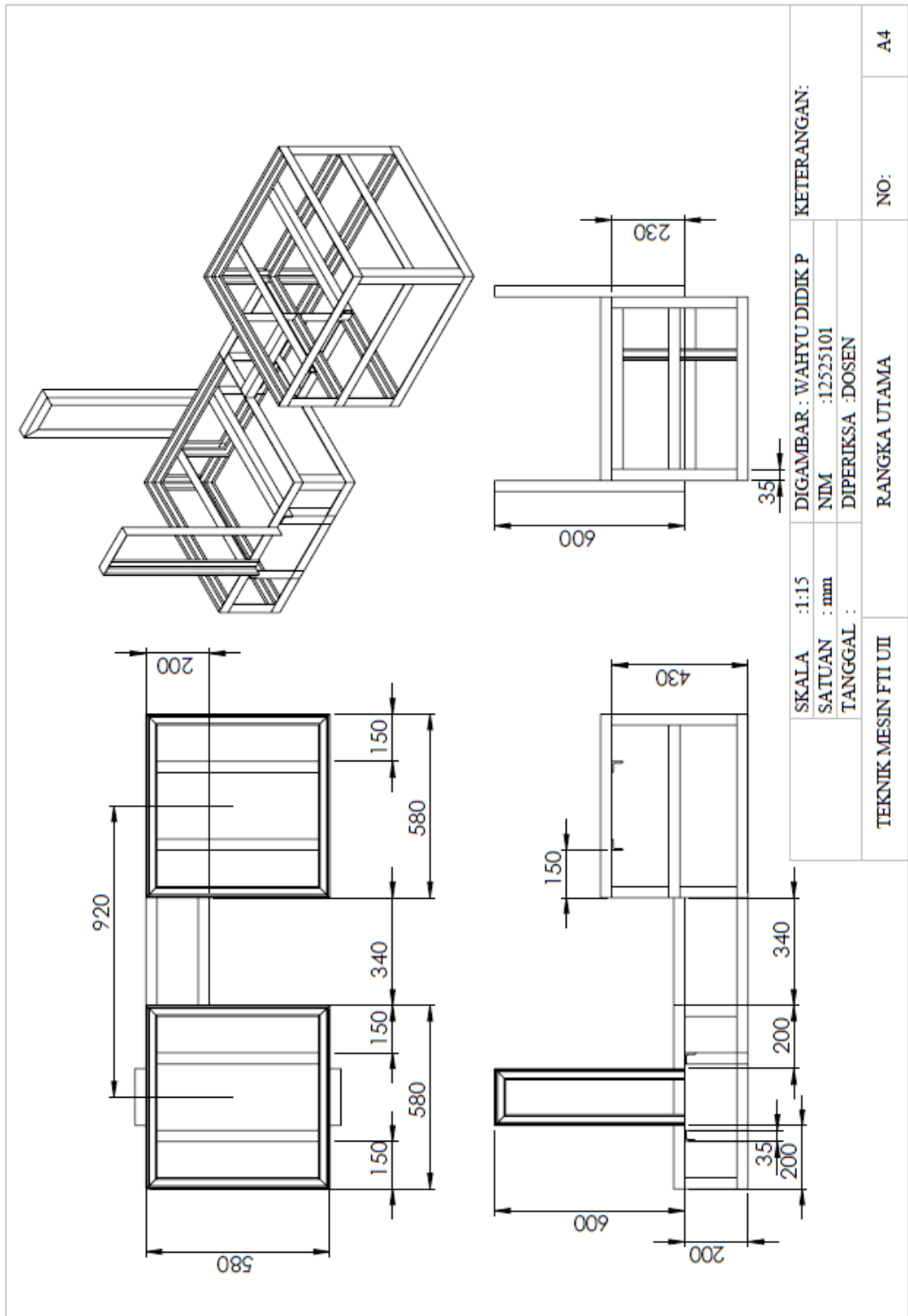
SKALA : 1:7 SATUAN : mm TANGGAL :		DIGAMBAR : WAHYU DIDIK P NIM : 100101 DIPERIKSA : DOSEN	KETERANGAN : TURBIN VORTEX
TEKNIK MESIN FTI UI			NO : 1 A3

Lampiran 2. Tabung kolam vortex.

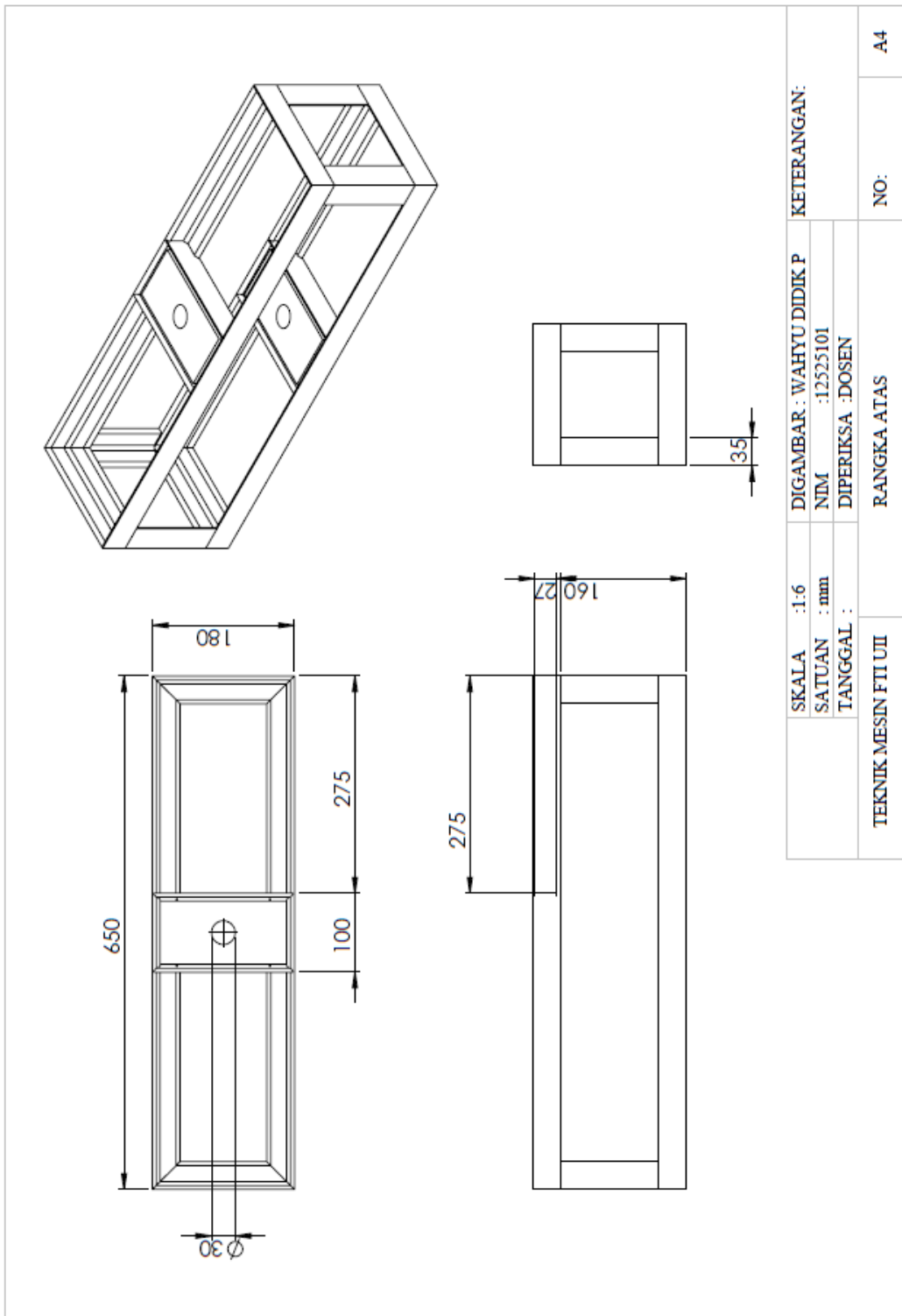


SKALA : 1:12 SATUAN : mm TANGGAL :	DIGAMBAR : WAHYU DIDIK P	KETERANGAN:
	NIM : 12525101	
	DIPERIKSA : DOSEN	
TEKNIK MESIN FTI UII	TABUNG VORTEX	NO:
		A4

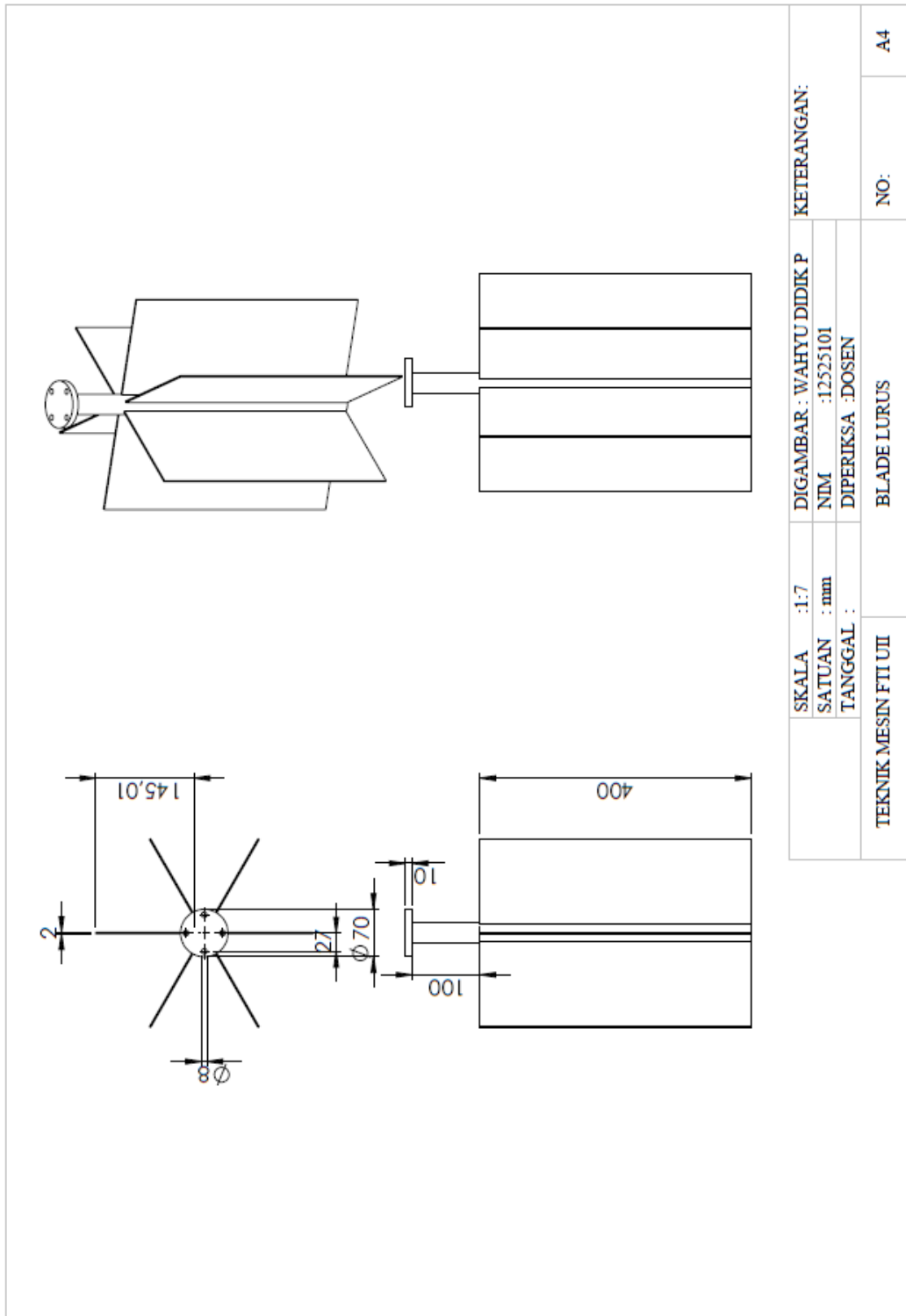
Lampiran 3. Rangka utama turbin vortex.



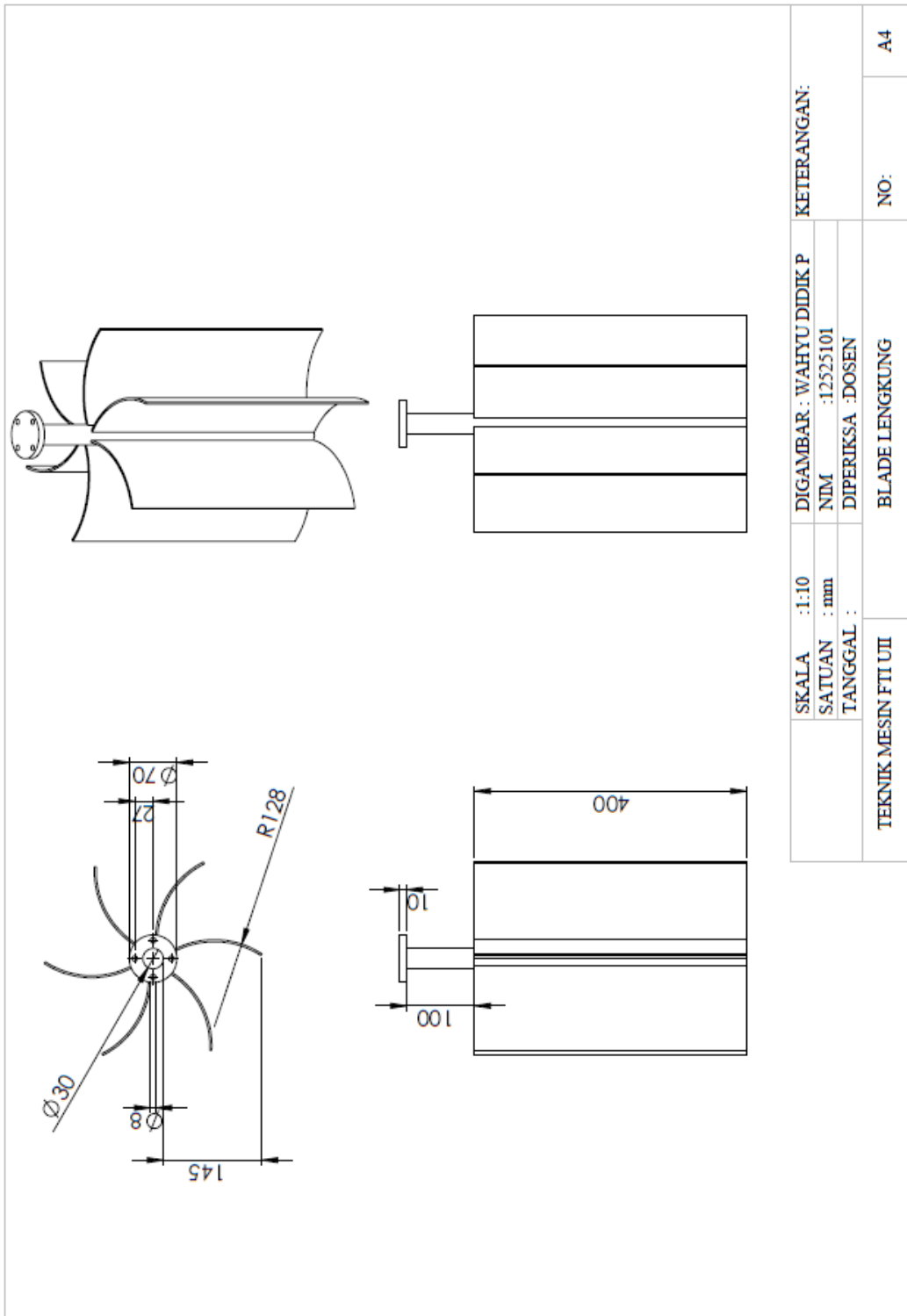
Lampiran 4. Rangka atas turbin *vortex*.



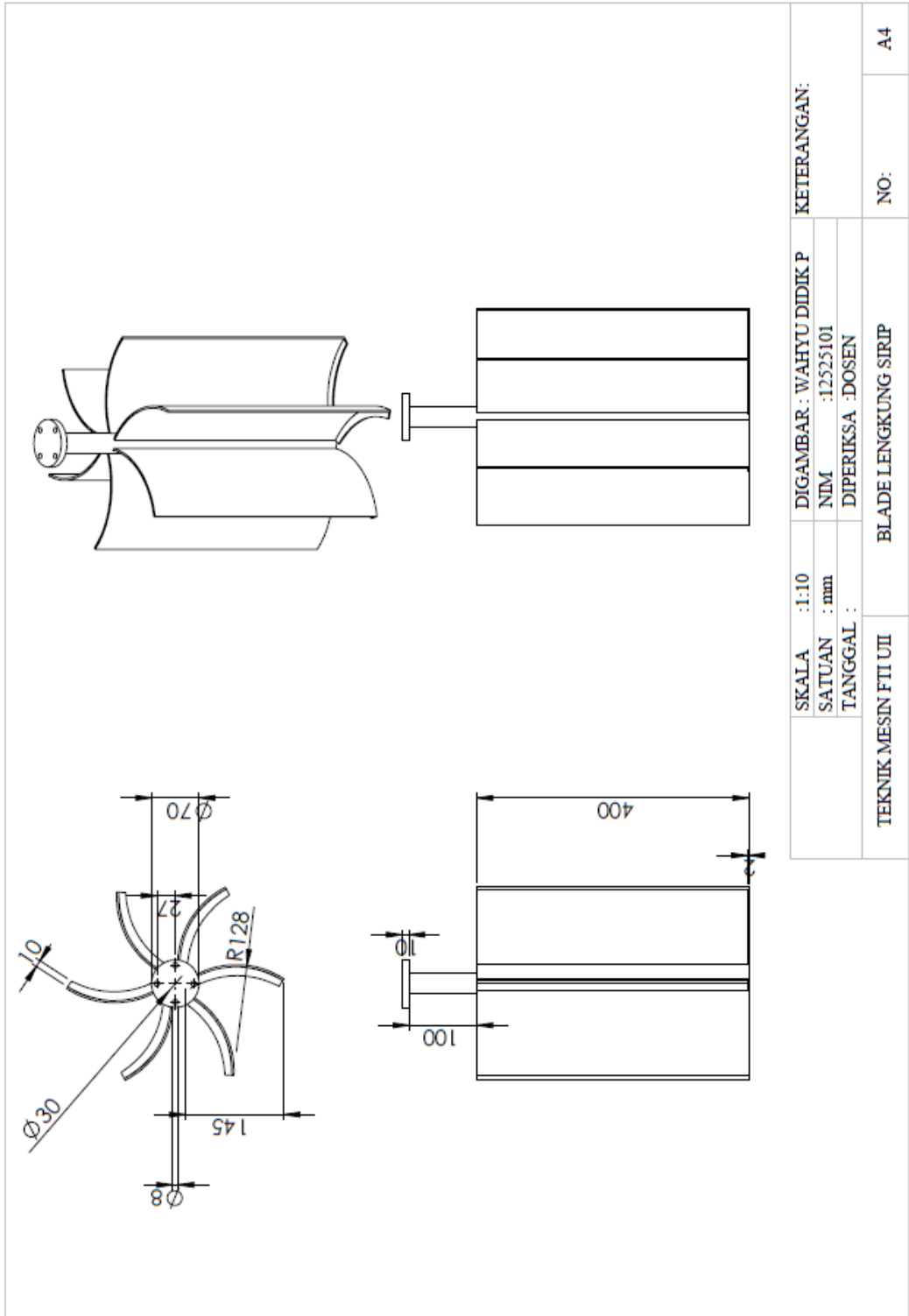
Lampiran 5. Sudu turbin *vortex* lurus.



Lampiran 6. Sudu turbin *vortex* lengkung.



Lampiran 7. Sudu turbin *vortex* lengkung sirip.

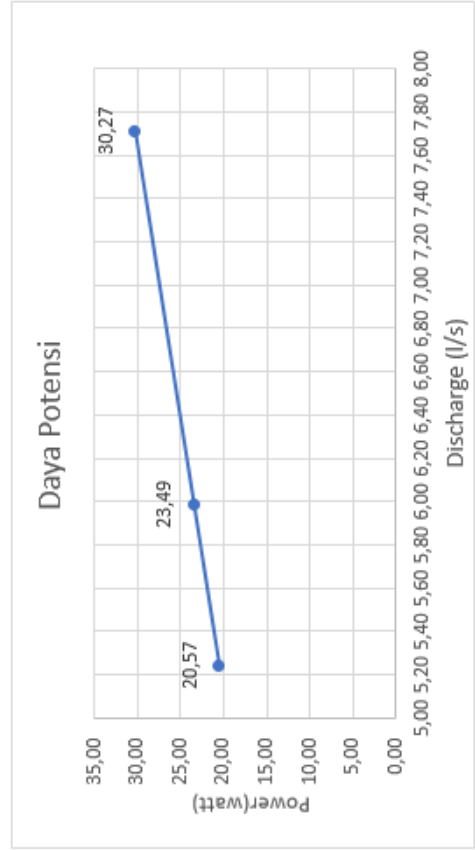
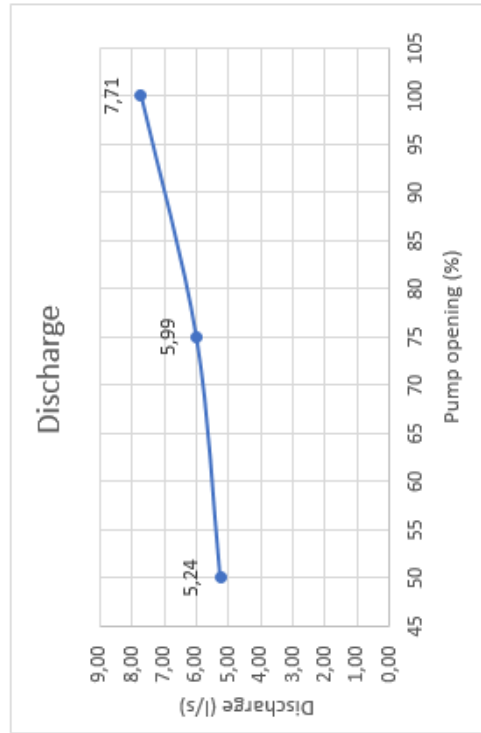


Lampiran 8. Data pengujian potensi turbin vortex

Data pengujian potensi Turbin Vortex

Basin	18 liter
ro air	1000
g	9,81
head	0,4 m

Number	Pump opening variation (degree)	Time variation for discharge			t average	Discharge (l/s)	Power (watt)
		t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)			
1	100	2,4	2,3	2,3	7,71	30,27	
2	75	3,3	3,0	2,8	5,99	23,49	
3	50	3,4	3,5	3,4	5,24	20,57	



Lampiran 9. Data hasil percobaan sudu lengkung

radius	0,2032 m
Basin (liter)	18 liter

Turbin 1

Lengkung

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
70,00	7,327

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,243	1,063	2,4	2,3	2,3	0,82	2,3	8,04	1,63	7,71	12,0
2	75	0,226	0,690	3,3	3,0	2,8	0,46	3,0	4,55	0,92	5,99	6,8
3	50	0,173	0,623	3,4	3,5	3,4	0,45	3,4	4,41	0,90	5,24	6,6

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
60,00	6,280

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,323	1,31	2,4	2,3	2,3	0,99	2,3	9,68	1,97	7,71	12,4
2	75	0,211	0,713	3,3	3,0	2,8	0,50	3,0	4,92	1,00	5,99	6,3
3	50	0,138	0,545	3,4	3,5	3,4	0,41	3,4	3,99	0,81	5,24	5,1

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
50,00	5,233

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,221	1,116	2,4	2,3	2,3	0,90	2,3	8,78	1,78	7,71	9,3
2	75	0,2	0,875	3,3	3,0	2,8	0,68	3,0	6,62	1,35	5,99	7,0
3	50	0,106	0,475	3,4	3,5	3,4	0,37	3,4	3,62	0,74	5,24	3,8

Lampiran 10. Data hasil percobaan sudu lurus

Turbin 2 Lurus

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
70,00	7,327

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,194	1,18	2,4	2,3	2,3	0,99	2,3	9,67	1,97	7,71	14,4
2	75	0,183	0,786	3,3	3,0	2,8	0,60	3,0	5,92	1,20	5,99	8,8
3	50	0,208	0,726	3,4	3,5	3,4	0,52	3,4	5,08	1,03	5,24	7,6

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
60,00	6,280

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,21	1,063	2,4	2,3	2,3	0,85	2,3	8,37	1,89	7,71	11,9
2	75	0,185	0,72	3,3	3,0	2,8	0,54	3,0	5,25	1,19	5,99	7,4
3	50	0,08	0,506	3,4	3,5	3,4	0,43	3,4	4,18	0,94	5,24	5,9

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
50,00	5,233

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,246	1,121	2,4	2,3	2,3	0,88	2,3	8,58	1,81	7,71	9,5
2	75	0,138	0,808	3,3	3,0	2,8	0,67	3,0	6,57	1,39	5,99	7,3
3	50	0,043	0,396	3,4	3,5	3,4	0,35	3,4	3,46	0,73	5,24	3,8

Lampiran 11. Data hasil percobaan sudu lengkung sirip

Turbin 3 Lengkung Sirip

Constant (rpm)	70,00
Omega (rad/s)	7,327

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,585	1,523	2,4	2,3	2,3	0,938	2,33	9,20	1,87	7,71	13,7
2	75	0,19	0,751	3,3	3,0	2,8	0,561	3,0	5,50	1,12	5,99	8,2
3	50	0,055	0,436	3,4	3,5	3,4	0,381	3,4	3,74	0,76	5,24	5,6

Constant (rpm)	60,00
Omega (rad/s)	6,280

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,54	1,44	2,4	2,3	2,3	0,9	2,33	8,83	2,00	7,71	12,5
2	75	0,236	0,805	3,3	3,0	2,8	0,569	3,0	5,58	1,26	5,99	7,9
3	50	0,071	0,525	3,4	3,5	3,4	0,454	3,4	4,45	1,01	5,24	6,3

Constant (rpm)	50,00
Omega (rad/s)	5,233

Number	pump opening	Newtonmeter		Time variation for discharge			delta m (kg)	t average (s)	force (N)	Torque (Nm)	Discharge (l/s)	Power (watt)
		m1 (kg)	m2 (kg)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)						
1	100	0,366	1,075	2,4	2,3	2,3	0,709	2,33	6,96	1,47	7,71	7,7
2	75	0,09	0,625	3,3	3,0	2,8	0,535	3,0	5,25	1,11	5,99	5,8
3	50	0,056	0,581	3,4	3,5	3,4	0,525	3,4	5,15	1,09	5,24	5,7

Lampiran 12. Data hasil uji gaya pengereman sudu lengkung

Turbin1 Lengkung

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
70,00	7,327

Number	Valve opening variation (degree) %	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,265	1,065	0,25	1,065	0,215	1,06	0,243	1,063
2	75	5,99	0,275	0,945	0,215	0,61	0,19	0,515	0,227	0,690
3	50	5,24	0,12	0,62	0,15	0,655	0,16	0,595	0,143	0,623

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
60,00	6,280

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,31	1,26	0,305	1,265	0,355	1,405	0,323	1,310
2	75	5,99	0,235	0,735	0,245	0,85	0,154	0,555	0,211	0,713
3	50	5,24	0,13	0,54	0,1	0,44	0,185	0,655	0,138	0,545

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
50,00	5,233

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,25	1,194	0,224	1,15	0,19	1,005	0,221	1,116
2	75	5,99	0,11	0,77	0,235	0,955	0,255	0,9	0,200	0,875
3	50	5,24	0,174	0,575	0,065	0,445	0,08	0,405	0,106	0,475

Lampiran 13. Data hasil uji gaya pengereman sudu lurus

Turbin2 Lurus	
Constant (rpm)	Omega (rad/s)
70,00	7,327

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,235	1,175	0,134	1,186	0,214	1,18	0,194	1,180
2	75	5,99	0,185	0,785	0,19	0,79	0,175	0,784	0,183	0,786
3	50	5,24	0,195	0,71	0,215	0,712	0,215	0,755	0,208	0,726

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
60,00	6,280

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,265	1,11	0,225	0,93	0,14	1,15	0,210	1,063
2	75	5,99	0,175	0,725	0,205	0,715	0,175	0,72	0,185	0,720
3	50	5,24	0,03	0,325	0,08	0,53	0,13	0,664	0,080	0,506

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
50,00	5,233

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,215	1,105	0,26	1,135	0,264	1,124	0,246	1,121
2	75	5,99	0,115	0,865	0,15	0,76	0,15	0,8	0,138	0,808
3	50	5,24	0,04	0,405	0,04	0,38	0,05	0,404	0,043	0,396

Lampiran 14. Data hasil uji gaya pengereman sudu lengkung sirip

Turbin2 Lengkung Sirip	
Constant (rpm)	Omega (rad/s)
70,00	7,327

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,57	1,515	0,55	1,55	0,635	1,505	0,585	1,523
2	75	5,99	0,15	0,58	0,135	0,73	0,285	0,944	0,190	0,751
3	50	5,24	0,045	0,335	0,065	0,402	0,055	0,57	0,055	0,436

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
60,00	6,280

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,635	1,605	0,51	1,392	0,485	1,31	0,54	1,44
2	75	5,99	0,285	0,955	0,244	0,71	0,18	0,75	0,236	0,805
3	50	5,24	0,061	0,517	0,07	0,523	0,081	0,534	0,071	0,525

Constant (rpm)	Omega (rad/s)
50,00	5,233

Number	Valve opening variation (degree)%	Debit (l/s)	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Rata-rata	
			m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)	m1 (kg)	m2 (kg)
1	100	7,71	0,373	1,075	0,37	1,07	0,356	1,08	0,366	1,075
2	75	5,99	0,075	0,555	0,095	0,645	0,1	0,675	0,090	0,625
3	50	5,24	0,04	0,57	0,059	0,59	0,07	0,584	0,056	0,581