

**PENGARUH VARIASI LEBAR SUDU MANGKOK TERHADAP
KINERJA TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN
MINAT KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



UJIBURRAHMAN
NIM. 176060200111001

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

TESIS

PENGARUH VARIASI LEBAR SUDU MANGKOK TERHADAP KINERJA TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL

Oleh:

UJIBURRAHMAN
NIM. 176060200111001

Telah dipertahankan didepan penguji
Pada tanggal 3 Desember 2019
Dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin

Komisi Pembimbing,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Malang, 18 DEC 2019

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T.
NIP. 197507022000032001

IDENTITAS PENGUJI**JUDUL TESIS**

Pengaruh Variasi Lebar sudu Mangkok terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Vertikal

Nama Mahasiswa : Ujiburrahman
NIM : 176060200111001
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Minat : Konversi Energi

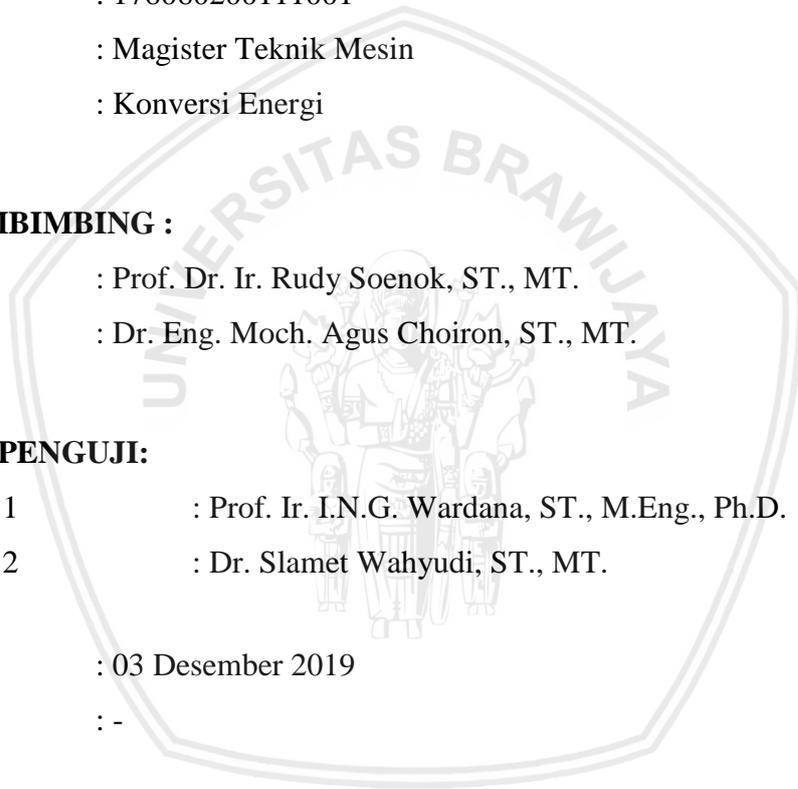
KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenok, ST., MT.
Anggota : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, ST., M.Eng., Ph.D.
Dosen Penguji 2 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

Tanggal Ujian : 03 Desember 2019
SK Penguji : -





Halaman ini sengaja dikosongkan.

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 3 Desember 2019

Mahasiswa,



Nama : Ujiburrahman

NIM : 176060200111001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN

TURNTIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 1440/UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :
UJIBURRAHMAN

Dengan Judul Tesis :

**PENGARUH VARIASI LEBAR SUDU MANGKOK TERHADAP KINERJA TURBIN KINETIK
POROS VERTIKAL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

12 Desember 2019



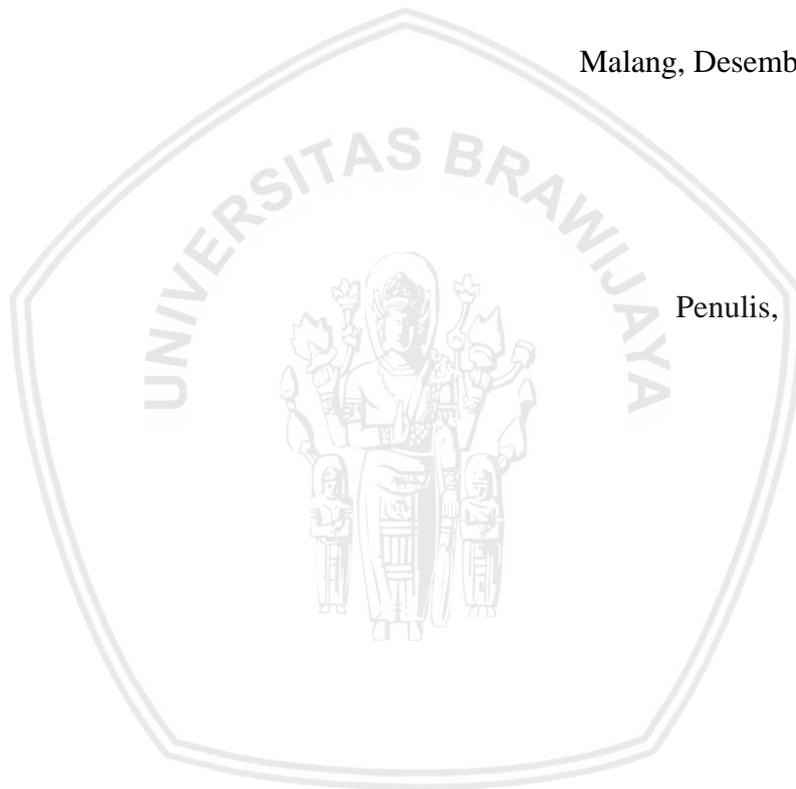
Ketua Program Studi S2 Teknik Mesin

Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT
NIP. 19750702 200003 2 001

RIWAYAT HIDUP

Ujiburrahman, Ngali, 19 Oktober 1991 anak dari ayah Arifin Adam Daud dan Ibu Sumarni, SD sampai SMA di Kabupaten Bima lulus SMA tahun 2009, lulus program sarjana teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram tahun 2015.

Malang, Desember 2019



Penulis,



Halaman ini sengaja dikosongkan.

PERUNTUKAN

KARYA TESIS INI KUTUJUKAN KEPADA
IBUNDA SUMARNI, S.Pd DAN AYAHANDA ARIFIN,
IBUNDA NENO ROSMALA DAN AYAHANDA YUSUF THALIB,
SELURUH KELUARGA BESAR.





Halaman ini sengaja dikosongkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT Yang Maha pengasih dan penyayang atas segala berkat, bimbingan dan karuniaNya. Salam serta shalawat senantiasa penulis haturkan kepada penghulu para nabi, baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Apresiasi dan terimakasih yang dalam penulis persembahkan kepada Ibunda dan Ayahanda tercinta, atas dorongan yang kuat, kebijaksanaan dan do'a.

Selanjutnya penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng., Sc, selaku Pembimbing I dan Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST.,MT., selaku pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan arahan selama proses penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana., M.Eng., Ph.D selaku penguji I dan bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT., selaku penguji II yang telah memberikan saran dan masukan selama proses penyelesaian tesis ini.
3. Ibu Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT., selaku Ketua Program studi Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan masukan-masukan selama proses perkuliahan.
6. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memeberikan pelayanan terbaik selama proses perkuliahan.
7. Teman-teman seperjuangan program Magister Teknik Mesin Univresitas Brawijaya.

Ucapan terimakasih secara khusus penulis sampaikan kepada adik tercinta Khuluqin Karim dan Syukran Syakur.





Halaman ini sengaja dikosongkan.

RINGKASAN

Ujiburrahman, Program Magister Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2019, *Pengaruh Variasi Lebar Sudu Mangkok terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Vertikal*, Dosen Pembimbing : Rudy Soenoko dan Moch. Agus Choiron.

Turbin kinetik merupakan perangkat yang dapat merubah energi kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik. Berbagai konsep turbin kinetik telah diusulkan salah satu diantaranya adalah turbin kinetik poros vertikal. Beberapa keuntungan turbin kinetik jenis poros vertikal yaitu tidak membutuhkan ketinggian air, massa jenis energi yang dibangkitkan lebih besar dan pemasangan atau perawatan generator lebih mudah. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memperbaiki kinerja turbin kinetik poros vertikal baik dengan metode eksperimental maupun dengan metode numerik. Penelitian sebelumnya menunjukkan berbagai faktor seperti debit aliran, dimensi dan geometri sudu adalah beberapa variabel yang mempengaruhi kinerja turbin kinetik. Dalam upaya meningkatkan kinerja turbin kinetik dibutuhkan pemahaman yang baik terhadap faktor yang mempengaruhinya. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi lebar sudu mangkok terhadap unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental nyata pada skala laboratorium. Pengujian dilakukan pada turbin kinetik poros vertikal dengan variasi lebar sudu 8 cm, 9 cm dan 10 cm. Setiap turbin diuji pada variasi debit air 45 m³/jam, 50 m³/jam, 55 m³/jam, 60 m³/jam dan 65 m³/jam dan variasi putaran 100 rpm, 80 rpm, 60 rpm, 40 rpm dan 20 rpm. Selanjutnya perilaku aliran pada sudu-sudu turbin direkam dalam bentuk rekaman video kemudian akan ditampilkan dan dijelaskan dalam bentuk rentetan gambar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi lebar sudu mangkok mempengaruhi kinerja turbin kinetik poros vertikal, dimana semakin lebar sudu mangkok maka kinerja turbin semakin meningkat. Kinerja tertinggi diperoleh pada turbin dengan variasi lebar sudu mangkok 10 cm dengan kondisi debit 65 m³/jam dan putaran 80 rpm. Pada kondisi tersebut daya yang dihasilkan turbin kinetik adalah 12,98 Watt dan efisiensinya 34,07%. Turbin kinetik dengan lebar sudu lebih besar memperoleh energi mekanik yang lebih tinggi dikarenakan masa aliran yang menumbuk sudu lebih besar. Selain itu, luasan penampang sudu yang lebih besar dapat memaksimalkan momentum energi kinetik aliran selama aliran melewati sudu.

Kata kunci : Sudu mangkok, turbin kinetik, lebar sudu, kinerja turbin



Halaman ini sengaja dikosongkan.

SUMMARY

Ujiburrahman, *Master Program of Mechanical Engineering, Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2019, The Effect of Bowl Blade Width Variations on The Performance of Vertical Shaft Kinetic Turbine, Academic Supervisor : Rudy Soenoko and Moch. Agus Choiron.*

The kinetic turbine is a device that can convert kinetic energy from water flow into mechanical energy. Various kinetic turbine concepts have been proposed, one of turbine type is vertical shaft kinetic turbine. The advantages of vertical shaft type kinetic turbine are the water level is not required, greater density of energy generated and easier installation or maintenance of generators. Several research has been done to improve the performance of vertical shaft kinetic turbines by using experimental methods and numerical methods. Previous research shows various factors such as flowrate, dimensions and blade geometry are the variables that affect kinetic turbine performance. In an effort to improve the performance of kinetic turbines requires a good understanding of the factors that influence it. Therefore the purpose of this study is to determine the effect of the variation of the bowl blade width on the performance of the vertical shaft kinetic turbine.

The method used in this study is a real experimental at a laboratory scale. The test is carried out on a vertical shaft kinetic turbine with a blade width variation of 8 cm, 9 cm and 10 cm. Each turbine was tested on variations in water discharge of 45 m³/h, 50 m³/h, 55 m³/h, 60 m³/h and 65 m³/h and rotation variations of 100 rpm, 80 rpm, 60 rpm, 40 rpm and 20 rpm. Furthermore, the visual test has been conducted to observe the flow behavior in the turbine blade.

The results showed that the variation of the bowl blade width affects the performance of the vertical shaft kinetic turbine. The wider the bowl blade, the turbine performance increases. The highest performance was obtained in turbines with 10 cm bowl blade width with 65 m³/h discharge conditions and 80 rpm rotation. In these conditions the power produced by the kinetic turbine is 12.98 Watt and the efficiency is 34.07 %. Kinetic turbines with larger blade widths obtain higher mechanical energy due to the mass flow that hits the blade larger. In addition, a larger blade cross-sectional area can maximize the kinetic energy of the flow as the flow passes through the blade.

Keywords: Bowl blades, kinetic turbine, blade width, turbine performance



Halaman ini sengaja dikosongkan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya yang telah diberikan sehingga atas izin-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan Tesis ini tepat pada waktunya. Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di program Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan judul **“Pengaruh Variasi Lebar Sudu Mangkok terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Vertikal”**.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan dimasa yang akan datang. Tesis ini dapat diselesaikan tak lepas dari campur tangan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT., selaku Ketua Program studi Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng., Sc, selaku Pembimbing I dan Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST.,MT., selaku pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan arahan selama proses penyelesaian tesis ini.
4. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana., M.Eng., Ph.D selaku penguji I dan bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT., selaku penguji II yang telah memberikan saran dan masukan selama proses penyelesaian tesis ini.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan masukan-masukan selama proses perkuliahan.
6. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memeberikan pelayanan terbaik selama proses perkuliahan.
7. Seluruh pihak yang terlibat dalam proses penyelesaian tesis ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis mengucapkan mohon maaf apabila ada kekurangan dan kehilafan dalam tesis ini. Semoga penelitian tesis ini dapat diterima dan memberikan manfaat bagi kita semua.



Malang, Desember 2019

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
IDENTITAS PENGUJI.....	v
PERNYATAAN ORISINALITAS	vii
SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI	ix
RIWAYAT HIDUP	xi
PERUNTUKAN	xiii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY	xix
KATA PENGANTAR	xxi
DAFTAR ISI	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR GAMBAR	xxvii
DAFTAR SIMBOL	xxix
DAFTAR LAMPIRAN	xxxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air	7
2.3 Turbin Air	9
2.4 Klasifikasi Turbin Air.....	10
2.5 Turbin Kinetik	14
2.6 Sudu Mangkok.....	18

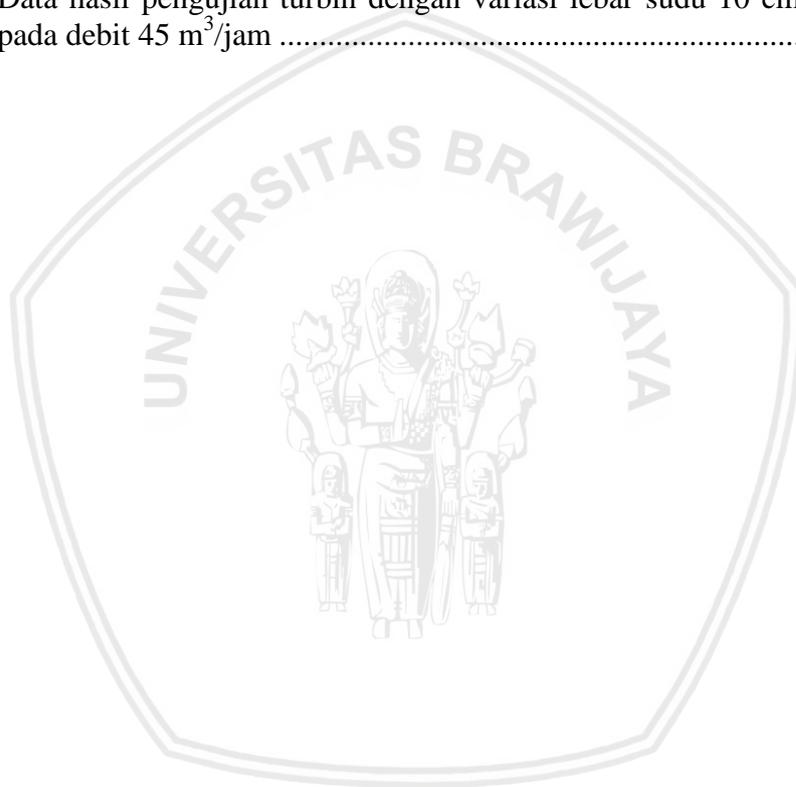


BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	23
3.1 Deskripsi Penelitian.....	23
3.2 Kerangka Konsep Penelitian	23
3.3 Hipotesis.....	25
BAB IV METODE PENELITIAN.....	27
4.1 Variabel Penelitian	27
4.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
4.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
4.4 Instalasi Alat Penelitian	31
4.5 Dimensi Sudu Mangkok.....	32
4.6 Instalasi Visualisasi	33
4.7 Prosedur Penelitian.....	33
4.8 Teknik Pengolahan Data	34
4.9 Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	37
5.1 Hasil.....	37
5.1.1 Data Pengujian	37
5.1.2 Pengolahan Data.....	38
5.2 Pembahasan	43
5.2.1 Daya Turbin.....	41
5.2.2 Efisiensi Turbin	47
5.2.3 Kinerja Turbin pada Putaran 80 RPM.....	50
5.2.4 Segitiga Kecepatan.....	53
5.2.5 Visualisasi Aliran	57
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
6.1 Kesimpulan.....	59
6.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	63



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Keterangan gambar instalasi pengujian turbin kinetik.....	32
Tabel 5.1	Data hasil pengujian turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm pada debit 45 m ³ /jam	37
Tabel 5.2	Data hasil pengujian turbin dengan variasi lebar sudu 9 cm pada debit 45 m ³ /jam	38
Tabel 5.3	Data hasil pengujian turbin dengan variasi lebar sudu 10 cm pada debit 45 m ³ /jam	38





Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Instalasi turbin untuk tinggi terjun < 10 m.	9
Gambar 2.2	Instalasi turbin air untuk tinggi terjun > 50 m.	10
Gambar 2.3	Turbin pelton dua pemancar	11
Gambar 2.4	Turbin impuls Turgo	11
Gambar 2.5	Turbin aliran menyilang (cross flow)	12
Gambar 2.6	Turbin Francis	12
Gambar 2.7	Turbin Kaplan	13
Gambar 2.8	Turbin propeler	14
Gambar 2.9	Grafik aktifitas perkembangan turbin kinetik	14
Gambar 2.10	Grafik aktifitas perkembangan turbin kinetik	15
Gambar 2.11	Runner turbin kinetik bersudu mangkok.....	19
Gambar 2.12	Skematik segitiga kecepatan pada sudu	21
Gambar 3.1	Diagram alir kerangka konsep	23
Gambar 4.1	Runner turbin kinetik	28
Gambar 4.2	Dimensi saluran air	28
Gambar 4.3	Flow meter	29
Gambar 4.4	Flow watch.....	29
Gambar 4.5	Tacho meter	30
Gambar 4.6	Neraca pegas	30
Gambar 4.7	Kamera DLSR.....	30
Gambar 4.8	Lampu Sorot.....	31
Gambar 4.9	Tripot.....	31
Gambar 4.10	Tampak atas instalasi penelitian	31
Gambar 4.11	Skematik 3D Instalasi penelitian	32
Gambar 4.12	Instalasi visualisasi.....	33
Gambar 4.13	Diagram alir penelitian	35
Gambar 5.1	Posisi Gaya.....	37
Gambar 5.1	Grafik putaran terhadap daya turbin pada variasi debit.....	46
Gambar 5.2	Perilaku aliran pada sisi masuk.....	47



Gambar 5.3	Grafik debit terhadap efisiensi turbin pada variasi putaran	49
Gambar 5.4	Grafik kinerja turbin pada putaran 80 rpm	50
Gambar 5.5	Komponen Segitiga Kecepatan	53
Gambar 5.6	Frame hasil rekaman perilaku aliran	54
Gambar 5.7	Perilaku aliran pada kinerja maksimum	55
Gambar 5.8	Perilaku aliran pada efisiensi turbin rendah	56
Gambar 5.10	Perilaku aliran pada daya turbin minimum.....	57



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data hasil pengujian.....	63
Lampiran 2.	Data hasil perhitungan.	71
Lampiran 3.	Rekam data pengukuran.....	75
Lampiran 4.	Instalasi & Roda turbin	77





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Simbol	Satuan
Kecepatan aliran	v	m/detik
Volume	V	m^3
Kecepatan tangensial	u	m/detik
Kecepatan relatif	w	m/detik
Kapasitas air	Q	$m^3/detik$
Gaya tangensial	F_t	N
Gaya aksial	F_a	N
Energi air	E_a	Joule
Daya air	P_a	Watt
Daya turbin	P_t	Watt
Putaran	n	rpm
Torsi	T	N.m
Massa aliran	\dot{m}	kg/s
Massa pembebanan	m	kg
Radius Pully	R	m
Jari – jari sudu	r	m
Tinggi aliran	t	m
Lebar aliran	l	m
Luas aliran	A	m^2
Densitas air	ρ	kg/m^3
Sudut input	α	derajat
Sudut output	β	derajat
Efisiensi	η	%





Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi dan pemanasan global yang timbul karena pemakaian energi fosil telah mengarahkan perhatian untuk mencari sumber energi baru dan terbarukan sebagai sumber produksi energi yang efisien dan berkelanjutan (Fouz et al, 2019). Sumber energi hidrokinetik hadir sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang paling terdepan yang dapat dikembangkan dalam bentuk sederhana dan mempunyai potensi besar dalam mengurangi dampak pada lingkungan (Aghsae & Markfort, 2018 & Junior et al, 2015). Energi hidrokinetik merupakan sumber energi yang tersedia dari dalam aliran sungai dan saluran air dengan kecepatan air yang cukup untuk menggerakkan sudu turbin kinetik (Guerra, 2019). Teknologi hidrokinetik berdasar pada teknik mengubah energi kinetik air seperti sungai menjadi energi mekanik dan menjadi teknologi menjanjikan untuk masa depan. Dampak buruk terhadap lingkungan lebih sedikit dibandingkan turbin konvensional karena lebih sedikit membutuhkan konstruksi bangunan dengan demikian jejak yang ditinggalkan bisa diminimalisir (Holanda et al, 2016 & Riglin et al, 2016).

Jika konsumsi energi dibagi berdasarkan kebutuhan jenis energi maka sebagian besar konsumsi energi di Indonesia dipakai dalam bentuk pembakaran dan listrik. Diketahui bahwa pada tahun 2016 sumber pembangkit energi listrik sebagian besar berasal dari energi fosil yaitu sebesar 90% dari keseluruhan pembangkit listrik yang ada. Sementara sisanya bersumber dari beberapa energi terbarukan seperti energi panas bumi, energi air, dan energi angin. Dari dominasi pemakaian energi fosil maka saat ini Indonesia berupaya mengoptimalkan sumber energi baru terbarukan sebagai penyedia energi nasional (Ditjen Ebtke, 2017). Salah satu energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah energi air. Energi air merupakan sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Di sisi lain, pembangunan bendungan tidak begitu sederhana karena tingginya biaya investasi, dampak pada ekosistem dan banyak kendala lainnya telah menjadi penghambat pengembangan pembangkit listrik tenaga air. Hal ini dapat dilihat dari fakta bahwa sumber potensi *hydropower* untuk skala makro dan mikro tersebar di Indonesia dengan total perkiraan sampai 75.000. MW, namun demikian pemanfaatan dari potensi tersebut masih sekitar 9 %. (Ditjen Ebtke, 2015).

Lago et al. (2010) telah meninjau sejumlah teknologi energi alternatif termasuk mengubah energi kinetik aliran air. Penelitian ini telah menyelidiki berbagai konsep penggunaan energi PLTA seperti, sungai, samudera dan aliran irigasi. Kesulitan pembangunan bendungan telah menyebabkan kecenderungan pemanfaatan energi gerak yang dihasilkan langsung dari aliran air untuk pembangkit listrik, namun laju aliran pada umumnya rendah. Oleh karena itu ada kebutuhan untuk mendisain turbin yang sesuai untuk aliran dengan kecepatan yang relatif rendah. Salah satu perangkat pembangkit energi yang sesuai saat ini adalah turbin kinetik, turbin jenis ini mampu untuk mengkonversi potensi energi yang tersimpan dalam aliran dengan kecepatan 0,01 – 2,8 m/s menjadi energi listrik (Soenoko et al, 2011).

Selain sesuai dengan keadaan energi yang tersedia, penggunaan turbin kinetik juga sangat menguntungkan ditinjau dari pengaplikasian praktis karena memiliki bentuk yang sederhana, mudah dibuat dan pemeliharaannya. Meski demikian masih terdapat kekurangan pada turbin kinetik seperti putaran yang dihasilkan tidak stabil dan masih rendahnya efisiensi (soenoko et al, 2011). Tidak seperti pembangkit listrik konvensional dimana efisiensi dari turbin kinetik tidak bergantung pada Betz limit yang memberikan nilai maksimum efisiensi secara teoritis yaitu 59 % (Betz et al, 2014). Turbin kinetik sendiri bisa dibagi ke dalam 2 kelompok yaitu poros vertikal dan horisontal (Santos et al, 2019). Beberapa keuntungan turbin kinetik jenis poros vertikal yaitu tidak membutuhkan ketinggian air, massa jenis energi yang dibangkitkan lebih besar dan pemasangan atau perawatan generator lebih mudah (Niebhur et al, 2019). Karena itu banyak studi yang telah dilakukan untuk memperbaiki kinerja turbin kinetik poros vertikal baik secara eksperimental maupun dengan metode numerik (Ramos et al, 2014 & Patel et al, 2018).

Unjuk kerja turbin kinetik telah diselidiki secara eksperimental dengan variasi jumlah sudu 5, 7, 9 dan 11. Jenis sudu yang digunakan adalah bentuk mangkok, hasil yang diperoleh menunjukkan semakin banyak jumlah sudu maka kinerja dari turbin kinetik akan meningkat (Pieterzt et al, 2013). Bertambahnya panjang sudu dan besar debit aliran pada saluran turbin akan meningkatkan kinerja turbin kinetik. Hal ini telah ditunjukkan dalam penelitian dimana kinerja turbin maksimum terjadi diputaran 80 rpm pada panjang sudu 12 cm dengan daya sebesar 25,455 Watt dan efisiensi sebesar 42,457 %. Penelitian ini juga menjelaskan peningkatan kinerja turbin terjadi karena adanya penambahan massa aliran yang menumbuk sudu turbin sehingga gaya tangensial yang dihasilkan meningkat dan gaya tangensial tersebut mempengaruhi torsi, daya dan efisiensi turbin kinetik (Yani, 2012). Perbedaan sudut input pada sudu mangkok juga berpengaruh terhadap kinerja turbin

kinetik. Dari beberapa variasi sudut input sudu mangkok yang diteliti kinerja turbin dengan sudut input sudu mangkok 10° lebih tinggi daripada 15° dan 20° . Semakin kecil sudut input sudu mangkok maka kelengkungan sudu semakin besar sehingga semakin besar pula gaya tangensial, torsi, daya dan efisiensi dari turbin. Kinerja turbin kinetik maksimum terjadi pada sudut input sudu mangkok 10° diputaran 100 rpm dengan daya yang dihasilkan sebesar 18,841 Watt dan efisiensi sebesar 37,648 % (Anam et al, 2013).

Pemakaian bentuk sudu yang berbeda juga mempengaruhi karakteristik daya dan efisiensi turbin. Daya maksimum yang dibangkitkan dan efisiensi maksimum turbin dengan sudu mangkok lebih besar dibandingkan dengan turbin dengan sudu setengah silinder. Namun perbedaan yang diperoleh relatif kecil atau cenderung sama (Bono & Indarto, 2008). Pengaruh sudut pengarah dan jumlah sudu pada sudu radius berengsel luar terhadap kinerja turbin kinetik diselidiki secara eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan kinerja turbin kinetik maksimum terjadi pada sudut pengarah aliran 35° dan jumlah sudu 12 (Maidangkay et al, 2014).

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian diatas dapat dikemukakan bahwa penggunaan sudu bentuk mangkok dapat memperbesar gaya tangensial yang akan meningkatkan kinerja turbin kinetik. Sementara itu kinerja turbin kinetik jenis sudu mangkok itu sendiri dapat ditingkatkan dengan menambah masa aliran air yang menumbuk sudu turbin. Ukuran lebar sudu berkaitan erat dengan luasan sudu dimana hal ini akan mempengaruhi besarnya massa aliran yang menumbuk sudu dan pada akhirnya menentukan besarnya efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan menguji atau mendemonstrasikan variasi lebar sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik.

1.2 Rumusan Masalah

Menurut uraian latar belakang di atas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi lebar sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik poros vertikal.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan pada penulisan ini dapat dibatasi pada kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Posisi poros turbin adalah vertikal.
2. Tidak ada pengaruh tegangan geser dari dinding.
3. Kondisi aliran *steady state*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik poros vertikal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah :

1. Menambah literatur dalam perkembangan bidang penelitian energi baru dan terbarukan khususnya topik energi air.
2. Sebagai sumber acuan dalam pengembangan disain turbin kinetik yang sesuai dengan kebutuhan praktis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Yani et al. (2012), melakukan penelitian pada turbin kinetik poros vertikal jenis sudu mangkok. Pengujian dilakukan untuk mengamati perbedaan variasi panjang sudu mangkok terhadap kinerja yang dihasilkan turbin. Hasil penelitian menunjukkan perubahan panjang sudu mangkok berpengaruh terhadap daya dan efisiensi turbin kinetik. Kinerja turbin maksimum terjadi diputaran 80 rpm pada variasi panjang sudu 12 cm dengan daya dan efisiensi yang dihasilkan berturut-turut adalah 25,455 Watt dan 42,457 %.

Maidangkay et al. (2014), melakukan penelitian pengaruh sudut pengarah aliran dan jumlah sudu radius berengsel luar terhadap kinerja turbin kinetik. Kesimpulan penelitian menunjukkan jumlah sudu dan sudut pengarah aliran berpengaruh terhadap kinerja turbin kinetik. Dari pengujian variasi sudut pengarah dan jumlah sudu didapatkan kinerja turbin kinetik maksimum terjadi pada sudut pengarah aliran 35° , jumlah sudu 12, putaran 90 rpm, kapasitas air $50 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan dengan daya yang dihasilkan sebesar 21,365 Watt, efisiensi sebesar 33,241 % dan torsi sebesar 3,864 N.m.

Pietersz et al. (2012), melakukan penelitian berdasarkan pengaruh jumlah sudu yang divariasikan dalam menghasilkan daya turbin yang optimal. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa jumlah sudu mempengaruhi kinerja dari turbin kinetik, dimana jumlah sudu 11 memiliki kinerja lebih tinggi dari jumlah sudu 5, 7 dan 9 terutama pada putaran 100 rpm daya yang dihasilkan sebesar 20,41 Watt pada debit air $0.016 \text{ m}^3/\text{s}$. Jumlah sudu 11 kinerja (daya dan efisiensi) tertinggi berada pada putaran 100 rpm yakni sebesar 20,41 Watt dan efisiensinya 71,42 %. Torsi maksimum terjadi pada sudu 11 dengan debit air $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ putaran 20 rpm sebesar 3,73 N.m sedangkan torsi minimum terjadi pada sudu 5 dengan debit air $0.013 \text{ m}^3/\text{s}$ pada putaran 100 rpm yakni sebesar 0,53 N.m.

Anam et al. (2013), melakukan penelitian pengaruh variasi sudut input sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut input sudu mangkok berpengaruh terhadap kinerja turbin kinetik. Dari beberapa variasi sudut input sudu mangkok yang diteliti, kinerja turbin dengan sudut input sudu mangkok 10° lebih tinggi daripada 15° dan 20° . Kinerja turbin kinetik maksimum terjadi pada sudut input sudu mangkok 10° , putaran 100 rpm dengan daya yang dihasilkan sebesar 18,841 Watt

dan efisiensi sebesar 37,648 %. Dalam penelitian tersebut juga disimpulkan bahwa Semakin kecil sudut input sudu mangkok, maka kelengkungan sudu semakin besar. Semakin besar kelengkungan sudu mangkok, semakin besar pula gaya tangensial, torsi, daya dan efisiensi dari turbin.

Yani et al. (2016), penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi bentuk sudu terhadap kinerja turbin air kinetik. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh bentuk sudu terhadap daya dan efisiensi turbin kinetik, yaitu bentuk sudu lengkung memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sudu datar dan mangkok. Daya dan efisiensi turbin maksimum terjadi pada sudu lengkung dengan nilai sebesar 4,699 Watt dan 29,659 %, kemudian menurun pada sudu mangkok dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 4,508 Watt dan 28,457 %. Sedangkan daya dan efisiensi turbin terendah terjadi pada sudu datar dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 3,080 Watt dan 19,439 %.

Rusman et al. (2012), melakukan penelitian pengaruh sudut pengarah aliran terhadap kinerja turbin kinetik jenis sudu mangkok. Hasil yang diperoleh menunjukkan sudut pengarah aliran berpengaruh pada kinerja (daya dan efisiensi) turbin kinetik. Kinerja maksimum terjadi pada sudut pengarah aliran 10° , debit aliran $0,018 \text{ m}^3/\text{s}$ dan putaran 80 rpm.

Irawan et al. (2012), penelitian yang dilakukan adalah pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik. Hasil yang diperoleh adalah sudut sudu berpengaruh pada kinerja turbin kinetik. Dari ketiga variasi yang diuji didapatkan bahwa sudut sudu paling efektif yaitu pada sudut sudu mundur 15° . Kinerja maksimum didapatkan pada debit $0,018 \text{ m}^3/\text{s}$ dan pada putaran 80 rpm dimana nilai daya dan efisiensi turbin berturut-turut adalah 22,76 Watt dan 38 %.

Ohoirenan et al. (2012), membandingkan jumlah sudu terhadap kinerja turbin kinetik roda tunggal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa jumlah sudu mempengaruhi kinerja dari turbin kinetik dimana jumlah sudu 8 bilah memiliki kinerja lebih tinggi dibandingkan jumlah sudu 6 dan 7 terutama pada putaran 100 rpm dan 80 rpm. Kinerja turbin tertinggi diperoleh pada kondisi putaran 80 rpm, debit $0,018 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan jumlah sudu 8 bilah dimana nilai daya dan efisiensi turbin yang didapatkan berturut-turut adalah 22,76 Watt dan 37,92 %.

Bono & Indarto. (2008), Penelitian yang dilakukan adalah bertujuan untuk meneliti turbin pelton untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan variasi bentuk Sudu. Hasil dari penelitian menyimpulkan bahwa karakteristik daya dan

efisiensi pada sudu mangkok maupun sudu setengah silinder memiliki kecenderungan yang sama. Daya maksimum yang dibangkitkan turbin dengan sudu mangkok sebesar 98,77 Watt, sedangkan pada sudu setengah silinder sebesar 91,88 Watt. Pada kondisi ini perbedaan daya yang terjadi antara sudu mangkok dengan sudu setengah silinder sebesar 6,89 Watt atau 6,96 % terhadap sudu mangkok. Efisiensi maksimum turbin dengan sudu mangkok sebesar 57,01 %, sedangkan efisiensi maksimum dengan sudu setengah silinder sebesar 53,03 %.

Lempoy et al. (2019), penelitian dilakukan pada turbin kinetik poros vertikal. Membandingkan bentuk sudu mangkok dan radius serta melakukan optimalisasi tiga variabel yaitu sudut pengarah, kecepatan aliran dan putaran pada masing-masing turbin. Hasil penelitian pada bentuk sudu lengkung diperoleh daya turbin maksimum sebesar 5,97 Watt pada kombinasi variabel bebas: sudut pengarah $35,753^\circ$, kecepatan aliran 2,7838 m/s dan putaran turbin 61,82 rpm. Efisiensi turbin maksimum sebesar 19,74 % pada kombinasi variabel bebas: sudut pengarah $55,46^\circ$, kecepatan aliran 1,359 m/s, dan putaran turbin 61,82 rpm. Sedangkan pada sudu mangkok didapat hasil bahwa daya turbin maksimum sebesar 7,85 Watt pada seting kombinasi variabel bebas: sudut pengarah $33,71^\circ$, kecepatan aliran 2,701 m/s dan putaran turbin 61,82 rpm. Efisiensi turbin maksimum sebesar 30,91 % pada kombinasi variabel bebas: sudut pengarah $56,82^\circ$, kecepatan aliran 1,359 m/s, dan putaran turbin 61,82 rpm.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan atau energi kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan dari sistem ini biasa disebut sebagai hidroelektrik. Empat komponen utama dari PLTA ialah waduk atau bendungan, saluran pelimpah (pembawa air), gedung sentral (powerhouse) dan serandang hubung (switchyard) atau unit transmisi yang mengalirkan produksi listrik ke konsumen.

Secara sederhana prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial menjadi energi mekanik dengan bantuan turbin air dan dari energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan generator.

2.2.1 Jenis-jenis PLTA

Secara umum PLTA dapat dibagi dalam beberapa jenis. Berdasarkan ketinggian terjun dan aliran air maka PLTA dapat dibagi dalam jenis-jenis antara lain :

1. PLTA jenis terusan air (water way) adalah pembangkit listrik yang memiliki air (intake) di hulu sungai dan mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan

kemiringan yang agak kecil. Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dan kemiringan sungai.

2. PLTA jenis DAM atau bendungan adalah pembangkit listrik dengan bendungan yang melintang disungai, pembuatan bendungan ini dimaksudkan untuk menaikkan permukaan air di bagian hulu sungai guna membangkitkan energi potensial yang lebih besar sebagai pembangkit listrik.
3. PLTA jenis terusan dan DAM atau campuran adalah pembangkit listrik yang menggunakan gabungan dari dua jenis sebelumnya, jadi energi potensial yang diperoleh berasal dari bendungan dan terusan.
4. PLTA jenis aliran sungai langsung atau *run of river* banyak dipakai dalam PLTA saluran air atau terusan, jenis ini membangkitkan listrik dengan memanfaatkan aliran sungai itu sendiri secara alamiah.
5. PLTA dengan kolam pengatur atau *regulating pond* merupakan jenis pembangkit yang mengatur aliran sungai dengan menggunakan kolam pengatur yang dibangun melintang sungai dan membangkitkan listrik sesuai dengan beban.
6. PLTA jenis waduk atau *reservoir* dibuat dengan cara membangun suatu waduk yang melintang sungai, sehingga terbentuk seperti danau buatan, atau dapat dibuat dari danau asli sebagai penampung air hujan sebagai cadangan untuk musim kemarau.
7. PLTA jenis pompa atau *pumped storage* adalah jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air yang berlebihan ketika musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang saat tengah malam. Pada kondisi demikian sebagian turbin berfungsi sebagai pompa untuk memompa air yang di hilir ke hulu. Jadi pembangkit ini memanfaatkan kembali air yang dipakai saat beban puncak dan dipompa ke atas lagi saat beban puncak terlewati.

2.2.2 Bagian - Bagian PLTA

Adapun rangkain dasar PLTA adalah terdiri dari bagian - bagian sebagai berikut :

1. Bendungan

Bendungan berfungsi untuk menampung air dalam jumlah yang cukup besar sebagai pasokan air untuk menggerakkan turbin.

2. Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan menumbuk sudu – sudu dari turbin sehingga turbin bekerja. Perputaran turbin

kemudian dikopel ke generator sehingga generator ikut berputar dan menghasilkan listrik.

3. Generator

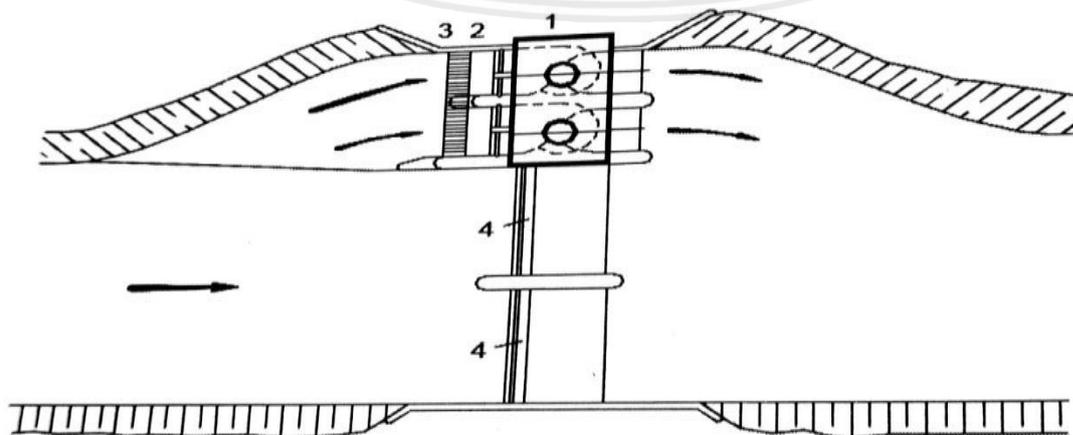
Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan *gearbox*. Generator berfungsi untuk memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet di dalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus listrik jenis AC.

4. Transmisi

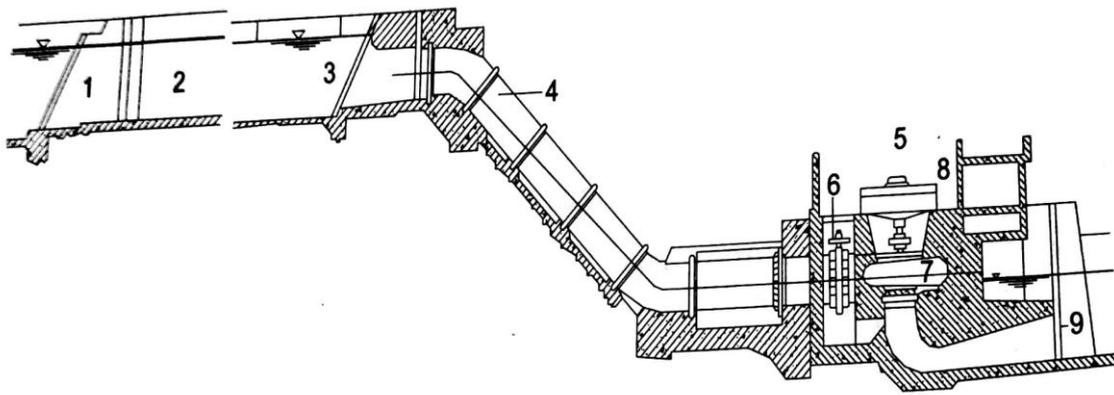
Transmisi berfungsi untuk mengalirkan listrik dari PLTA ke gardu distribusi. Sebelum listrik dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari tegangannya diturunkan dengan trafo *step down* di gardu distribusi. Arus yang keluar dari trafo distribusi adalah sebesar tegangan yang bisa digunakan di rumah-rumah yaitu sekitar 220 Volt.

2.3 Turbin Air

Turbin air adalah salah satu mesin penggerak yang mana fluida kerjanya adalah air. Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis dengan memanfaatkan ketinggian air yang dinamakan head (H). Untuk pemanfaatan energi air dibutuhkan bangunan air yang khusus. Perbedaan antara permukaan air diperoleh dengan membangun suatu dam, dimana ketinggian air akan bergantung pada kondisi dan tempat. Pada sungai-sungai dataran rendah, biasanya ditempatkan dekat rumah turbin, seperti terlihat pada gambar 2.1. Sedangkan pada sungai-sungai dataran tinggi dam dibuat dengan jarak tertentu dari rumah turbin seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Air sampai ke turbin melalui saluran yang disebut pipa pesat.



Gambar 2.1 Instalasi turbin untuk tinggi terjun < 10 m. 1. Rumah Turbin; 2. pintu masuk; 3. kisi – kisi; 4. Bendungan.
Sumber: Himran (2017,p.2).



Gambar 2.2 Instalasi turbin air untuk tinggi terjun > 50 m. 1. Bagian *input*; 2. Saluran; 3. Reservoir; 4. Pipa pesat; 5. Rumah turbin; 6. Kran; 7. Turbin; 8. Genertor; 9. Bagian pengeluaran.

Sumber: Himran (2017,p.2).

2.4 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dibagi atas dua kelas yaitu turbin impuls (aksi) dan reaksi. Pada turbin impuls head efektif diubah menjadi energi kinetik sebelum masuk sudu gerak. Daya yang diekstraksi oleh sudu turbin berada pada tekanan atmosfer. Pada turbin reaksi, sudu gerak terendam di dalam air dan memiliki profil khusus berbentuk *airfoil* sehingga tekanan dan kecepatan air berkurang dari seksi masuk sampai seksi keluar sudu gerak.

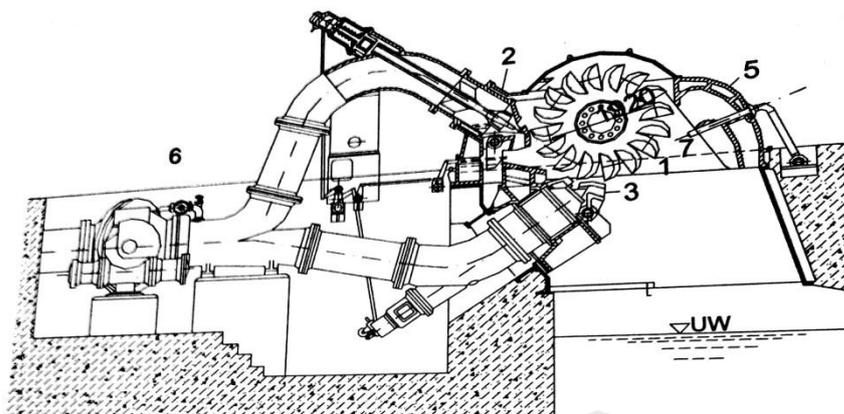
2.4.1 Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (energi potensial, energi tekanan dan energi kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi mekanik pada sudu turbin. Turbin impuls memanfaatkan energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dengan nosel. Air yang keluar dari nosel mempunyai kecepatan tinggi menumbuk sudu turbin. Setelah menumbuk sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls) yang mengakibatkan roda turbin akan berputar. Turbin impuls memiliki tekanan sama karena aliran air yang keluar dari tekanan nosel tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitar nosel. Adapun jenis dari turbin impuls adalah sebagai berikut :

1. Turbin Pelton

Turbin pelton adalah salah satu jenis turbin impuls dimana satu atau lebih semburan air mengenai roda pembawa dimana pada ujung roda pembawa tersebut terdapat sejumlah *bucket*. Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari nosel. Turbin pelton cocok digunakan untuk head

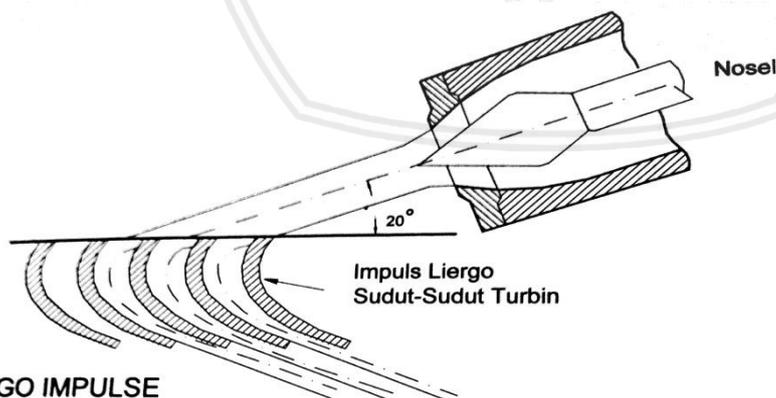
yang tinggi dan merupakan salah satu jenis turbin yang sangat efisien. Turbin pelton dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Turbin pelton dua pemancar.
Sumber: Himran (2017, p.10).

2. Turbin Turgo

Turbin turgo adalah jenis turbin yang dapat dioperasikan pada head antara 30 – 300 m. Semburan air akan membentur bidang datar terlebih dahulu, kemudian masuk atau mengalir ke sudu dari turbin tersebut pada sudut 20° . Air masuk melalui salah satu titik dari penggerak dan akan keluar dari sisi yang lain. Selain itu turbin turgo juga dapat menampung air yang tidak terbatas, dibandingkan dengan turbin pelton yang memiliki daya tampung dari air yang akan melalui sudunya terbatas dikarenakan arah air yang meninggalkan sudu berlawanan dengan arah air yang akan menuju ke sudu. Turbin turgo dapat dilihat pada gambar 2.4.

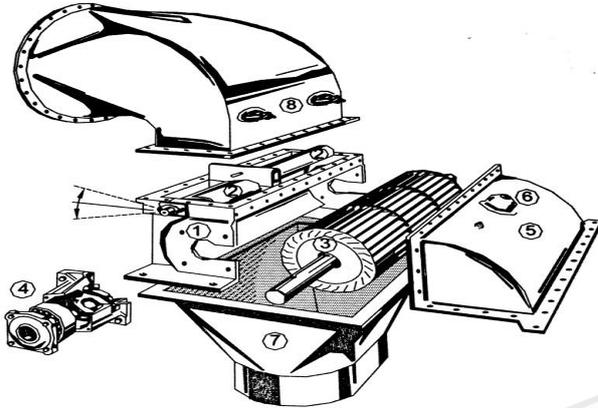


Gambar 2.4 Turbin impuls Turgo.
Sumber: Himran (2017, p.10).

3. Turbin *Cross-flow*

Turbin ini juga dikenal dengan *banki-michell* untuk mengenang penemunya serta *ossberger* yaitu salah satu perusahaan yang telah mengembangkan turbin tersebut selama lebih dari 50 tahu. Turbin ini digunakan untuk head yang lebih tinggi

dibandingkan turbin jenis kaplan, francis dan pelton. Turbin *cross-flow* dapat dilihat pada gambar 2.5.



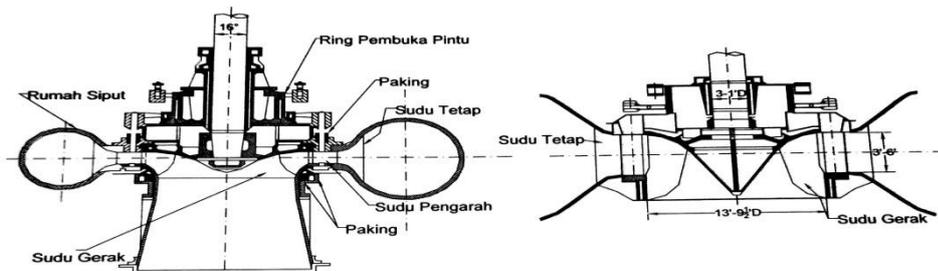
Gambar 2.5 Turbin aliran menyalang (cross-flow) Mitchel-Ossberger.
Sumber: Himran (2017, p.11).

2.4.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan seluruh energi air (energi potensial, kinetik dan tekanan) untuk menghasilkan energi kineik pada sudu turbin. Sudu pada turbin reaksi memiliki profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama mengalir melewati sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner dari turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Adapun jenis-jenis turbin reaksi adalah sebagai berikut :

1. Turbin Francis

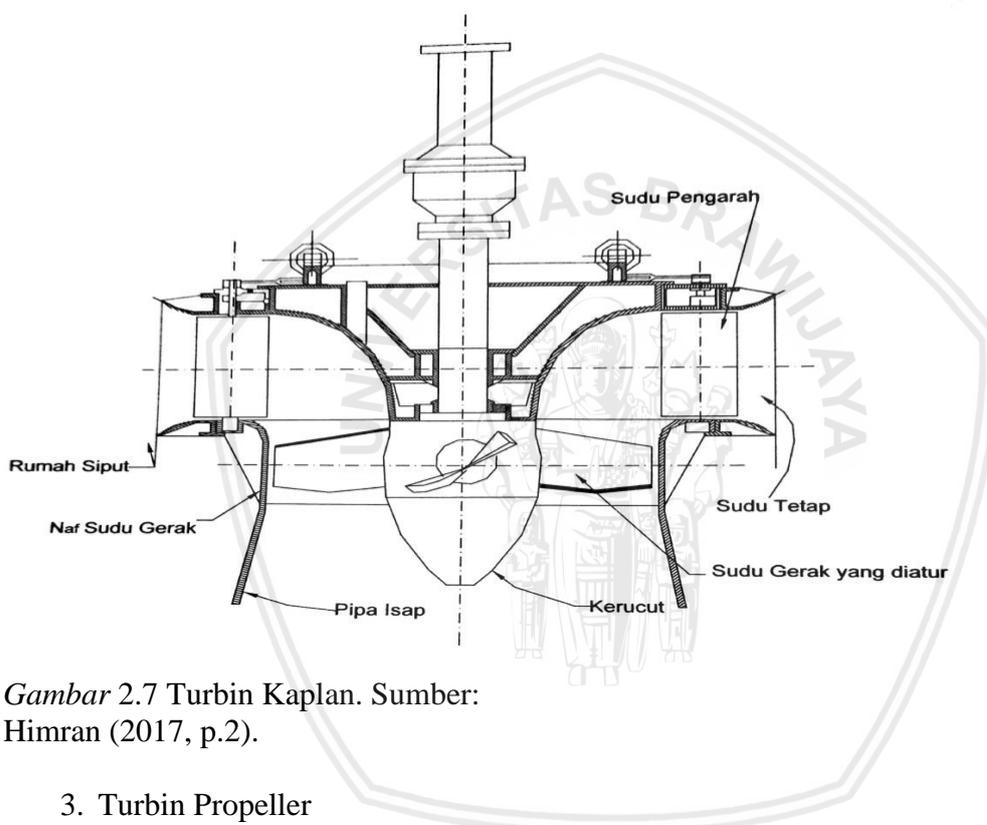
Turbin francis adalah turbin reaksi yang arah alirannya radial dengan penggerak yang tetap dan mempunyai sudu pengarah yang dapat diatur. Turbin francis digunakan untuk head medium yang pada saat kecepatan tinggi aliran yang masuk dalam arah radial sedangkan pada saat keluar arah alirannya axial. Air yang akan diproses dalam turbin tersebut adalah air yang melewati saluran pipa yaitu air yang bergerak dari distributor menuju ke penggerak. Turbin francais dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Turbin Francis aliran radial dan aliran campuran.
Sumber: Himran (2017, p.13).

2. Turbin Kaplan

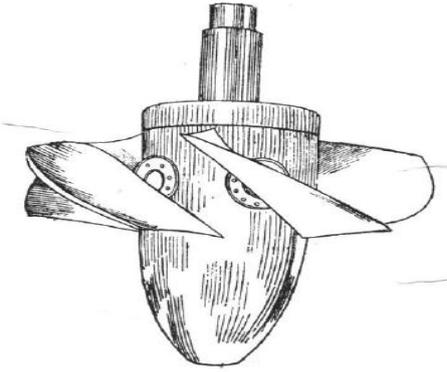
Turbin kaplan adalah salah satu jenis turbin reaksi yang bekerja dengan aliran aksial, yang umumnya digunakan untuk head yang rendah. Turbin Kaplan mempunyai sudu penggerak yang dapat diatur dan mungkin memiliki ataupun tidak memiliki sudu pengarah. Jika sudu dari pengarah bisa diatur maka disebut *doubleregulative* dan jika sudu pengarah tidak dapat diatur maka disebut *singleregulative*. Dengan mengatur sudut sudu gerak, turbin kaplan dapat beroperasi pada beban yang berubah-ubah dengan efisiensi yang tinggi. Turbin kaplan dapat diamati pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Turbin Kaplan. Sumber: Himran (2017, p.2).

3. Turbin Propeller

Turbin *Propeller* merupakan turbin aksial klasik atau juga disebut turbin baling-baling poros horisontal. Turbin ini bekerja di dalam air yang dapat mengubah head kecil atau rendah menjadi *power* yang besar. Turbin baling-baling ini mempunyai keuntungan dimana harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan jenis turbin yang lainnya. Kekurangan turbin baling-baling ini jika dibandingkan dengan turbin kaplan adalah sudu-sudu turbin tidak dapat diubah-ubah sesuai dengan kondisi aliran air. Dengan demikian efisiensinya akan berubah-ubah pula sesuai dengan kondisi aliran yang terjadi. *Turbin propeller* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Turbin propeler.
Sumber: Himran (2017, p.12).

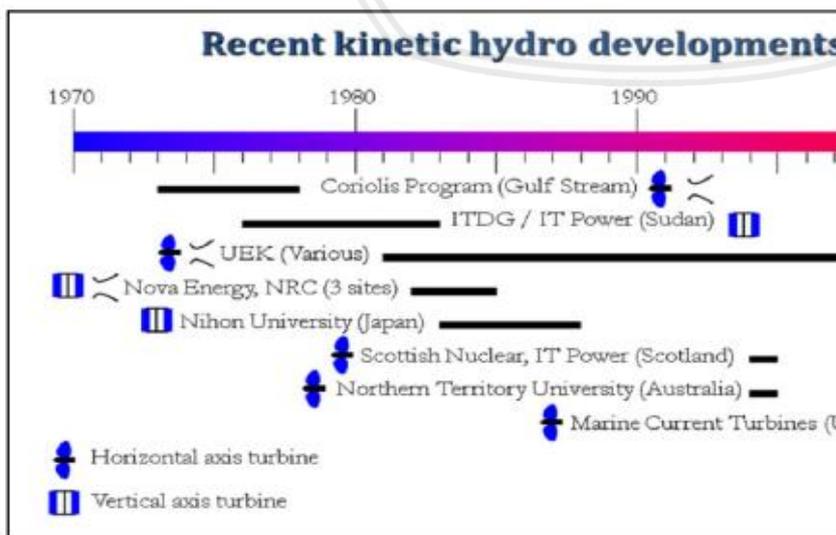
2.5 Turbin Kinetik

2.5.1 Pengertian Turbin Kinetik

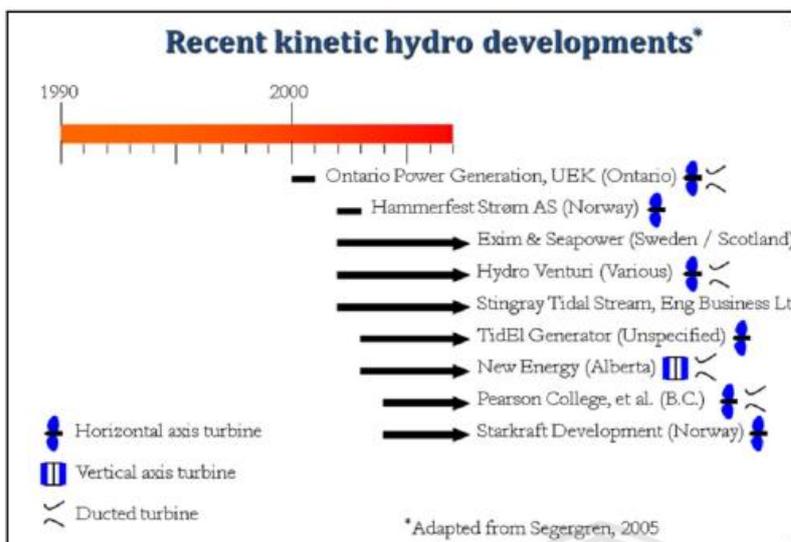
Turbin kinetik adalah suatu alat yang dapat menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros dengan memanfaatkan kecepatan aliran air dari sungai yang memiliki energi kinetik. Energi kinetik air selanjutnya diubah menjadi energi mekanis pada turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator sehingga membangkitkan energi listrik. Turbin kinetik sangat tepat untuk dipakai pada daerah yang datar yang memiliki aliran sungai terutama daerah pedesaan. Sampai saat ini dikenal dua jenis turbin kinetik yaitu turbin kinetik dengan poros horisontal dan turbin kinetik berporos vertikal.

2.5.2 Perkembangan Turbin Kinetik

Pengembangan turbin kinetik telah lama dilakukan dan banyak lembaga yang telah terlibat dalam aktifitas tersebut. Gambar 2.9 dan 2.10 menunjukkan periode waktu dan keterlibatan lembaga-lembaga dalam pengembangan turbin kinetik.



Gambar 2.9 Grafik aktifitas perkembangan turbin kinetik dalam periode tahun 1970-2000.
Sumber: Segergren (2005).



Gambar 2.10 Grafik aktifitas perkembangan turbin kinetik dalam periode tahun 2000-2007.

Sumber: Segergren (2005).

2.5.3 Keuntungan Turbin Kinetik

Menurut soenoko et.al (2012), banyak keuntungan yang diperoleh apabila turbin kinetik ini dipakai sebagai pembangkit listrik. Adapun keuntungan dari pemanfaatan turbin kinetik antara lain adalah tidak banyak syarat dalam pemilihan lokasi, tidak membutuhkan bendungan, instalasi yang murah, waktu pemasangan yang cepat, keluaran energi yang mudah diskala (easily scalable energi output), kapasitas dan produksi yang *steady*, bentuk yang sederhana dan mudah dibuat dan energi potensial air yang dibutuhkan tidak memerlukan tinggi jatuh melainkan hanya membutuhkan adanya aliran air.

Hal yang hampir sama juga dikemukakan oleh Warsito et.al (2005), tentang banyaknya keuntungan yang diperoleh apabila turbin kinetik ini dipergunakan sebagai pembangkit listrik. Adapun keuntungan yang disebutkan adalah instalasi tidak memerlukan reservoir, *power house* dan bendungan. Pemilihan lokasi tidak terlalu banyak syarat, instalasi yang murah dan waktu pemasangan yang cepat. Modular, keluaran energi yang mudah di skala (easily scalable energi output) dan kapasitas yang *steady*, produksi energi yang *steady*, bentuknya sederhana dan mudah dibuat. Potensi air yang dibutuhkan tidak membutuhkan tinggi jatuh, yang dibutuhkan hanya adanya aliran air (Energi kinetik = $v^2/2g$). Tegangan listrik yang dibangkitkan adalah 24 V DC dan pemeliharaan pada instalasi sangat mudah. Turbin hanya diletakkan pada aliran sungai, dan tidak membutuhkan bangunan khusus. Untuk setiap aliran sungai dapat dipasang beberapa instalasi turbin kinetik ini. Sehingga listrik yang dibangkitkan akan berlipat sesuai dengan banyaknya turbin yang dipasang pada aliran sungai tersebut.

2.5.4 Prinsip Kerja Turbin Kinetik

Turbin kinetik memanfaatkan kecepatan aliran air yang mengalir melewati sudu-sudu turbin. Perubahan momentum air yang melewati sudu-sudu turbin dapat memberikan gaya dorong pada sudu-sudu sehingga runner berputar. Perputaran dari runner mengakibatkan perubahan energi kinetik air menjadi energi mekanis pada poros turbin yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator sehingga membangkitkan energi listrik. Pada turbin kinetik, air langsung menumbuk sudu pada setengah bagian roda turbin sedangkan setengah bagian yang lain juga mendapatkan gaya dorong dari tumbukan aliran air tetapi tidak sebesar setengah bagian yang pertama sehingga turbin akan bisa berputar berlawanan dengan arah datangnya aliran.

2.5.5 Komponen Utama Turbin Kinetik

Untuk bisa bekerja sesuai dengan fungsinya turbin kinetik memiliki komponen-komponen utama antara lain adalah :

1. Runner merupakan komponen utama dari rangkaian turbin kinetik untuk mengubah energi kinetik aliran menjadi energi mekanis. Runner sendiri terdiri dari tiga bagian utama yaitu poros, cakram dan sudu-sudu.
2. Pengarah aliran yang berfungsi untuk mengarahkan aliran air yang menumbuk sudu turbin.
3. Generator yang berfungsi untuk merubah energi mekanis yang dihasilkan oleh poros runner menjadi energi listrik.
4. Main transformer yang berfungsi sebagai *converter* listrik yang dihasilkan oleh generator menjadi listrik yang dapat digunakan oleh konsumen.
5. *Transmission line* yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke pengguna listrik atau konsumen.

2.5.6 Persamaan Energi

Persamaan energi untuk aliran *steady* dinyatakan dengan persamaan

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H = \text{Constant} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan :

$$\frac{p}{\rho g} = \text{Head akibat tekanan statis}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Head akibat tekanan dinamis}$$

$$z = \text{Head potensial}$$

$$H = \text{Head total}$$

Persamaan 2-1 disebut dengan persamaan Bernoulli. Pada turbin kinetik persamaan head yang digunakan hanya head kinetik, sedangkan head potensial dan head tekanan dinamis sama dengan nol. Head tekanan = 0 karena saluran yang digunakan untuk turbin kinetik ini adalah saluran terbuka sehingga tidak ada beda tekanan, jadi persamaan energi yang dipergunakan dalam turbin kinetik adalah energi kinetik yang ada pada kecepatan aliran. Besarnya energi yang tersedia dari suatu aliran dapat ditentukan dengan persamaan 2-2.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2-2)$$

Dimana :

E_k = Energi kinetik air (Joule)

m = Laju aliran massa air (kg/s)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

2.5.7 Daya Turbin Kinetik

Untuk turbin kinetik yang hanya memanfaatkan kecepatan dari aliran, energi yang tersedia merupakan energi kinetik sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2-2. Maka daya suatu turbin kinetik ditentukan oleh besar daya yang dihasilkan oleh aliran tersebut. Untuk daya air yang mengalir pada suatu penampang saluran tertentu maka dalam perhitungannya dipergunakan persamaan 2-4.

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v^2 \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot t \cdot l \cdot v^3 \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

P_a = Daya air (Watt)

ρ = Massa jenis air (Kg/m³)

t = Tinggi air dalam saluran (m)

l = Lebar saluran (m)

Untuk menghitung besar daya turbin yang dihasilkan akibat adanya energi kinetik maka digunakan persamaan 2-6

$$P_t = T \cdot \omega \quad \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

$$T = F_t \cdot R \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\omega = \frac{2\pi.n}{60} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana :

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N/m)

ω = Kecepatan anguler (Radian/s)

R = Radius pully (m)

n = Putaran poros atau roda turbin (rpm)

F_t = Gaya tangensial (N)

2.5.8 Efisiensi Turbin Kinetik

Efisiensi turbin kinetik atau *Coefficient of Power* (C_p) merupakan perbandingan antara besarnya daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin kinetik dengan potensi daya air yang mengalir. Adapun nilai C_p atau η dapat ditentukan dengan persamaan 2-9 atau 2-10.

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots(2-9)$$

$$C_p = \frac{2Pt}{\rho D t v^3} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

C_p = *Coefficient of Power*

P_t = Daya turbin (Watt)

D = Diameter roda turbin (m)

t = Tinggi air (m)

v = Kecepatan air (m/s)

η = Efisiensi

P_t = Daya turbin

P_a = Daya air

2.6 Sudu Mangkok

2.6.1 Pengertian dan Bentuk Sudu Mangkok

Sudu mangkok adalah sudu yang sisinya dibuat melengkung agar dapat menahan aliran air dan kemudian meningkatkan efisiensi gaya tangensial. Bentuk dari sudu mangkok dapat diamati pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Runner turbin kinetik bersudu mangkok.
Sumber : Ohoirenan (2012,p.38)

2.6.2 Debit

Untuk menghitung kapasitas aliran pada sudu mangkok dapat dihitung dengan persamaan 2-11.

$$Q = A \cdot v \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

A = Luas sudu mangkok (m^2)

v = Kecepatan aliran (m)

2.6.3 Laju Massa Air

Laju aliran massa pada sudu mangkok dapat dihitung dengan persamaan 2-12.

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad \dots\dots\dots(2-12)$$

Dimana :

\dot{m} = Laju aliran massa (Kg/s)

Q = Debit air (m^3)

ρ = Massa jenis air (Kg/m^3)

2.6.4 Rasio Kecepatan Tangensial Sudu dan Arus Sungai (u/v)

Perbandingan atau rasio antara kecepatan tangensial sudu dengan kecepatan aliran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2-13.

$$\frac{u}{v} = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana :

$\frac{u}{v}$ = Rasio

ω = Kecepatan angular

R = Jari – jari runner turbin

2.6.5 Gaya dan Momentum

Fluida yang bergerak dapat menimbulkan gaya kemudian gaya yang ditimbulkan dapat bermanfaat untuk berbagai keperluan antara lain yaitu perencanaan atau perhitungan rancangan turbin, mesin-mesin hidrolis dan saluran pipa panjang dan berbelok. Gaya yang

dihasilkan oleh kecepatan fluida menumbuk sudu turbin akan menghasilkan suatu momentum yang besarnya ditentukan oleh persamaan 2-14, 2-15 dan 2-16.

$$M = m \cdot v \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

$$m = \rho \cdot Q \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

Persamaan juga dapat disederhanakan menjadi :

$$M = \rho \cdot Q \cdot v \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana :

M = Momentum

Sesuai dengan pernyataan hukum newton II tentang suatu gaya yang besarnya adalah massa dikalikan dengan percepatan maka akan diperoleh persamaan 2.17.

$$dF = dm \cdot a = \rho \cdot v \cdot dA \cdot dt \left(\frac{dv}{dt} \right) = \rho \cdot dA \cdot dV \dots\dots\dots (2-17)$$

Bila momentum yang dihasilkan adalah hasil dari aliran yang tidak seragam maka besar momentum ditentukan oleh koefisien koreksi momentum (f).

$$M = f \cdot \rho \cdot V \cdot A \cdot v \quad (2-18)$$

Kemudian besarnya gaya yang terjadi adalah

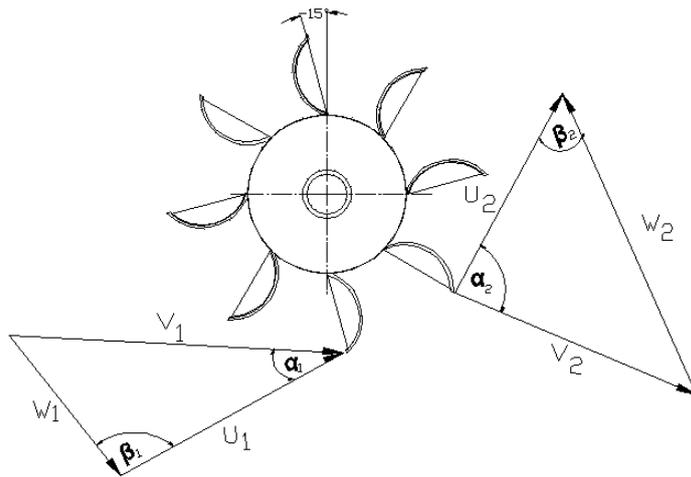
$$F = \rho \cdot A \cdot V (f v_2 - f v_1) \dots\dots\dots (2-19)$$

Dimana nilai koefisien koreksi momentum adalah $f = 1,33$ untuk aliran laminar dan $f = 1,02 - 1,04$ untuk aliran turbulen.

2.6.6 Segitiga Kecepatan

Segitiga kecepatan sering digunakan dalam menentukan parameter-parameter dalam perencanaan turbin. Tujuannya adalah menentukan bentuk dari sudu turbin pada setiap titik perubahan. Segitiga kecepatan pada setiap titik perubahan berbeda bentuknya sesuai dengan kecepatan aliran fluida yang bergerak. Dalam analisa segitiga kecepatan ada tiga komponen kecepatan yang akan ditinjau yaitu : kecepatan tangensial (u), kecepatan relatif (w) dan kecepatan absolut (v).

Ada dua gaya yang sangat penting dalam menganalisa tiga komponen kecepatan dari segitiga kecepatan yakni gaya tangensial dan aksial. Gaya ini dibutuhkan untuk menghitung besar torsi yang dihasilkan kemudian nilai torsi akan digunakan untuk menentukan besarnya daya turbin. Adapun komponen-komponen kecepatan dari segitiga kecepatan dapat diamati pada gambar 2.5.



Gambar 2.12 Skematik segitiga kecepatan pada sudu.
Sumber : Ohoirenan (2012,p.28)

Adapun hubungan antara tiga komponen kecepatan dalam segitiga kecepatan dapat ditulis dalam persamaan 2-18.

$$w = u + v \quad \dots\dots\dots(2-18)$$

Dimana :

w = kecepatan relatif/absolut (m/s)

u = kecepatan keliling / kecepatan tangensial (m/s)

v = kecepatan fluida (m/s)

Dimana :

$$u = \pi \cdot D \cdot n \quad \dots\dots\dots(2-19)$$

$$w_1 = \sqrt{(v^2 + u^2) - 2(v \cdot u \cdot \cos\alpha)} \quad \dots\dots\dots(2-20)$$

$$w_2 = \sqrt{(w_1 + u^2) - 2(w_1 \cdot u \cdot \cos\alpha)} \quad \dots\dots\dots(2-21)$$

Kecepatan relatif adalah kecepatan fluida yang kita amati apabila posisi kita berada bersama-sama sudu yang bergerak, atau dari luar turbin jika roda turbin tidak berputar ($u = 0$).

Dari uraian hubungan komponen-komponen kecepatan di atas maka dapat ditentukan beberapa gaya yang bekerja pada sudu turbin yaitu :

1. Gaya tangensial (F_t)

Gaya tangensial yang terjadi pada runner turbin adalah gaya yang bekerja untuk memutar sudu turbin dan nilainya dapat ditentukan dengan persamaan 2-19.

$$F_t = Q \cdot \rho \cdot (w_{u1} - w_{u2}) \quad \dots\dots\dots(2-22)$$

Dimana :

$$Q = A \cdot v ; A = \pi \cdot D$$

Dimana :

Q = Debit air (m^3)

A = Luas penampang saluran (m^2)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

D = Diameter roda turbin (m)

2. Gaya aksial (F_a)

Gaya aksial yang terjadi pada runner turbin adalah gaya yang menumbuk sudu turbin searah dengan pergerakan fluida air atau sejajar dengan poros dan besarnya dapat ditentukan dengan persamaan 2-23.

$$F_a = Q \cdot \rho \cdot (w_1 - w_2) \dots \dots \dots (2-23)$$



BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Diskripsi Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah eksperimental skala laboratorium pada salah satu komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air yakni turbin air. Turbin air yang diteliti adalah jenis turbin kinetik poros vertikal dengan sudu berbentuk mangkok yang dipasang statis. Penelitian ini akan membandingkan tiga variasi lebar sudu terhadap kinerja yang dihasilkan turbin. Untuk itu akan dilakukan pengujian pada masing-masing variasi untuk mendapatkan data yang dibutuhkan untuk menentukan daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin kinetik. Daya dan efisiensi turbin merupakan parameter untuk mengevaluasi kinerja dari masing-masing turbin kinetik. Setiap turbin akan diuji pada variasi putaran poros dan debit air yang berbeda. Adapun data yang akan diukur untuk menghitung daya dan efisiensi turbin adalah kecepatan aliran, tinggi aliran pembebanan pada poros dan putaran poros. Standar instalasi yang digunakan adalah mengikuti instalasi turbin kinetik yang dirancang tim pengajar teknik mesin Universitas Brawijaya.

3.2 Kerangka konsep penelitian

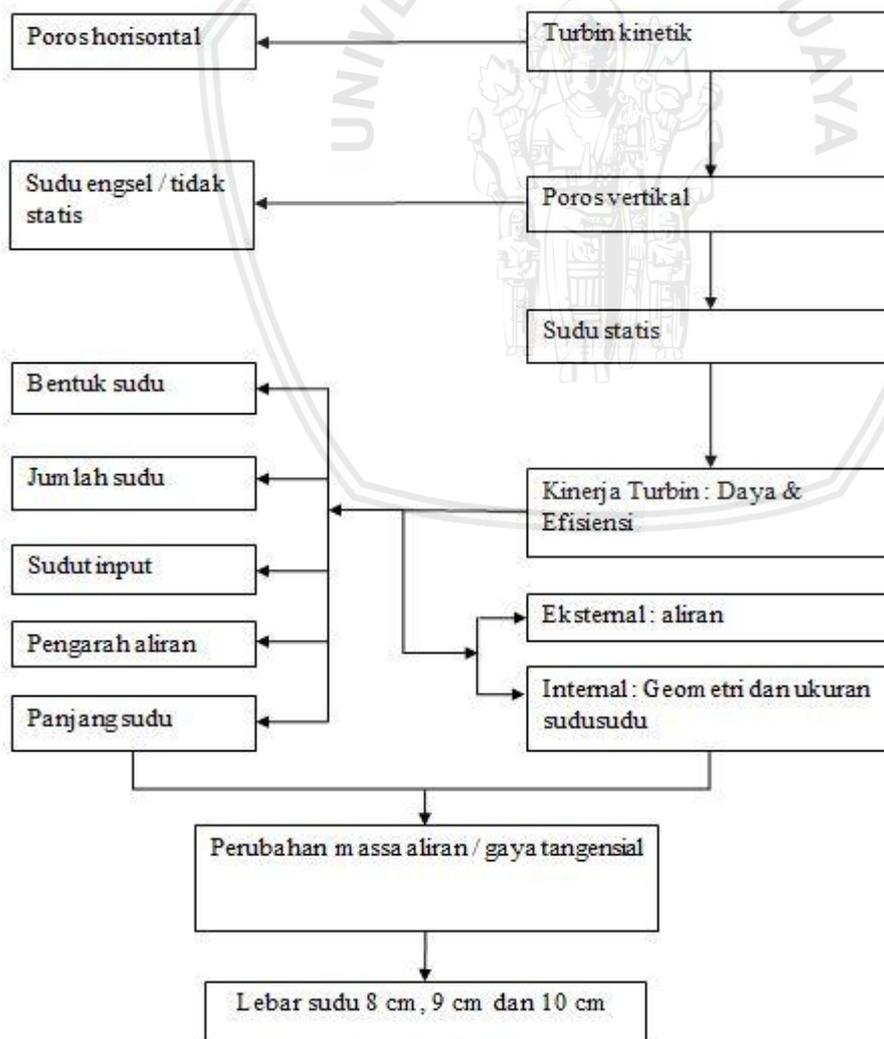
Energi hidrokinetik merupakan sumber energi yang tersedia dari dalam aliran sungai dan saluran air dengan kecepatan air yang cukup untuk menggerakkan sudu turbin kinetik (Guerra, 2019). Sumber energi hidrokinetik merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling terdepan yang dapat dikembangkan dalam bentuk sederhana dan mempunyai potensi besar dalam mengurangi dampak pada lingkungan (Aghsaei & Markfort 2018. & Junior et al, 2015). Turbin kinetik sendiri bisa dibagi ke dalam 2 kelompok yaitu poros vertikal dan horisontal (Santos et al, 2019). Beberapa keuntungan turbin kinetik jenis poros vertikal yaitu tidak membutuhkan ketinggian air, massa jenis energi yang dibangkitkan lebih besar dan pemasangan atau perawatan generator lebih mudah (Niebhur et al, 2019).

Pemilihan jenis pemasangan dan bentuk sudu yang akan digunakan pada sebuah turbin merupakan faktor penting untuk memperoleh kinerja turbin kinetik yang optimum. Pemasangan sudu pada turbin dapat menggunakan mekanisme sudu statis dan dinamis. Penggunaan mekanisme sudu statis memungkinkan transfer momentum dari aliran menjadi energi mekanik menjadi lebih cepat. Laju massa air yang melewati bidang lengkung

lebih besar dari bidang datar (Lempoy et.al, 2019). Energi mekanik pada sudu mangkok lebih besar dibandingkan sudu lengkung. (Bono & Indarto et.al, 2008)

Dari literatur yang telah diperoleh maka dapat dilihat bahwa kinerja dari sebuah turbin kinetik dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain adalah jumlah sudu, pengarah aliran, kecepatan aliran dimensi sudu dan geometri sudu. Dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya disimpulkan bahwa perubahan dimensi dan geometri dari sudu turbin kinetik mengakibatkan perubahan laju massa aliran air yang menumbuk sudu-sudu turbin. Hal tersebut menyebabkan perubahan gaya tangensial yang terjadi pada roda turbin yang pada akhirnya berdampak pada daya poros atau torsi yang dihasilkan.

Oleh karena itu penelitian ini akan mengamati perubahan dimensi sudu mangkok yaitu pengaruh variasi lebar sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik poros vertikal. Perubahan lebar sudu berkaitan erat dengan luasan sudu dimana hal ini mengakibatkan perubahan massa aliran air yang menumbuk sudu-sudu turbin dan kemudian merubah kinerja yang dihasilkan oleh turbin.



Gambar 3.1 Bagan kerangka konsep penelitian

3.3 Hipotesis

Lebar sudu berkaitan dengan dimensi sudu oleh karena itu perubahan dimensi sudu menyebabkan perubahan massa aliran yang menumbuk sudu turbin. Berdasarkan teori momentum linier maka massa aliran yang lebih besar akan mendapatkan momentum yang lebih besar untuk menghasilkan gaya tangensial. Hal ini pada akhirnya akan meningkatkan torsi, daya dan efisiensi turbin kinetik. Sehingga dapat dikemukakan bahwa hipotesis dalam penelitian ini adalah semakin lebar ukuran sudu maka kinerja turbin kinetik semakin meningkat.





Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini adalah eksperimental nyata dimana pengujian dan pengamatan dilakukan langsung pada objek yang diteliti pada skala laboratorium. Standar instalasi pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah instalasi turbin kinetik yang dirancang tim pengajar atau dosen jurusan teknik mesin Universitas Brawijaya.

4.1 Variabel Penelitian

Variabel yang terdapat dalam penelitian ini ada tiga jenis variabel yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

4.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas nilainya ditentukan sebelum dilakukan penelitian dan nilainya divariasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi lebar sudu : 8 cm, 9 cm dan 10 cm.

4.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya sangat tergantung pada variabel bebas dan merupakan variabel yang akan menjadi parameter untuk menjelaskan hasil dari penelitian dalam hal ini kinerja dari turbin kinetik. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah daya dan efisiensi turbin kinetik poros vertikal.

4.1.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan sebelum dilakukan penelitian dan nilainya konstan selama penelitian berjalan. Adapun variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

1. Jumlah sudu pada runner adalah 8 bilah.
2. Sudut sudu dikondisikan konstan pada posisi 15° mundur.
3. Kedalaman sudu dikondisikan pada 20 mm.
4. Sudut pengarah aliran 10° .
5. Debit air : 45, 50, 55, 60 dan $65 \text{ m}^3/\text{jam}$
6. Putaran turbin : 100, 80, 60, 40, 20 dan 0 rpm.

4.2 Tempat dan Waktu Penelitian

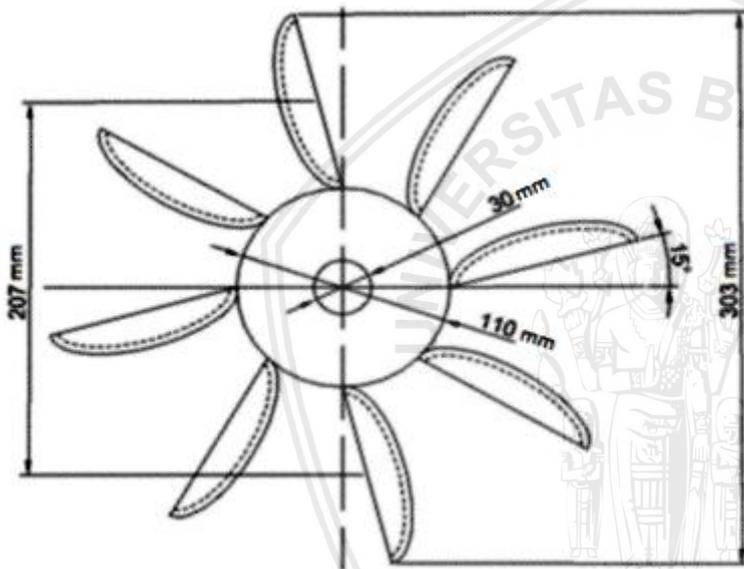
Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Fluida Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Waktu penelitian dimulai pada bulan Maret 2019 sampai dengan Agustus 2019.

4.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Runner turbin kinetik

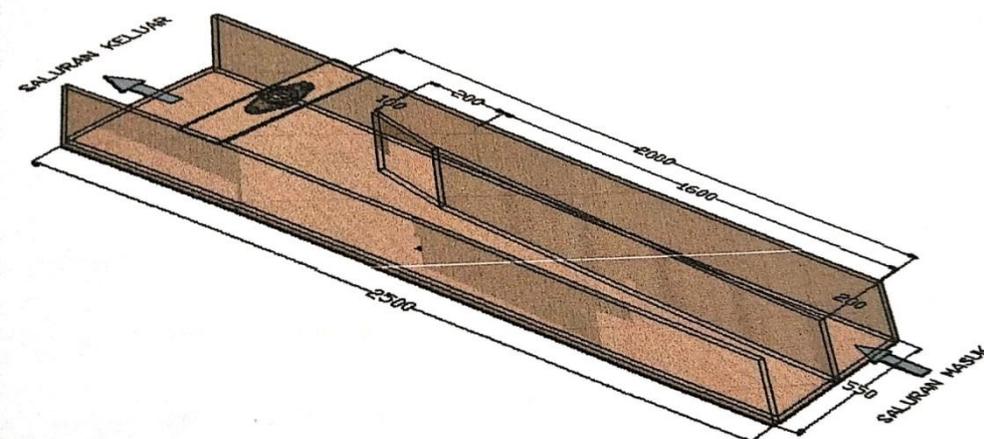
Runner meliputi tiga bagian utama yaitu poros dengan diameter 3 cm, cakram dengan diameter 11 cm dari bahan pipa besi dan sudu berjumlah 8 bilah yang memiliki ukuran tebal 4 mm terbuat dari bahan mika transparan yang dipasang keliling cakram. Dimensi Runner turbin kinetik yang direncanakan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Dimensi runner turbin kinetik.

2. Saluran air

Saluran air dalam penelitian ini direncanakan memiliki ukuran panjang aliran 160 cm sebelum menumbuk sudu, lebar 20 cm dan sudut pengarah aliran 10° .



Gambar 4.2 3D instalasi saluran air.

3. Flowmeter

Dalam penelitian ini *flowmeter* akan digunakan untuk mengukur debit aliran. Contoh alat ukur debit aliran atau disebut *flowmeter* sebagaimana ditunjuk pada gambar 4.3.

Merk : Yokogawa

Kapasitas : 0,0001 – 10,000 m³/jam



Gambar 4.3 Flowmeter

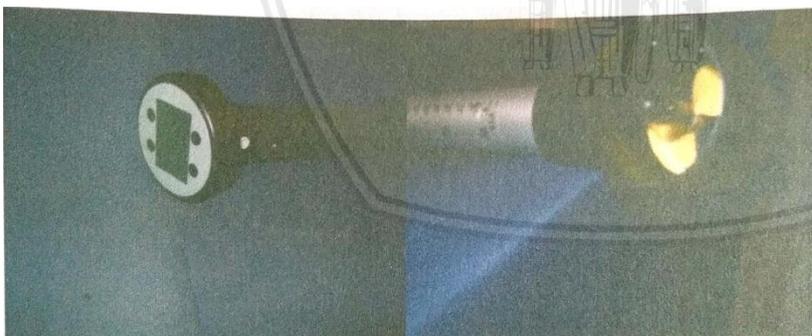
Sumber: Dokumentasi Lab. Fluida Teknik mesin.

4. Flowatch

Flowatch digunakan untuk mengukur kecepatan arus air pada saat pengujian. *Flowatch* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.4.

Merk : Global Water

Kapasitas : 0,1 – 6,1 m/s



Gambar 4.4 Flowatch

Sumber: Dokumentasi Lab. Fluida Teknik mesin.

5. Tachometer

Tachometer berfungsi untuk mengukur putaran turbin pada saat pengujian. *Tachometer* sebagaimana ditunjuk pada gambar 4.5.

Merk : Kusam MCCO

Kapasitas : *Non contact tachometer* 2.5 – 99,999 rpm

Contact Tachometer 0.5 – 19,999 rpm

Surface speed 0.05 – 1,999.9 rpm



Gambar 4.5 Tachometer.

Sumber: Dokumentasi Lab. Fluida Teknik mesin.

6. Neraca pegas

Neraca pegas digunakan untuk mengukur beban penegereman yang terjadi pada poros turbin saat pengujian. Neraca pegas sebagaimana ditunjuk pada gambar 4.6.

Merk : *Mini spring balance portable*

Kapasitas : 0 – 5 kg



Gambar 4.6 Neraca pegas

Sumber: Dokumentasi Lab. Fluida Teknik mesin.

7. Kamera

Dalam penelitian ini kamera akan digunakan untuk merekam gambar dalam bentuk video. Kamera yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.7

Merk : Canon Eos 700D

Spesifikasi : Zoom Optik - 7.0, Megapiksel – 18.0



Gambar 4.7 Kamera DLSR

8. Lampu

Lampu berfungsi untuk memberi pencahayaan pada waktu merekam gambar dengan tujuan gambar yang dihasilkan memiliki kualitas baik.

Merk : Potens

Spesifikasi : 10 W 220v – 240 – 50/60Hz IP65



Gambar 4.8 Lampu sorot

9. Tripot

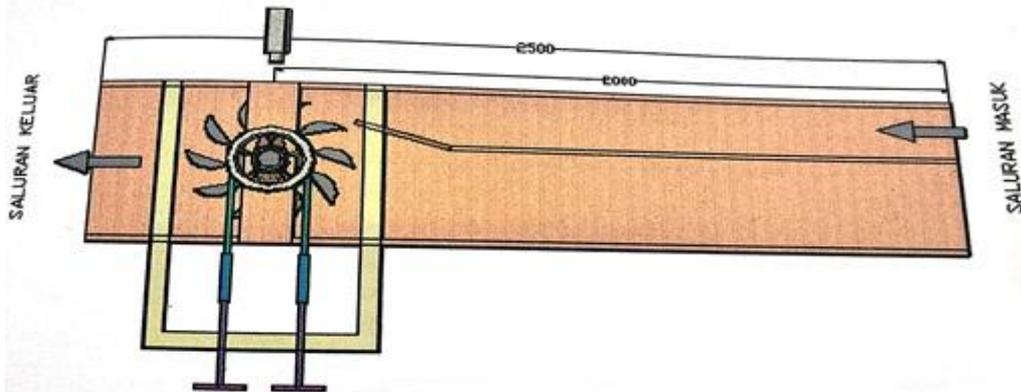
Tripot berfungsi sebagaiudukan kamera dengan tujuan untuk menjaga posisi konstan pada setiap pengambilan gambar. l



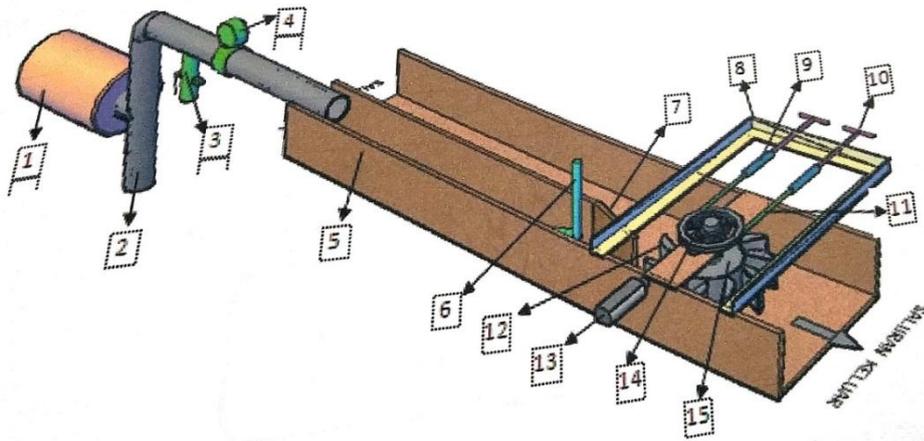
Gamabr 4.9 Tripot

4.4 Instalasi Alat Penelitaian

Gamabr instalasi penelitian dan komponen penelitian yang direncanakan dalam penelitian adalah sebagaimana yang ditunjuk pada gambar 4.7, 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.10 Tampak atas instalasi saluran air.



Gambar 4.11 3D instalsi pengujian turbin kinetik.

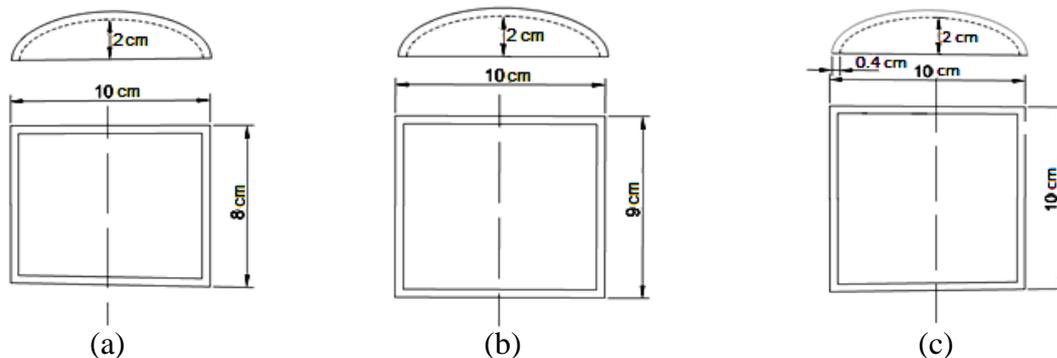
Table 4.1

Keterangan gambar instalasi pengujian turbin kinetik

No	Nama Komponen
1	Pompa
2	Pipa alir
3	Katup buangan
4	Flowmeter
5	Saluran turbin
6	Flowwatch
7	Pengarah aliran
8	Dudukan tuas penyetel gaya
9	Neraca pegas
10	Tuas penyetel gaya
11	Tali
12	Sudu turbin
13	Tachometer
14	Puli
15	Cakram / Roda turbin

4.5 Dimensi sudu mangkok

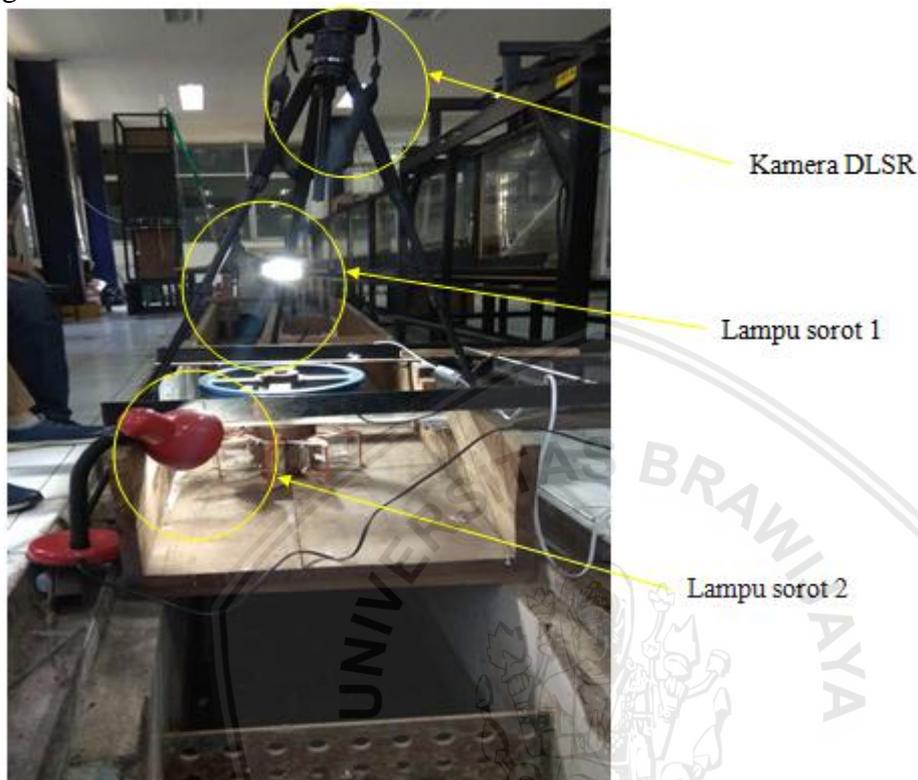
Dalam penelitian ini digunakan jenis sudu mangkok yang dipasang statis pada runner turbin. Adapun dimensi sudu mangkok yang dibuat dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Dimensi sudu mangkok. (a) Variasi lebar 8 cm, (b) Variasi lebar 9 cm dan (c) Variasi lebar 10 cm.

4.6 Instalasi Visualisasi

Instalasi visualisasi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengamati perilaku aliran dan gerakan sudu. Adapun instalasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Instalasi visualisasi

4.7 Prosedur Penelitian

4.7.1 Persiapan Penelitian

1. Membuat tabel untuk mencatat hasil pengujian.
2. Memasang dan mengatur semua instalasi penelitian sesuai dengan yang telah direncanakan.
3. Memeriksa kondisi perangkat seperti pompa dan alat-alat ukur untuk siap digunakan.

4.7.2 Pelaksanaan Penelitian

4.7.2.1 Pengambilan data

Pengambilan data turbin kinetik pada setiap model lebar sudu mangkok dimulai dari variasi debit aliran terkecil yaitu $45 \text{ m}^3/\text{jam}$ sampai $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan dimulai pada putaran 100 rpm sampai 0 rpm. Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengatur debit aliran dengan cara memutar kran (ditunjuk no.3 pada gambar 4.11) sampai *display* dari flowmeter (ditunjuk no.4 pada gambar 4.11) menampilkan nilai debit aliran yang direncanakan 45 m^3 .
2. Mengukur putaran poros turbin dengan alat ukur tachometer (ditunjuk no.9 pada gambar 4.11) tanpa beban terlebih dahulu. Kemudian mengukur putaran poros turbin dengan beban yang diberikan secara pelan – pelan dengan cara memutar tuas penyetel (ditunjuk no.9 pada gambar 4.11). beban gaya sampai memenuhi nilai putaran yang divariasikan yaitu 100 rpm.
3. Mengukur kecepatan aliran air sebelum menumbuk sudu dengan alat ukur flowwatch (ditunjuk no.6 pada gambar 4.11).
4. Mencatat data putaran, gaya, kecepatan dan debit air dari hasil pengukuran. Melakukan tiga kali pengulangan pada setiap variabel model lebar sudu mangkok.
5. Mengulang langkah 1 sampai dengan ke 4 untuk setiap variasi putaran dan debit yang telah direncanakan.

4.7.2.2 Visualisasi

Visualisasi aliran dilakukan pada kondisi terbaik dan terburuk pada masing – masing turbin dengan variasi lebar sudu. Dengan demikian ada 6 rekaman dalam bentuk video yang akan diambil. Durasi 1 rekaman video adalah 10 detik dengan setingan 120 fps adapun langkah – langkah pengambilan gambar video adalah sebagai berikut.

1. Memasang instalasi visualisasi seperti yang ditunjuk pada gambar 4.10. dalam hal ini memasang tripod, lampu sorot dan kamera.
2. Mengatur debit aliran dan putaran poros pada kondisi yang akan diamati.
3. Memulai perekaman video sampai dengan durasi 10 detik. Selanjutnya mengulang langkah 1 sampai 3 untuk kondisi lainnya.

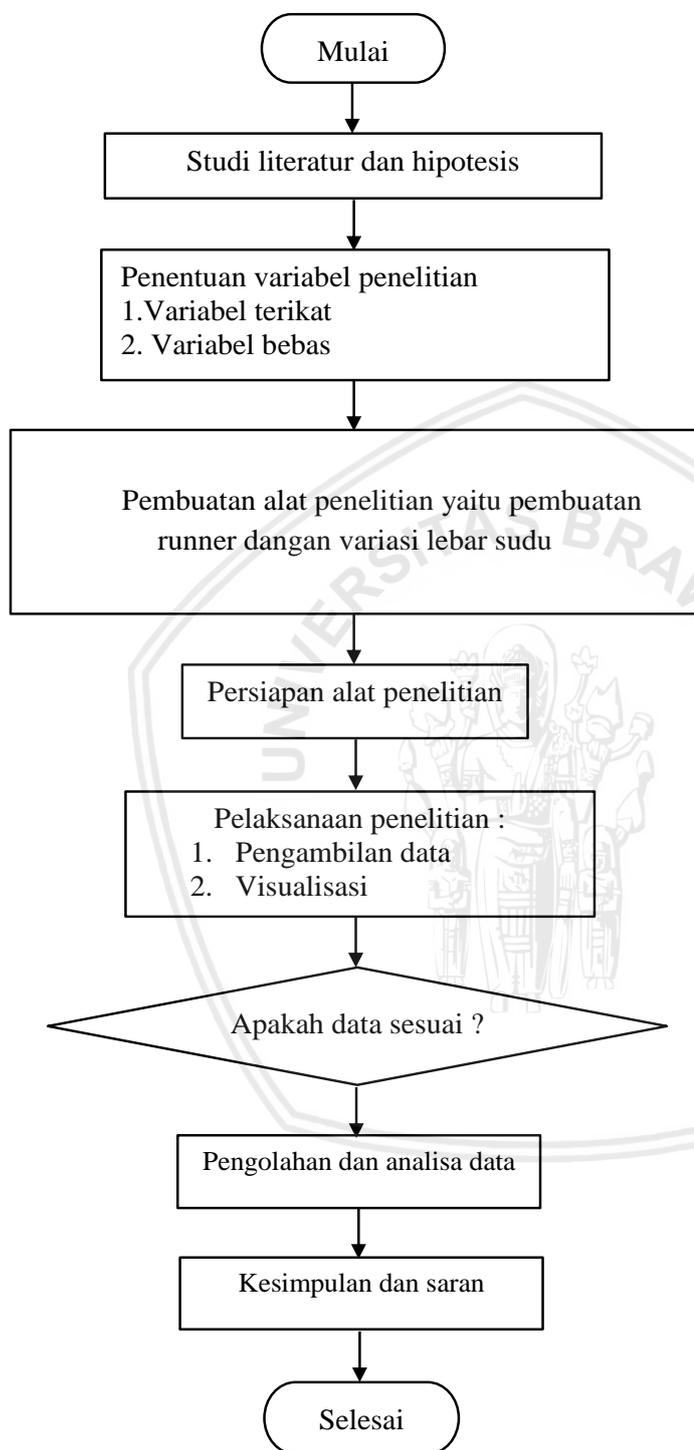
4.8 Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data menggunakan teknik deskriptif berdasarkan hasil eksperimen dan metode analisa data dengan menampilkan grafik untuk mengetahui hubungan daya dan efisiensi turbin dari pengaruh variasi lebar sudu yang direncanakan. Adapun grafik – grafik yang akan ditampilkan dalam analisa dan pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Grafik hubungan debit aliran, putaran dan daya turbin kinetik pada variasi lebar sudu mangkok.
2. Grafik hubungan debit aliran, putaran dan efisiensi turbin kinetik pada variasi lebar sudu mangkok.
3. Grafik variasi lebar sudu mangkok terhadap daya turbin kinetik.

4. Grafik variasi lebar sudu mangkok terhadap efisiensi turbin kinetik.

4.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.14 Diagram alir penelitian.



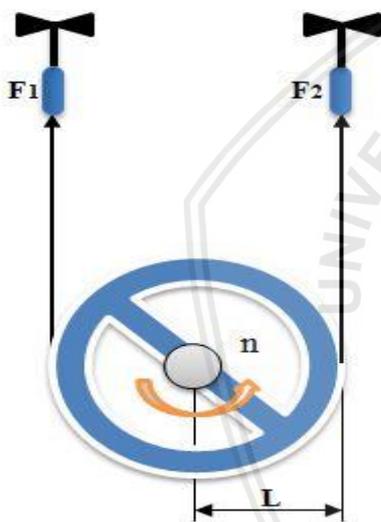
Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

5.1.1 Data Pengujian

Data keseluruhan hasil pengujian turbin kinetik berupa besar gaya ($F = F_1 - F_2$) dengan variasi lebar sudu mangkok, debit aliran air dan putaran poros turbin dapat dilihat pada bagian lampiran 1.1. Berikut ini ditampilkan contoh data hasil pengujian dalam tabel 5.1, 5.2 dan 5.3 dan arah gaya dalam pengujian ditunjuk pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Posisi Gaya (pembebanan poros)

Tabel 5.1

Data hasil pengujian turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm pada debit 45 m³/jam.

Debit Aliran = Q		Tinggi aliran = t (m)	Lebar aliran = l (m)	Kecepatan aliran = v (m/s)	Putaran = n (rpm)	Gaya = F (Newton)		
(m ³ /jam)	(m ³ /det)					F ₁	F ₂	F
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	118	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	119	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	118	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	3	1	2
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	2	1	3
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	3	1	2
...

Tabel 5.2

Data hasil pengujian turbin dengan variasi lebar sudu 9 cm pada debit 45 m³/jam.

Debit Aliran = Q		Tinggi aliran = t (m)	Lebar aliran = l (m)	Kecepatan aliran = v (m/s)	Putaran = n (rpm)	Gaya = F (Newton)		
(m ³ /jam)	(m ³ /det)					F ₁	F ₂	F
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	119	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	120	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	120	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	3	1	2
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	3	2	1
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	4	2	2
...

Tabel 5.3

Data hasil pengujian turbin dengan variasi lebar sudu 10 cm pada debit 45 m³/jam.

Debit Aliran = Q		Tinggi aliran = t (m)	Lebar aliran = l (m)	Kecepatan aliran = v (m/s)	Putaran = n (rpm)	Gaya = F (Newton)		
(m ³ /jam)	(m ³ /det)					F ₁	F ₂	F
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	121	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	120	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	120	0	0	0
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	3	1	2
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	4	2	2
45	0.013	0.07	0.1	1.6 m/s	100	3	1	2
...

5.1.2 Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian turbin kinetik dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai dari parameter yang menunjukkan kinerja dari turbin kinetik. Berikut disajikan contoh analisa data yang dilakuka berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 5.1 pada kondisi debit aliran 45 m³/s dan putaran 100 rpm.

1. Menghitung Daya dan Efisiensi Turbin

a. Luas Penampang Aliran (A)

Diketahui ;

$$p = 0.01 \text{ m}$$

$$l = 0.07 \text{ m}$$

Maka ;

$$A = p \times l = 0.09 \text{ m} \times 0.07 \text{ m} = 0.007 \text{ m}^2$$

b. Kecepatan Aliran (v)

Diketahui ;

$$Q = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0.0072 \text{ m}^2$$

Maka ;

$$Q = v \times A \leftrightarrow v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.0125 \text{ m}^3/\text{s}}{0.007 \text{ m}^2} = 1.79 \text{ m/s}$$

c. Laju massa aliran air (\dot{m})

Diketahui ;

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0.0125 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka ;

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

$$\dot{m} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 12,5 \text{ kg/s}$$

d. Daya air (Pa)

Diketahui ;

$$v = 1.79 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0.007 \text{ m}^2$$

Maka ;

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

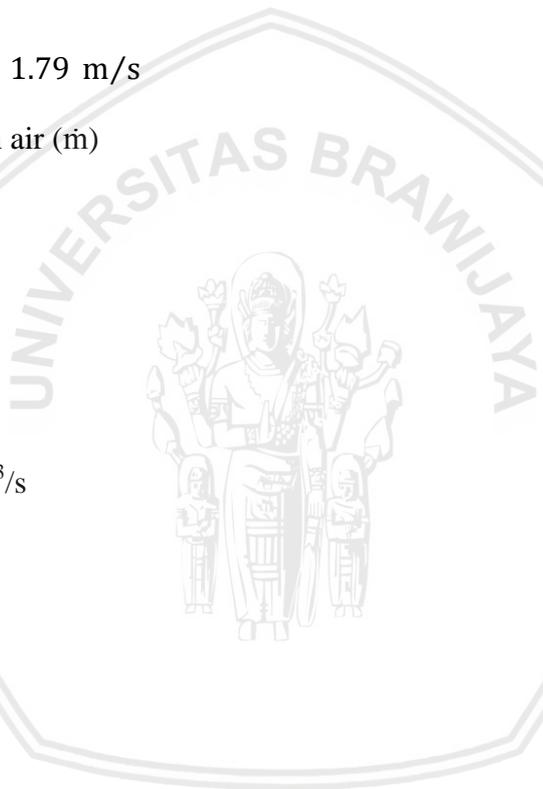
$$P_a = \frac{1}{2} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.005 \text{ m}^2 \times (1.79 \text{ m/s})^3$$

$$P_a = 24.6 \text{ Watt}$$

e. Torsi (T)

Diketahui ;

$$F = \frac{2+1+2}{2} = 1.63 \text{ N}$$



$$L = \text{Lengan} = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

Maka :

$$T = F \cdot L$$

$$T = 1.63 \text{ N} \times 0.15 \text{ m}$$

$$T = 0.25 \text{ N.m}$$

f. Kecepatan anguler (ω)

Diketahui :

$$n = \text{Putaran } 100 \text{ rpm}$$

$$\pi = 3.14$$

Maka :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 100}{60}$$

$$\omega = 10.467 \text{ rad/s}$$

g. Daya Turbin (P_t)

Diketahui :

$$T = \text{Torsi} = 0.25 \text{ N.m}$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut} = 10.467 \text{ rad/s}$$

Maka :

$$P_t = T \cdot \omega$$

$$P_t = 0.3 \text{ Nm} \times 10.467 \text{ rad/s}$$

$$P_t = 2.56 \text{ Watt}$$

h. Efisiensi Turbin (η_t)

Diketahui :

$$P_a = 19.9 \text{ Watt}$$

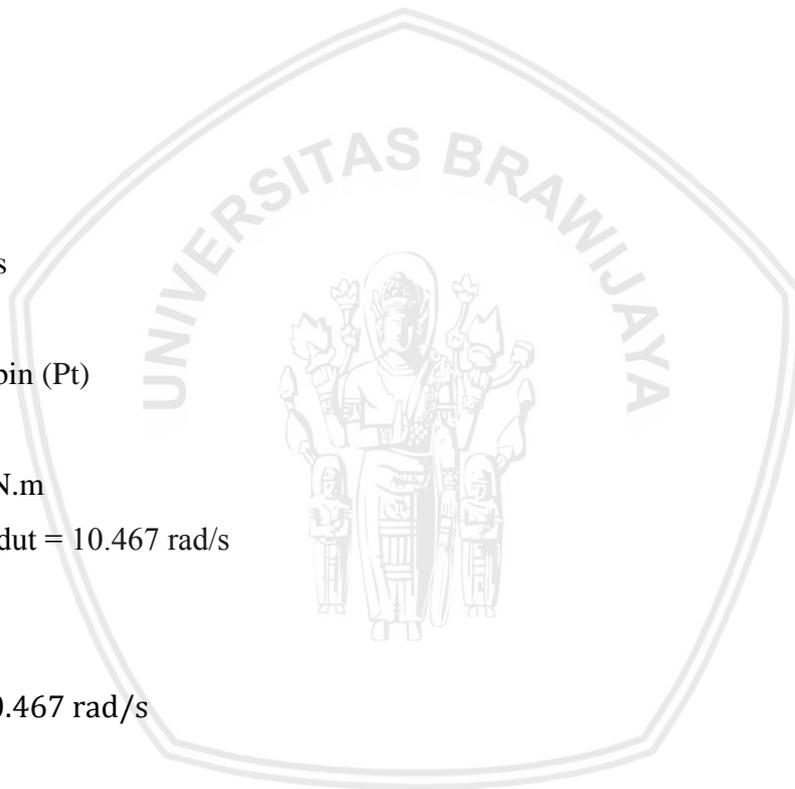
$$P_t = 2.56 \text{ Watt}$$

Maka ;

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{2.56 \text{ Watt}}{19.9 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 12.87 \%$$



i. *Top speed ratio* / rasio kecepatan (u/v)

Diketahui :

$$R = \text{jari - jari luar turbin} = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$r = \text{jari-jari dalam turbin} = 5.5 \text{ cm} = 0.055 \text{ m}$$

Maka :

$$\frac{u}{v} = \frac{\omega \cdot (R - r)/2}{v}$$

$$\frac{u}{v} = \frac{10.467 \text{ rad/s} \times (0.15 - 0.055)/2 \text{ m}}{1.79 \text{ m/s}}$$

$$\frac{u}{v} = 0.65$$

2. Menghitung Komponen Segitiga Kecepatan

Menentukan nilai dan arah komponen kecepatan turbin kinetik diselesaikan dengan pendekatan persamaan turbin konvensional yang diadaptasi dari buku penggerak mula turbin, karangan Arismunandar 2017 edisi ke-3 2004.

a. Kecepatan air keluar (v_2)

Diketahui :

$$v_1 = 1.79 \text{ m/s}$$

$$P_t = 2.56 \text{ Watt}$$

$$P_a = 19.9 \text{ Watt}$$

Maka ;

$$v_2 = \frac{v_1 \times (P_a - P_t)}{P_a} = \frac{1.79 \text{ m/s} \times (19.9 - 2.65) \text{ Watt}}{19.9 \text{ Watt}}$$

$$v_2 = 1.56 \text{ m/s}$$

b. Kecepatan tangensial (u)

Posisi masuk

$$u_1 = R \times \omega$$

Diketahui :

$$R = \text{Jari-jari turbin luar} = 0.15 \text{ m}$$

$$\omega = 10.467 \text{ rad/s rpm}$$

Maka :

$$u_1 = 0.15 \text{ m} \times 10.467 \text{ m}$$

$$u_1 = 1.57 \text{ m/s}$$

Posisi keluar

$$u_2 = r \times \omega$$

Diketahui :

$r = \text{Jari-jari turbin dalam} = 0.055 \text{ m}$

$\omega = 10.467 \text{ rad/s rpm}$

Maka :

$$u_2 = 0.055 \text{ m} \times 10.467 \text{ m}$$

$$u_2 = 0.58 \text{ m/s}$$

c. Sudut yang dibentuk oleh u dan v (α)

Sudut yang dibentuk oleh komponen kecepatan tangensial u_1 dan komponen kecepatan fluida air v_1 pada sesi masuk adalah $\alpha_1 = 10^\circ$.

Sudut yang dibentuk oleh komponen kecepatan tangensial u_2 dan komponen kecepatan fluida air v_2 pada sesi keluar adalah α_2 yang nilainya ditentukan dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\cos \alpha_2 = \frac{u_2}{v_2}$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{0.57 \text{ m/s}}{1.46 \text{ m/s}}$$

$$\cos \alpha_2 = 0.39$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} 0.39 \rightarrow \alpha_2 = 66.85^\circ$$

d. Kecepatan relatif (w)

Posisi masuk

$$w_1 = \sqrt{(v_1^2 + u^2) - 2(v_1 \cdot u)}$$

$$w_1 = \sqrt{(1.79 \text{ m/s})^2 + (0.79 \text{ m/s})^2 - 2(1.79 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.79 \text{ m/s})}$$

$$w_1 = 0.22 \text{ m/s}$$

Posisi keluar

$$w_2 = \sqrt{(v_2^2 + u_2^2) - 2(v_2 \cdot u_2)}$$

$$w_2 = \sqrt{(1.62 \text{ m/s})^2 + (0.79 \text{ m/s})^2 - 2(1.62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}})}$$

$$w_2 = 1.97 \text{ m/s}$$

e. Sudut yang dibentuk oleh komponen kecepatan u dan w (β)

$$\cos \beta_1 = \frac{v_1 \times \cos \alpha - u_1}{w_1}$$

$$\cos \beta_1 = \frac{1.79 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \cos 10^\circ - 1.57}{0.22 \text{ m/s}}$$

$$\cos \beta_1 = 0.87$$

$$\beta_1 = \cos^{-1} 0.87$$

$$\beta_1 = 29.05^\circ$$

$$\cos \beta_2 = \frac{u_2}{w_2}$$

$$\cos \beta_2 = \frac{0.57 \text{ m/s}}{1.87 \text{ m/s}}$$

$$\cos \beta_2 = 0.31$$

$$\beta_2 = \cos^{-1} 0.31$$

$$\beta_2 = 72.07^\circ$$

3. Menghitung Momentum dan Gaya Fluida yang Menumbuk Sudu

a. Luas Sudu (A_s)

Diketahui ;

$$\pi = 3.14$$

$$s = 19 \text{ mm} = 0.019 \text{ m}$$

$$r = 45 \text{ mm} = 0.045 \text{ m}$$

maka ;

$$A_s = 0.5 * \left(\frac{1}{2} \pi (r + s) * l\right)$$

$$A_s = 0.5 * \frac{1}{2} \pi (0.045 + 0.19) * 0.08 = 0.004 \text{ m}^2$$

b. Debit Air pada Sudu (Q_s)

Diketahui ;

$$v_{\text{in}} = v_1 = 1.79 \text{ m/s}$$

$$A_s = 0.004 \text{ m}^2$$

Maka ;

$$Q_s = v_1 \times A_s$$

$$Q_s = 1.79 \text{ m/s} \times 0.004 \text{ m}^2 = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$$

c. Laju aliran massa pada sudu (\dot{m}_s)

Diketahui ;

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_s = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka ;

$$\dot{m} = \rho \times Q_s$$

$$\dot{m} = 1000 \times 0.007 = 7 \text{ kg/s}$$

d. Momentum pada aliran (M)

Diketahui ;

$$f = 1.02$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_s = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_1 = 1.79 \text{ m/s}$$

Maka ;

$$M = f \cdot \rho \cdot Q_s \cdot v_1$$

$$M = 1.02 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1.79 \text{ m/s} = 12.75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

e. Gaya Tangensial (Ft)

Diketahui ;

$$f = 1.02$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_s = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$w_{\text{in}} = w_1 = 0.36 \text{ m/s}$$

$$w_{\text{out}} = w_2 = 1.57 \text{ m/s}$$

Maka ;

$$F_t = f \cdot \rho \cdot Q_s (w_2 - w_1)$$

$$F_t = 1.02 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times (1.25 - 0.36) \text{ m/s} = 1.68 \text{ N}$$

Nilai dari keseluruhan parameter untuk setiap turbin kinetik dengan variasi lebar sudu mangkok pada setiap putaran dan setiap debit aliran diperoleh dengan cara yang sama seperti contoh perhitungan diatas. Nilai parameter yang diperoleh akan ditampilkan dalam bentuk tabel pada bagian lampiran. Sementara itu hubungan antara variabel bebas dan parameter kinerja turbin kinetik akan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan bantuan aplikasi microsoft excel yang dimuat pada bagian pembahasan.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Daya Turbin

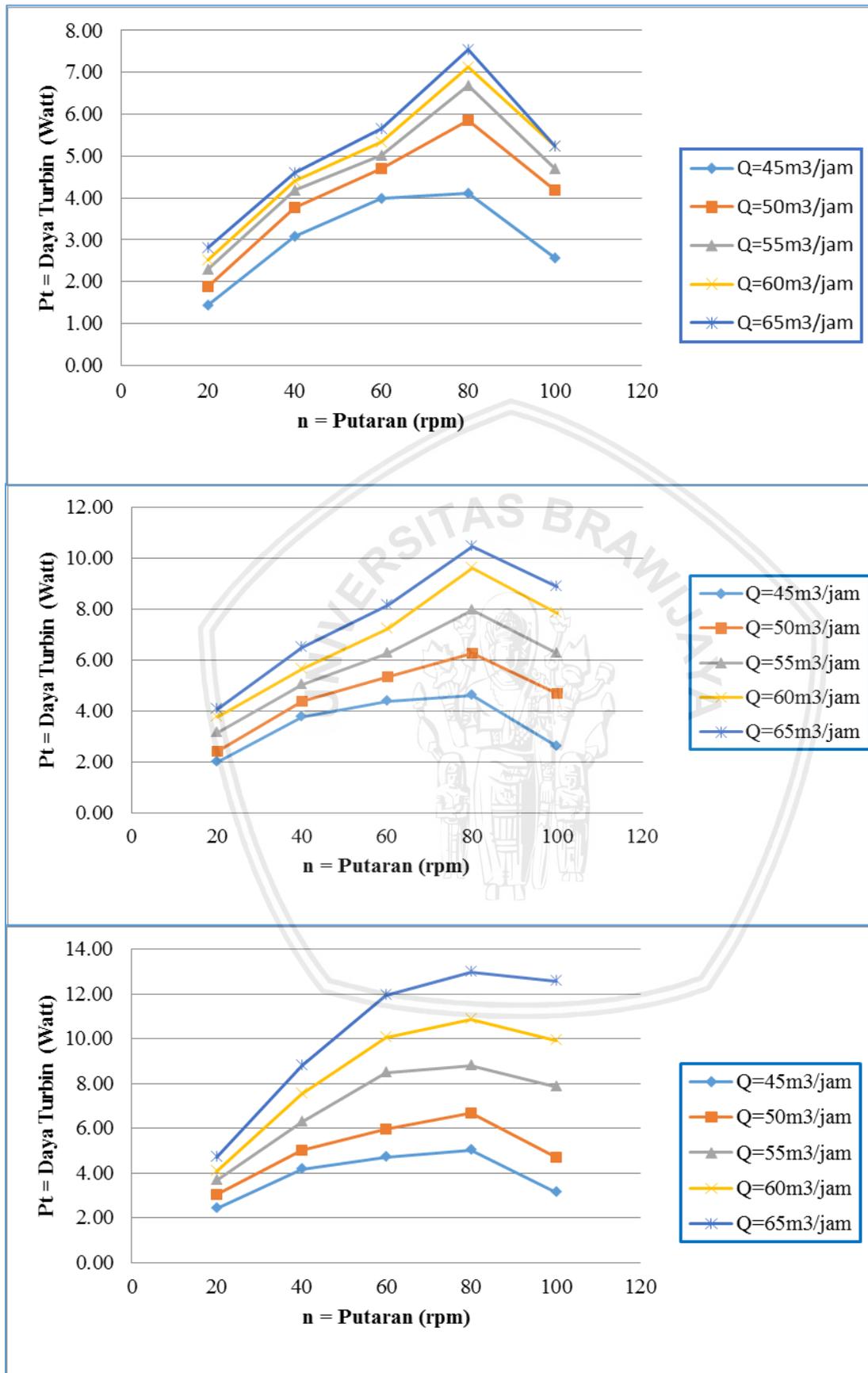
Pada sub bagian ini akan dibahas tentang daya yang dihasilkan turbin berdasarkan grafik hubungan antara putaran dan daya turbin. Secara umum dari persamaan 2-6

diketahui bahwa daya turbin sangat tergantung pada besarnya torsi dan kecepatan anguler, dimana daya turbin dapat ditingkatkan dengan meningkatkan nilai torsi dan atau kecepatan anguler. Sementara itu dalam sistem operasi kerja turbin kinetik, torsi dan kecepatan anguler menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik dimana torsi yang tinggi diperoleh dari pembebanan yang besar. Akan tetapi besarnya pembebanan mengakibatkan turunnya putaran dan itu artinya kecepatan anguler yang dihasilkan akan kecil.

Dari pemahaman diatas maka dibutuhkan kondisi pembebanan pada poros dan putaran turbin yang proporsional untuk memperoleh operasi kerja daya turbin yang optimal. Dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian putaran untuk setiap debit air pada masing – masing turbin dengan variasi lebar sudu mangkok. Dengan demikian untuk memahami secara keseluruhan fenomena daya yang dihasilkan turbin pada sistem kerja turbin maka hubungan antara putaran (n) dan daya (P) untuk semua debit pada masing-masing variasi lebar sudu, ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2.

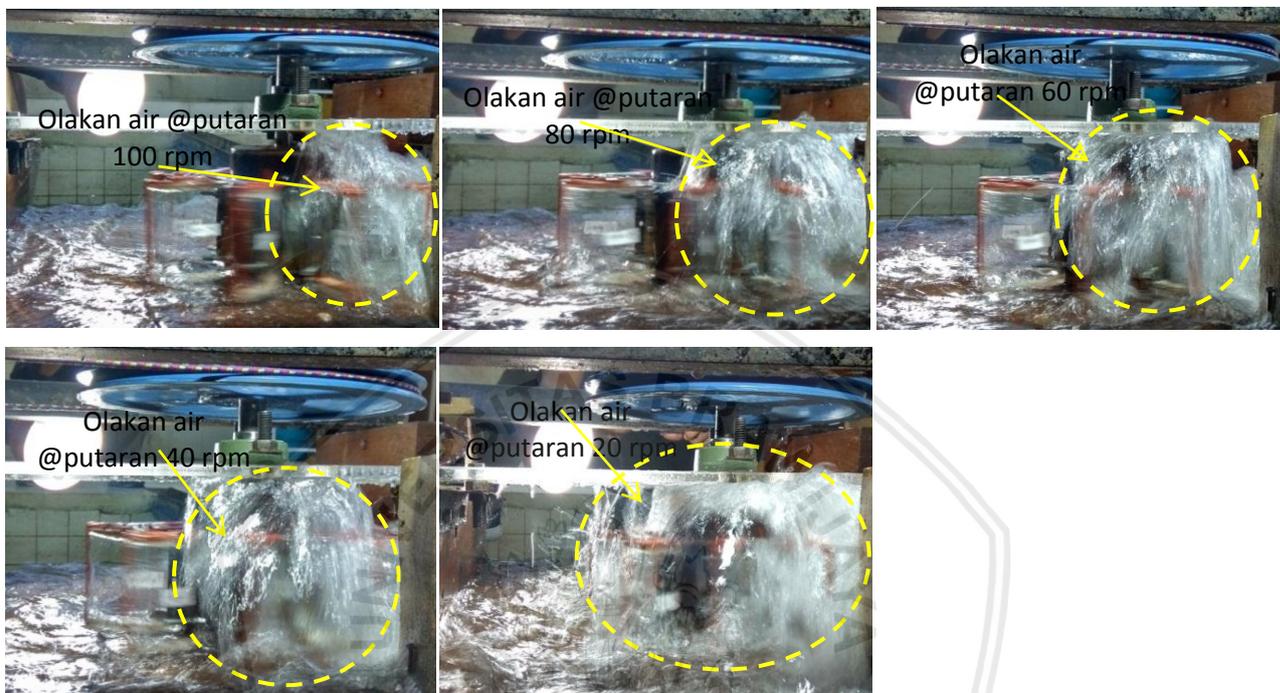
Grafik pada gambar 5.2 memperlihatkan fenomena hubungan putaran dan daya turbin yang identik untuk setiap debit aliran. Begitupun dengan masing - masing variasi lebar sudu 8 cm, 9 cm dan 10 cm. Secara keseluruhan meningkatnya putaran atau berkurangnya pembebanan akan meingkatkan daya turbin. Fenomena ini bisa terjadi karena adanya aliran balik dari air yang menumbuk sudu bila pembebanannya besar. Momentum aliran diduga memberi gaya yang berlawanan terhadap kecepatan absolut fluida. Putaran turbin yang rendah juga menyebabkan aliran air tertahan disekitar sudu turbin dan memberi arah yang berlawanan dengan arah torsi. Hal ini tentu saja akan mengurangi daya turbin.

Grafik pada gambar 5.2 memperlihatkan kondisi – kondisi operasi turbin kinetik daya terbesar untuk lebar sudu 8 cm terdapat pada putaran 80 rpm yaitu sebesar 7,54 Watt pada debit $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan daya terendah pada putaran 20 rpm yakni 1,44 Watt pada debit $45 \text{ m}^3/\text{jam}$. Daya terbesar untuk lebar sudu 9 cm terdapat pada putaran 80 rpm yaitu sebesar 10,47 Watt pada debit $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan daya terendah pada putaran 20 rpm yakni 1,99 Watt pada debit $45 \text{ m}^3/\text{jam}$. Daya terbesar untuk lebar sudu 10 cm juga terdapat pada putaran 80 rpm yaitu sebesar 12,98 Watt pada debit $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan daya terendah pada putaran 20 rpm yakni 2,30 Watt pada debit $65 \text{ m}^3/\text{jam}$. Dari kondisi – kondisi optimum yang didapatkan dengan demikian maka pada pembahasan selanjutnya untuk memperoleh tujuan dari penelitian maka akan dijelaskan setiap kinerja turbin (daya) pada putaran 80 rpm.



Gambar 5.1 Grafik hubungan putaran terhadap daya pada setiap debit air berturut – turut untuk turbin dengan lebar sudu 8 cm, 9 cm dan 10 cm.

Adapun variabel debit air memberikan nilai daya turbin yang semakin tinggi seiring dengan meningkatnya debit. Fenomena ini bisa dipahami dari persamaan 2-4 untuk menentukan daya air. Peningkatan debit air akan meningkatkan kecepatan air kemudian meningkatkan kecepatan angular dan memperbesar massa aliran yang menumbuk sudu kemudian memperbesar gaya.



Gambar 5.2 Perilaku aliran pada sisi masuk turbin.

Pada gambar 5.2 dapat diamati perubahan perilaku aliran pada sisi masuk turbin disebabkan adanya perbedaan pembebanan pada poros. Semakin besar pembebanan maka olakan air semakin besar, olakan air paling besar terdapat pada putaran 20 rpm dan olakan paling kecil terdapat pada putaran 100 rpm. Hal ini menyebabkan adanya aliran balik yang melawan kecepatan absolut aliran air dan genangan air yang cukup besar yang memberi beban gaya yang berlawanan dengan arah torsi pada sudu. Kondisi ini juga menjelaskan semakin tinggi putaran maka daya turbin cenderung lebih optimal.

5.2.2 Efisiensi Turbin

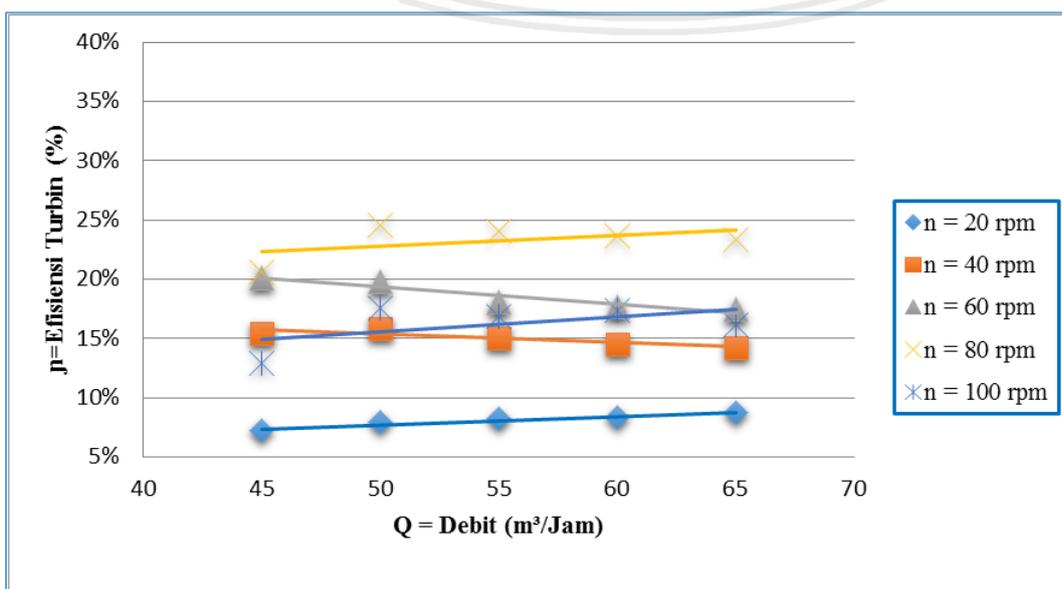
Pada pembahasan sub bab sebelumnya memperlihatkan adanya pengaruh debit dan putaran terhadap daya yang dihasilkan turbin pada setiap variasi lebar sudu. Diketahui bahwa selain daya turbin, efisiensi dari turbin kinetik juga merupakan salah satu parameter dari kinerja turbin. Dari persamaan 2-7 nilai Efisiensi adalah besarnya daya air (P_a) dibagi daya turbin (P_t). Dengan kata lain hubungan yang diberikan dari persamaan 2-7 adalah jika daya turbin bertambah untuk kondisi daya air yang sama maka efisiensi dari turbinpun meningkat. Sementara itu dari persamaan 2-5 menunjukkan bahwa parameter daya air itu

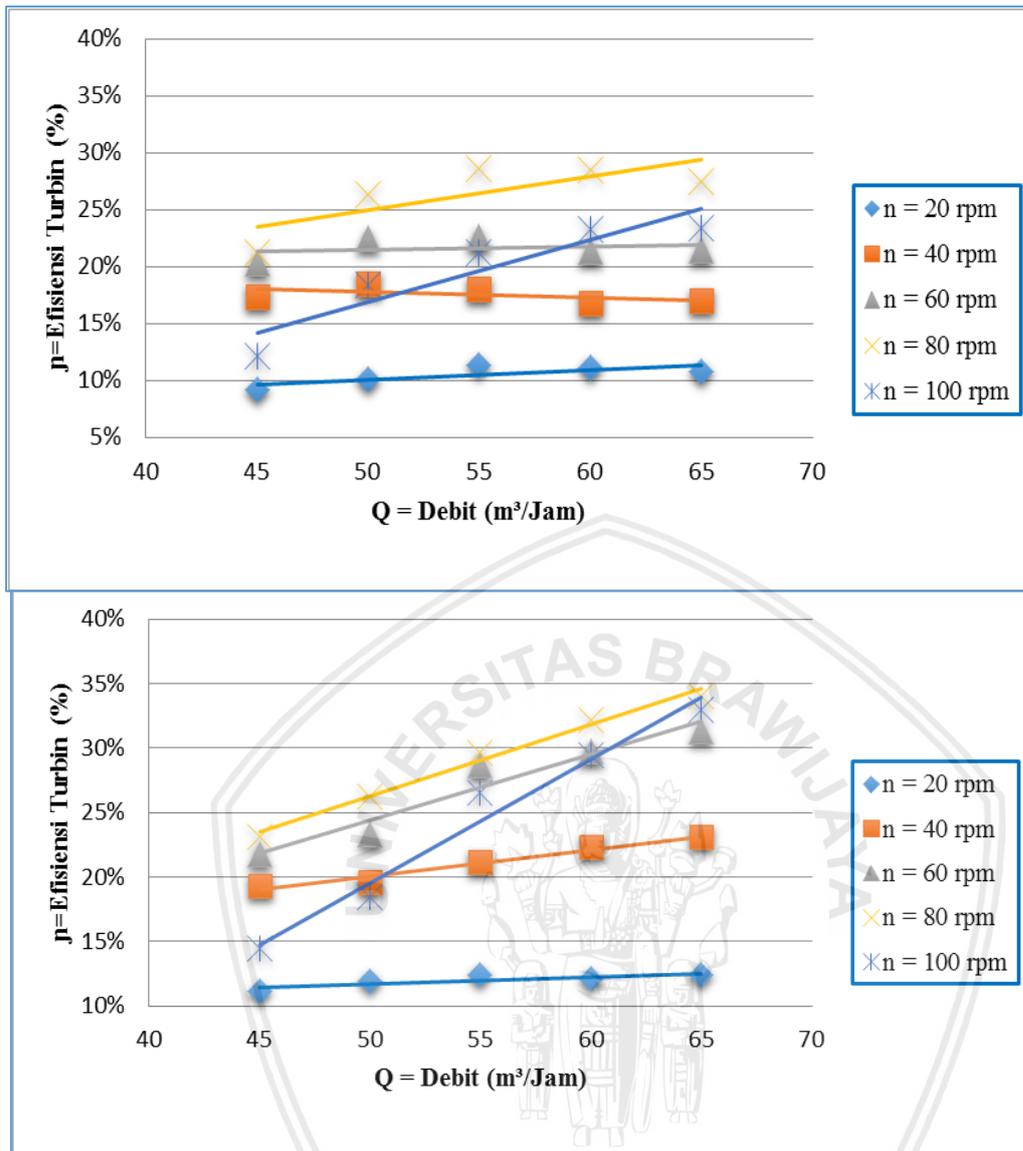
sendiri bergantung pada debit air. Oleh karena itu pembahasan dalam sub bab ini akan berdasarkan kepada grafik hubungan antara debit dan efisiensi. Dengan demikian untuk memahami secara keseluruhan efisiensi dari turbin pada operasi kerja turbin kinetik dalam penelitian ini, maka berikut ditampilkan grafik hubungan antara debit air (Q) dan efisiensi (η) turbin untuk setiap putaran (n) pada masing – masing variasi lebar sudu pada gambar 5.3.

Pada gambar 5.3 terlihat bahwa fenomena yang identik dari hubungan antara putaran dan efisiensi pada setiap debit air yang diujikan dan untuk masing – masing variasi lebar sudu. Dimana penurunan beban atau dengan kata lain semakin meningkat nilai putaran maka efisiensi turbin semakin meningkat.

Adapun kondisi – kondisi maksimum dan minimum yang dicapai dari sistem operasi kerja turbin kinetik adalah efisiensi maksimum untuk lebar sudu 8 cm terdapat pada putaran 80 rpm yaitu sebesar 24,61 % pada debit 50 m^3/jam dan efisiensi terendah pada putaran 20 rpm yakni 7,21 % pada debit 45 m^3/jam . Efisiensi terbesar untuk lebar sudu 9 cm terdapat pada putaran 80 rpm yaitu sebesar 30,06 % pada debit 60 m^3/jam dan efisiensi terendah pada putaran 20 rpm yakni 9,98 % pada debit 45 m^3/jam . Efisiensi terbesar untuk lebar sudu 10 cm juga terdapat pada putaran 80 rpm yaitu sebesar 34,07 % pada debit 65 m^3/jam dan efisiensi terendah pada putaran 20 rpm yakni 12,08 % pada debit 45 m^3/jam .

Efisiensi turbin (η) di pengaruhi oleh daya turbin (P_t) dan daya air (P_a), dimana daya turbin dipengaruhi secara implicit oleh gaya (F) dan putaran (n). Daya air (P_a) dipengaruhi oleh debit (Q) dan secara implicit tergantung dari kecepatan air (v). semakin besar daya turbin efisiensi akan meningkat namun berbanding terbalik dengan daya air, semakin besar daya air maka efisiensi semakin kecil. (efisiensi) pada putaran 80 rpm.

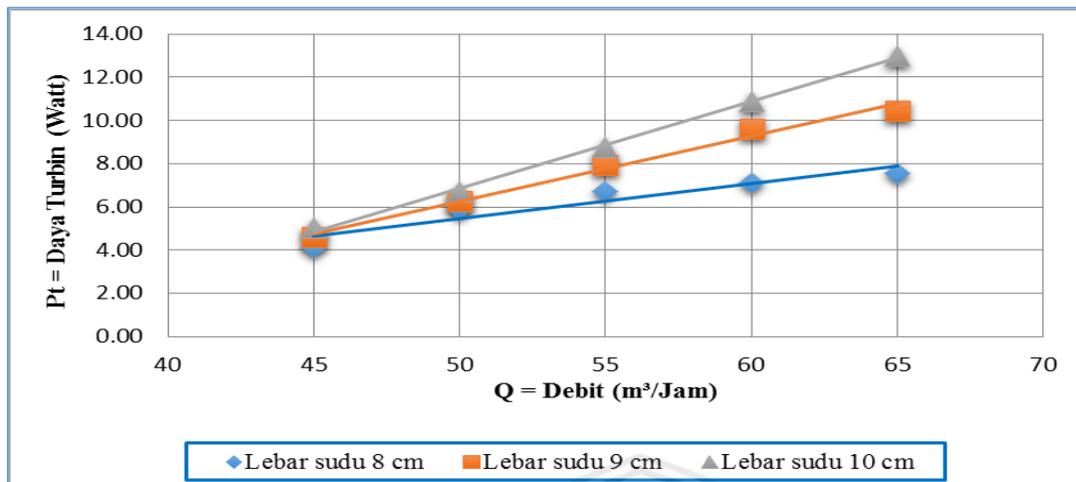




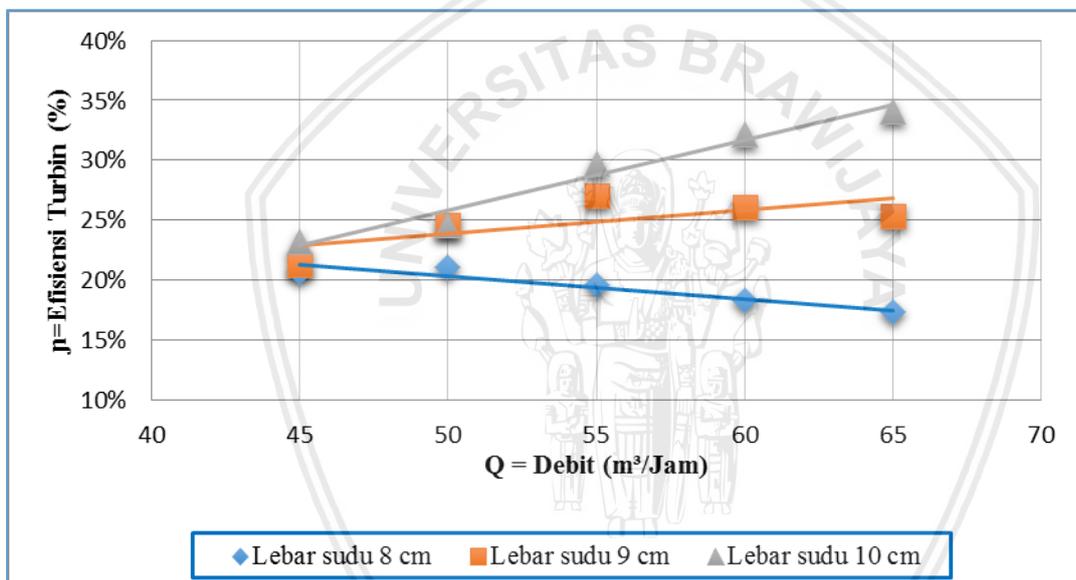
Gambar 5.3 Grafik hubungan antara debit air dan efisiensi turbin pada setiap putaran berturut-turut untuk lebar sudu 8 cm, 9 cm dan 10 cm.

Pada gambar 5.3 dapat diamati perubahan ketinggian aliran pada sisi masuk turbin disebabkan adanya perbedaan debit air yang diberikan. Semakin besar debit air maka ketinggian aliran semakin besar, ketinggian aliran paling besar terdapat pada debit air 65 m³/jam dan ketinggian paling kecil terdapat pada debit air 45 m³/jam. Hal ini menyebabkan adanya perbedaan kapasitas aliran yang mampu dikonversi oleh masing-masing sudu. Semakin lebar sudu maka masa aliran yang menumbuk sudu semakin besar dan menyebabkan energi mekanik semakin besar pada energi potensial aliran yang sama. Kondisi ini juga menjelaskan semakin besar debit air maka efisiensi semakin meningkat pada turbin dengan lebar sudu 10 cm. Dengan demikian maka pada pembahasan selanjutnya akan dijelaskan setiap kinerja turbin.

5.2.3 Daya dan Efisiensi pada Putaran 80 rpm



Gambar 5.4 Grafik hubungan antara debit dan daya pada putaran 80 rpm.



Gambar 5.5 Grafik hubungan antara debit dan efisiensi pada putaran 80 rpm

Dari Grafik sebelumnya maka di ketahui bahwa daya dan efisiensi maksimum berada pada putaran 80 rpm, dengan jumlah sudu 8, oleh karena itu pembahasan selanjutnya pada sub bab ini didasarkan atas putaran 80 rpm untuk semua jumlah sudu. Hubungan antara debit aliran daya dan efisiensi, untuk setiap jumlah sudu ditunjukkan pada Gambar grafik 5.4 dan 5.5.

Grafik pada gambar 5.5 memperlihatkan daya turbin semakin meningkat seiring dengan bertambahnya debit air yang diberikan. Setiap turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm, 9 cm dan 10 cm memperoleh daya minimum dan maksimum pada kondisi debit air yang sama. Daya terbesar untuk turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm diperoleh pada debit aliran 65 m³/jam yaitu sebesar 7,54 Watt dan daya terkecil pada debit aliran 45 m³/jam yakni 4,10 Watt. Sedangkan daya tertinggi untuk turbin dengan lebar sudu 9 cm diperoleh

pada debit air $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu sebesar 10,47 Watt dan daya terendah pada debit air $45 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni 4,61 Watt. Sementara itu daya maksimum untuk turbin dengan lebar sudu 10 cm juga terdapat pada debit air $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu sebesar 12,98 Watt dan daya minimum pada debit air $45 \text{ m}^3/\text{h}$ yakni 5,02 Watt.

Secara keseluruhan dari tiga variasi lebar sudu yang diuji, daya tertinggi diperoleh pada turbin dengan lebar sudu 10 cm, diikuti turbin dengan variasi lebar 9 cm dan daya terendah diperoleh pada turbin dengan lebar sudu 8 cm. Pada skala dimensi sudu yang diuji dapat dikatakan bahwa semakin besar lebar sudu maka daya turbin akan meningkat pula. Pada nilai debit aliran yang sama lebar sudu yang lebih besar menghasilkan daya yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan energi potensial dari aliran air dapat dimanfaatkan lebih banyak pada turbin dengan variasi lebar sudu yang lebih besar. Secara teoritis besarnya energi potensial air bergantung pada nilai kecepatan dan masa aliran, tentu saja pada debit air yang sama kecepatan aliran juga sama. Oleh karena itu energi potensial yang dimanfaatkan pada fenomena ini bukan dari kecepatan melainkan penambahan masa aliran yang menumbuk sudu disebabkan luasan sudu lebih besar.

Hubungan debit air dan daya turbin pada setiap variasi lebar sudu memperlihatkan pola yang sama, secara keseluruhan meningkatnya debit air akan meningkatkan daya turbin. Fenomena ini bisa dipahami karena pada dasarnya daya turbin merupakan daya yang diperoleh dari kecepatan aliran dan massa aliran air yang dikonversi ke putaran poros oleh sudu – sudu turbin. Masa aliran yang bertambah memperbesar momentum aliran yang menumbuk sudu – sudu turbin. Karena itu ada penambahan gaya yang menyebabkan torsi meningkat.

Gambar 5.5 menunjukkan untuk setiap debit yang diuji pada masing – masing turbin diperoleh efisiensi turbin yang lebih tinggi pada variasi lebar sudu yang lebih besar. Efisiensi maksimum dan minimum pada masing - masing turbin diperoleh pada kondisi debit air yang berbeda. Pada turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm efisiensi turbin cenderung konstan seiring dengan naiknya debit air yang diberikan. Efisiensi paling tinggi berada pada debit air $55 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu sebesar 24,61 % dan efisiensi paling rendah pada debit air $45 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni 20,59 %. Sedangkan untuk turbin dengan variasi lebar sudu 10 cm memperlihatkan hal yang sebaliknya yaitu efisiensi turbin semakin meningkat dengan adanya penambahan debit air. Efisiensi terbesar terdapat pada debit air $65 \text{ m}^3/\text{jam}$ yaitu sebesar 34,07 % dan efisiensi terkecil pada debit air $45 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni 23,16 %. Sementara itu untuk turbin dengan variasi lebar sudu 9 cm menunjukkan fenomena yang berbeda dari dua variasi lainnya. Terjadi kenaikan efisiensi turbin dari nilai minimum pada debit air 45

m^3/jam yakni 23,11 % dan mencapai nilai maksimum pada debit air $60 \text{ m}^3/\text{h}$ yaitu sebesar 30,06 % kemudian efisiensi menurun seiring naiknya debit air.

Efisiensi maksimum terjadi pada lebar sudu 10 cm, diikuti variasi lebar 9 cm dan daya terendah diperoleh pada lebar sudu 8 cm. Dengan kata lain hasil penelitian menunjukkan semakin besar lebar sudu maka daya turbin akan meningkat pula. Pada nilai debit aliran yang sama turbin dengan lebar sudu yang lebih besar menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan daya turbin pada daya air yang sama. Disebabkan adanya energi potensial dari aliran air dapat dimanfaatkan lebih banyak pada turbin dengan lebar sudu yang lebih besar. Secara teoritis efisiensi turbin merupakan perbandingan antara daya turbin dengan dengan daya potensial air yang tersedia. Karena itu efisiensi yang lebih tinggi pada turbin dengan variasi lebar sudu yang lebih besar dapat dipahami karena pada bagian sebelumnya daya turbin yang lebih tinggi juga didapatkan pada turbin dengan variasi lebar sudu yang lebih besar.

Hubungan antara debit air dan efisiensi turbin memperlihatkan pola yang berbeda pada masing – masing turbin dengan variasi lebar sudu. Fenomena ini terjadi karena Kondisi aliran yang berada pada saluran terbuka dimana bertambahnya debit air menyebabkan luasan aliran membesar. karena itu ada kondisi tertentu yang sesuai antara lebar sudu dengan daya air yang tersedia dimana kondisi itu akan menghasilkan efisiensi turbin yang maksimum.

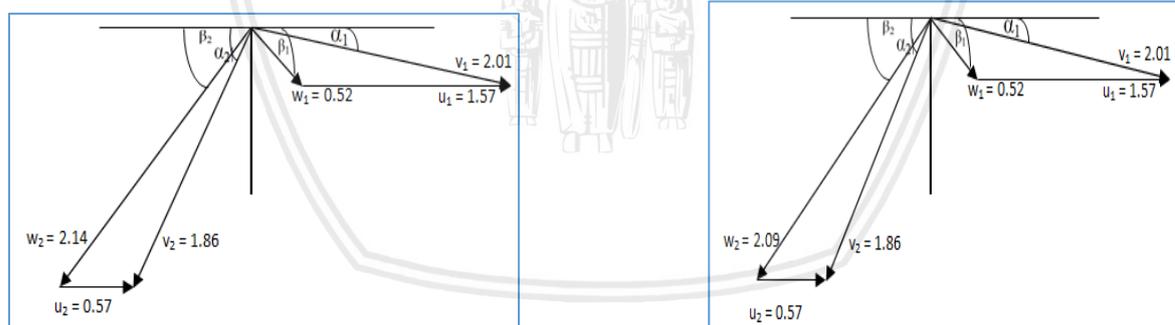
Pada gambar 5.5 grafik menunjukkan perpotongan yang artinya bahwa daya yang dihasilkan setiap turbin relatif sama pada debit air yang paling rendah pada penelitian ini. Seperti yang telah dijelaskan bahwa turbin kinetik dengan lebar sudu lebih besar dapat memanfaatkan daya air lebih optimal karena masa aliran lebih besar menumbuk sudu. Namun pada saat debit air yang rendah luasan sudu turbin dengan variasi lebar sudu yang lebih besar tidak menerima tumbukan aliran yang penuh. Hal ini menyebabkan gaya tangensial yang diterima oleh masing – masing turbin relatif sama. Meskipun demikian pada kondisi tersebut turbin dengan lebar sudu yang lebih besar tetap memiliki daya yang sedikit lebih tinggi karena menampung masa air yang lebih berat. Dengan demikian pada saat debit air semakin rendah bahkan dibawah range dalam penelitian ini maka selisih daya yang dihasilkan turbin akan terus berkurang.

5.2.4 Segitiga Kecepatan

Selain efisiensi dan daya turbin parameter lain yang menarik dalam topik turbin air adalah segitiga kecepatan yang menggambarkan arah dan besarnya komponen kecepatan.

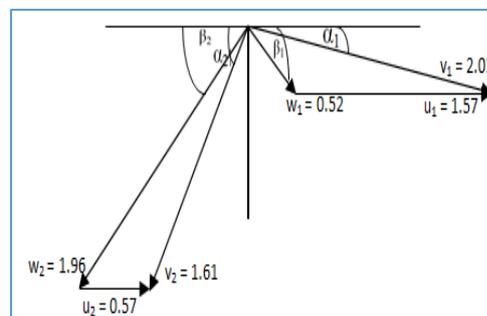
Besaran-besaran ini berguna untuk merancang geometri dan dimensi sudu dan pengecekan terhadap daya pada turbin. Segitiga kecepatan adalah dasar kinematika dari aliran fluida yang menumbuk sudu turbin. Dengan pemahaman segitiga kecepatan akan membantu dalam pemahaman proses konversi energi pada turbin air. Segitiga kecepatan pada turbin dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5.5. Pada sub bab 5.1 nilai segitiga kecepatan telah diperoleh dengan metode analisis. Pada sub bab ini besaran dan arah komponen kecepatan ditentukan dengan pendekatan atau metode grafis.

Dapat diamati pada gambar 5.6 secara keseluruhan pada sisi masuk dan keluar sudu tidak ada perubahan arah namun yang terjadi hanya perubahan besar komponen kecepatan pada sisi keluar. Pada sisi masuk sudut input sudu (α_1) atau sudut yang dibentuk oleh komponen kecepatan absolut air (v_1) dengan komponen kecepatan keliling (u_1) pada masing-masing model turbin tidak berubah yaitu sebesar 10° (Anam et al, 2013). Sementara sudut β_1 yang dibentuk dari adanya kecepatan relatif air terhadap sudu juga cenderung tidak berubah yaitu sekitar 43° . Perubahan yang terjadi pada variasi 3 model turbin adalah perubahan lebar sudu, oleh karena itu perubahan hanya terjadi pada dimensi bukan pada geometri. Besar nilai komponen-komponen kecepatan pada sisi masuk setiap turbin adalah sama yaitu setiap komponen kecepatan memiliki nilai berturut-turut adalah $v_1 = 2.01$ m/s, $u_1 = 1.57$ m/s dan $w_1 = 0.52$ m/s.



(a)

(b)



(c)

Gambar 5.6 Komponen segitiga kecepatan pada sisi masuk dan keluar sudu. (a) sudu 8 cm, (b) sudu 9 cm dan (c) sudu 10 cm.

Pada sisi keluar sudut α_2 yang dibentuk oleh komponen kecepatan keluar air (v_2) dan komponen kecepatan keliling (u_2) adalah konstan pada masing-masing turbin yakni 65° . Sementara itu sudut β_2 yang merupakan sudut antara kecepatan relatif air keluar terhadap sudu (w_2) dan kecepatan keliling (u_2) terbesar pada lebar sudu 8 cm yaitu 57° diikuti lebar sudu 9 cm sebesar 56° dan paling kecil pada sudu 10 cm yakni 55° . Besar nilai komponen-komponen kecepatan pada sisi keluar setiap turbin bervariasi. Semakin besar lebar sudu maka kecepatan relatif air terhadap sudu (w_1) semakin kecil.

Dapat dilihat nilai kecepatan relatif pada sisi keluar sudu 10 cm, 9 cm dan 8 cm berturut-turut adalah $w_2 = 1.96$ m/s, $w_2 = 2.09$ m/s dan $w_2 = 2.14$ m/s. Hal ini menunjukkan lebar sudu yang lebih besar dapat mengurangi kecepatan air yang meninggalkan sudu. Fenomena ini dapat dipahami dengan merujuk pada persamaan kontinuitas yang menyatakan bahwa kecepatan air akan lebih rendah pada luasan penampang yang lebih besar. Lebih dari itu hal ini juga menjelaskan bahwa dengan berkurangnya kecepatan air keluar sudu maka energi kinetik dari aliran semakin optimal dikonversi menjadi energi mekanik pada poros.

5.2.5 Visualisasi Aliran

Perilaku aliran dan sudu-sudu turbin di rekam dalam bentuk rekaman video untuk mengetahui fenomena yang terjadi. Hasil rekaman video akan ditampilkan dalam bentuk rentetan gambar yang mewakili setiap pergerakan turbin. *Gambar 5.7* merupakan contoh sebahagian gambar yang dikonversi dari hasil rekaman video.



Gambar 5.7 Frame hasil rekaman sudu dan perilaku aliran

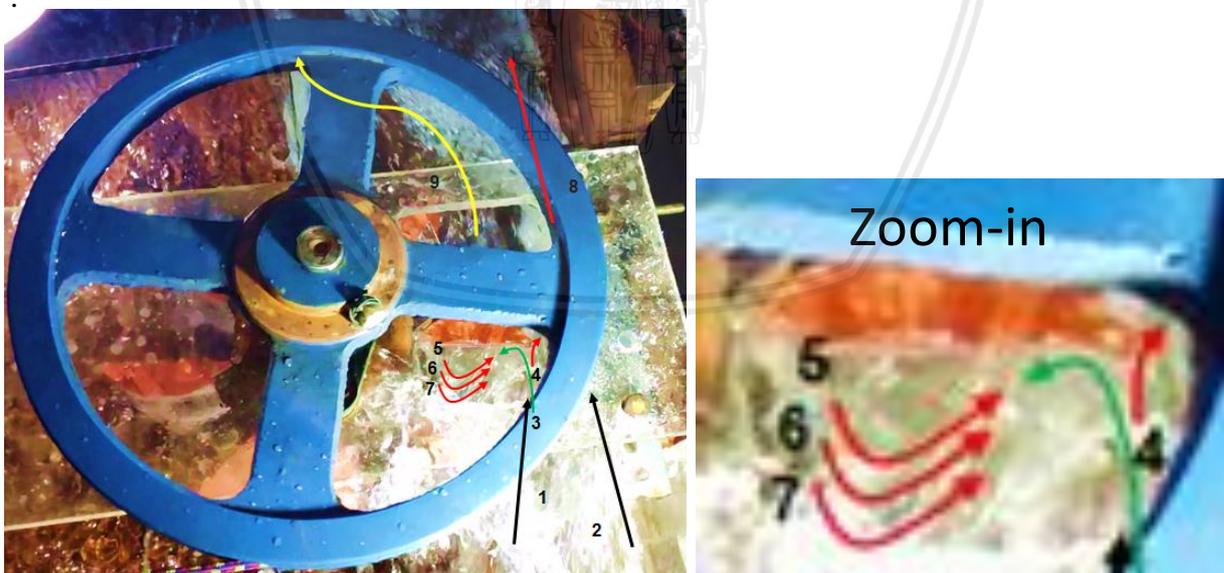
Dari gambar-gambar ini dapat diamati pergerakan sudu dan aliran yang menumbuk sudu. Untuk pengamatan yang lebih baik, beberapa video diambil pada momentum

tertinggi yang diterima sudu dimana kondisi debit air yang maksimum akan memberikan tekanan dorong yang maksimal pada sudu turbin. Selain itu pengamatan juga dilakukan pada kondisi kinerja turbin yang paling buruk untuk memahami fenomena aliran yang terjadi pada kondisi tersebut.

5.2.5.1 Visualisasi aliran pada kinerja maksimum

Terlihat pada gambar 5.8 bagaimana perilaku aliran pada turbin dengan kinerja maksimum. Pada variasi lebar sudu 10 cm kinerja maksimum turbin diperoleh pada putaran 80 rpm dan debit aliran $65 \text{ m}^3/\text{jam}$. Sedangkan kinerja maksimum pada turbin dengan variasi lebar sudu 9 cm didapatkan pada debit air $55 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan variasi putaran 80 rpm. Sementara itu kinerja maksimum pada turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm didapatkan pada putaran 80 rpm dan variasi debit air $45 \text{ m}^3/\text{jam}$. Berikut ditampilkan perilaku aliran pada turbin yang memiliki kinerja maksimum dengan variasi lebar sudu 8 cm.

Dapat diamati ruang sudu terisi penuh oleh air dan tidak ada yang menunjukkan bahwa aliran air melewati sudu. Kondisi ini menyebabkan diperolehnya efisiensi maksimum. Energi potensial aliran yang semakin besar dapat dikonversi dengan optimal menjadi energi mekanik. Hal ini yang juga mempengaruhi semakin besar ketinggian air maka efisiensi turbin semakin meningkat pada lebar sudu 10 cm.



Gambar 5.8 Perilaku aliran dan sudu turbin dengan variasi lebar 8 cm

Dapat dilihat aliran mulai masuk ke roda turbin ditunjuk oleh garis nomor 1 dan 2 perbedaan arah aliran masuk disebabkan adanya sudut pengarah aliran. Sementara itu garis nomor 3 menunjukan aliran air yang masuk menumbuk sudu, memberikan dorongan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi mekanik pada poros. Hal ini berdasar pada teori

momentum yang mana menjelaskan momentum dari sebuah objek yang bergerak merupakan hasil dari besarnya massa dan kecepatan. Momentum pada objek yang bergerak lurus juga disebut momentum linier (Lempoy et al, 2019). Hukum kekekalan momentum menyatakan momentum pada sebuah objek tidak berubah sepanjang tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada objek tersebut. (Guo et al, 2016)

Garis nomor 4 adalah aliran air yang tidak masuk ke ruang sudu dan langsung keluar meninggalkan roda turbin bersama aliran yang tidak dapat dijangkau jari-jari roda turbin dekat dengan dinding saluran. Garis nomor 5-7 menunjukkan bagian aliran yang bersirkulasi setelah memasuki sudu dan memenuhi ruang sudu. Selama bersirkulasi massa air memberikan tambahan pada momentum aliran untuk menghasilkan energi mekanik yang lebih besar. Selanjutnya garis nomor 8 menunjukkan aliran air dekat dinding saluran yang langsung meninggalkan sudu tanpa memberi pengaruh terhadap turbin. Garis nomor 9 menunjukkan aliran yang bersirkulasi dalam sudu akan dilemparkan keluar ke bagian belakan roda turbin.

5.2.5.2 Visualisasi aliran pada efisiensi minimum

Efisiensi turbin paling rendah diperoleh dikondisi debit tertinggi dan putaran terendah pada variasi lebar sudu 8 cm. Seperti telah dijelaskan sebelumnya kondisi ini disebabkan putaran yang rendah menyebabkan olakan air dan genangan air yang besar pada sisi masuk turbin. Selain itu debit yang tinggi menyebabkan adanya aliran air melewati sudu dibagian atas karena aliran air yang tinggi. Dapat dilihat semakin tinggi debit air maka semakin banyak jumlah air yang melewati bagian atas sudu, seperti ditunjuk oleh garis – garis merah pada gambar 5.9. Hal ini juga menjelaskan semakin tinggi debit aliran maka efisiensi akan terus menurun pada turbin dengan variasi lebar sudu 8 cm.



Gambar 5.9 Perilaku aliran dan sudu turbin dengan variasi lebar 9 cm

Dapat dilihat aliran mulai masuk ke roda turbin ditunjuk oleh garis nomor 1 dan 2 perbedaan arah aliran masuk disebabkan adanya sudut pengarah aliran. Sementara itu garis nomor 3-8 menunjukkan sebagian aliran air yang melewati bagian atas turbin, oleh karena itu aliran tidak memberikan dorongan atau momentum pada sudu untuk memutar turbin. Pengaruh dari aliran yang melewati sudu menyebabkan kurangnya energi mekanik yang dihasilkan (Lempoy et al, 2019).

Garis nomor 9 dan 10 menunjukkan aliran air yang melwati sudu akan masuk kesudu berikutnya dan akan bersamaan meninggalkan ruang sudu dengan aliran yang berada dalam ruang sudu seperti ditunjuk garis no 12. Selanjutnya garis nomor 7 menunjukkan aliran air dekat dinding saluran yang langsung meninggalkan sudu tanpa memberi pengaruh terhadap turbin.

5.2.5.3 Visualisasi aliran pada daya paling rendah

Daya terendah pada seluruh turbin diperoleh pada kondisi debit terendah dan pada putaran 20 rpm. Agar dapat dilihat secara signifikan maka berikut ditampilkan gambar 5.10 perilaku aliran pada variasi lebar sudu 10 cm. Dapat dilihat pada gambar ruang sudu tidak terisi penuh oleh air, oleh karena itu daya yang dihasilkan paling kecil dibandingkan daya yang dihasilkan pada debit air yang lain. Hal ini juga menjelaskan semakin rendah debit air yang diberikan maka daya poros yang dihasilkan turbin juga semakin kecil.

Dapat dilihat aliran mulai masuk ke roda turbin ditunjuk oleh garis nomor 1 dan 2 perbedaan arah aliran masuk disebabkan adanya sudut pengarah aliran. Sementara itu garis nomor 3 menunjukkan aliran air yang masuk menumbuk sudu, memberikan dorongan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi mekanik pada poros.



Gambar 5.10 Perilaku aliran dan sudu turbin dengan variasi lebar 10 cm

Garis nomor 4 dan 5 adalah aliran air yang tidak masuk ke ruang sudu setelah menumbuk bagian sisi sudu dan langsung keluar meninggalkan roda turbin bersama aliran yang tidak dapat dijangkau jari – jari roda turbin dekat dengan dinding saluran. Selanjutnya garis nomor 7 menunjukkan aliran air dekat dinding saluran yang langsung meninggalkan sudu tanpa memberi pengaruh terhadap turbin. Garis nomor 9 menunjukkan aliran yang bersirkulasi dalam sudu akan dilemparkan keluar ke bagian belakang roda turbin.



Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi lebar sudu mangkok mempengaruhi kinerja turbin kinetik poros vertikal, dimana semakin lebar sudu mangkok maka kinerja turbin semakin meningkat. Turbin kinetik dengan lebar sudu lebih besar memperoleh energi mekanik yang lebih tinggi dikarenakan masa aliran yang menumbuk sudu lebih besar. Selain itu, luasan penampang sudu yang lebih besar dapat memaksimalkan energi kinetik aliran selama aliran melewati sudu.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa saran dalam upaya pengembangan turbin kinetik baik untuk kebutuhan penelitian maupun kebutuhan praktis :

1. Untuk keperluan praktis penelitian tentang turbin kinetik diharapkan tidak hanya dilakukan pada skala laboratorium tetapi juga dilakukan penelitian pada kondisi pemakaian sebenarnya.
2. Perlu ada penelitian lanjutan dari konsep turbin ini yaitu :
 - a. Tentang pengaruh jarak ujung pengarah aliran dengan ujung sudu terhadap kinerja turbin kinetik.
 - b. Tentang pengaruh sudut pengarah aliran terhadap profil segitiga kecepatan sudu.
 - c. Tentang visualisasi dan karakteristik aliran di sekitar sudu – sudu turbin.
 - d. Tentang pengaruh sudut kelengkungan sudu terhadap kinerja turbin kinetik.
 - e. Tentang optimalisasi kinerja turbin kinetik berdasar pada perbandingan dimensi sudu mangkok.



Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengujian turbin kinetik
tabel 1-5. Turbin kinetik dengan lebar sudu 10 cm

Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	M	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
45	0.013	120	0.07	0.09	0	0	0	0
45	0.013	120	0.07	0.09	0	0	0	
45	0.013	121	0.07	0.09	0	0	0	
45	0.013	100	0.07	0.09	3	1	2	2
45	0.013	100	0.07	0.09	4	2	2	
45	0.013	100	0.07	0.09	3	1	2	4
45	0.013	80	0.07	0.09	6	2	4	
45	0.013	80	0.07	0.09	5	1	4	
45	0.013	80	0.07	0.09	6	2	4	5
45	0.013	60	0.07	0.09	9	4	5	
45	0.013	60	0.07	0.09	8	4	4	7.67
45	0.013	60	0.07	0.09	10	4	6	
45	0.013	40	0.07	0.09	12	4	8	8.67
45	0.013	40	0.07	0.09	12	5	7	
45	0.013	40	0.07	0.09	13	5	8	
45	0.013	20	0.07	0.09	15	6	9	9.67
45	0.013	20	0.07	0.09	15	7	8	
45	0.013	20	0.07	0.09	14	5	9	9.67
45	0.013	0	0.07	0.09	17	7	10	
45	0.013	0	0.07	0.09	17	8	9	
45	0.013	0	0.07	0.09	16	6	10	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	M	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
50	0.014	123	0.075	0.09	0	0	0	0.00
50	0.014	123	0.075	0.09	0	0	0	
50	0.014	124	0.075	0.09	0	0	0	
50	0.014	100	0.075	0.09	5	2	3	3.00
50	0.014	100	0.075	0.09	5	2	3	
50	0.014	100	0.075	0.09	5	2	3	5.33
50	0.014	80	0.075	0.09	8	3	5	
50	0.014	80	0.075	0.09	9	3	6	
50	0.014	80	0.075	0.09	8	3	5	6.33
50	0.014	60	0.075	0.09	11	5	6	
50	0.014	60	0.075	0.09	11	4	7	8.00
50	0.014	60	0.075	0.09	10	4	6	
50	0.014	40	0.075	0.09	14	6	8	
50	0.014	40	0.075	0.09	13	5	8	8.00
50	0.014	40	0.075	0.09	15	7	8	

50	0.014	20	0.075	0.09	18	9	9	9.67
50	0.014	20	0.075	0.09	19	9	10	
50	0.014	20	0.075	0.09	17	7	10	10.33
50	0.014	0	0.075	0.09	18	8	10	
50	0.014	0	0.075	0.09	18	8	10	
50	0.014	0	0.075	0.09	18	7	11	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			Rata2 ΣF
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	M	F ₁	F ₂	ΣF	
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	0
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	5
55	0.015	100	0.08	0.09	8	3	5	
55	0.015	100	0.08	0.09	9	4	5	
55	0.015	100	0.08	0.09	7	2	5	7.33
55	0.015	80	0.08	0.09	13	6	7	
55	0.015	80	0.08	0.09	12	5	7	
55	0.015	80	0.08	0.09	14	6	8	9
55	0.015	60	0.08	0.09	16	7	9	
55	0.015	60	0.08	0.09	17	8	9	
55	0.015	60	0.08	0.09	15	6	9	10.00
55	0.015	40	0.08	0.09	17	7	10	
55	0.015	40	0.08	0.09	18	8	10	
55	0.015	40	0.08	0.09	16	6	10	11.67
55	0.015	20	0.08	0.09	20	8	12	
55	0.015	20	0.08	0.09	19	7	12	
55	0.015	20	0.08	0.09	20	9	11	11.67
55	0.015	0	0.08	0.09	21	9	12	
55	0.015	0	0.08	0.09	21	9	12	
55	0.015	0	0.08	0.09	20	9	11	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar air (l)	Gaya = F (Newton)			Rata2 ΣF
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	M	F ₁	F ₂	ΣF	
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	0.00
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	6.33
60	0.017	100	0.085	0.09	10	4	6	
60	0.017	100	0.085	0.09	11	4	7	
60	0.017	100	0.085	0.09	10	4	6	8.67
60	0.017	80	0.085	0.09	14	6	8	
60	0.017	80	0.085	0.09	15	6	9	
60	0.017	80	0.085	0.09	13	4	9	10.67
60	0.017	60	0.085	0.09	17	7	10	
60	0.017	60	0.085	0.09	18	7	11	

60	0.017	60	0.085	0.09	16	5	11	
60	0.017	40	0.085	0.09	18	6	12	
60	0.017	40	0.085	0.09	19	7	12	12.00
60	0.017	40	0.085	0.09	17	5	12	
60	0.017	20	0.085	0.09	21	8	13	
60	0.017	20	0.085	0.09	22	9	13	13.00
60	0.017	20	0.085	0.09	20	7	13	
60	0.017	0	0.085	0.09	22	9	13	
60	0.017	0	0.085	0.09	21	8	13	13.00
60	0.017	0	0.085	0.09	23	10	13	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	M	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
65	0.018	132	0.09	0.09	0	0	0	
65	0.018	132	0.09	0.09	0	0	0	0.00
65	0.018	132	0.09	0.09	0	0	0	
65	0.018	100	0.09	0.09	11	3	8	
65	0.018	100	0.09	0.09	12	4	8	8.00
65	0.018	100	0.09	0.09	10	2	8	
65	0.018	80	0.09	0.09	14	4	10	
65	0.018	80	0.09	0.09	15	4	11	10.33
65	0.018	80	0.09	0.09	13	3	10	
65	0.018	60	0.09	0.09	17	4	13	
65	0.018	60	0.09	0.09	16	4	12	12.67
65	0.018	60	0.09	0.09	18	5	13	
65	0.018	40	0.09	0.09	19	5	14	
65	0.018	40	0.09	0.09	18	4	14	14.00
65	0.018	40	0.09	0.09	20	6	14	
65	0.018	20	0.09	0.09	22	7	15	
65	0.018	20	0.09	0.09	23	8	15	15.00
65	0.018	20	0.09	0.09	21	6	15	
65	0.018	0	0.09	0.09	25	9	16	
65	0.018	0	0.09	0.09	26	10	16	15.67
65	0.018	0	0.09	0.09	24	9	15	

Tabel 6-10. Turbin kinetik dengan lebar sudu 9 cm

Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	m	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
45	0.013	120	0.07	0.09	0	0	0	
45	0.013	120	0.07	0.09	0	0	0	0.00
45	0.013	120	0.07	0.09	0	0	0	
45	0.013	100	0.07	0.09	3	1	2	
45	0.013	100	0.07	0.09	3	2	1	1.67
45	0.013	100	0.07	0.09	4	2	2	

45	0.013	80	0.07	0.09	6	2	4	3.67
45	0.013	80	0.07	0.09	5	2	3	
45	0.013	80	0.07	0.09	6	2	4	
45	0.013	60	0.07	0.09	8	3	5	4.67
45	0.013	60	0.07	0.09	9	4	5	
45	0.013	60	0.07	0.09	8	4	4	
45	0.013	40	0.07	0.09	10	4	6	6.00
45	0.013	40	0.07	0.09	10	4	6	
45	0.013	40	0.07	0.09	11	5	6	
45	0.013	20	0.07	0.09	13	6	7	6.33
45	0.013	20	0.07	0.09	14	8	6	
45	0.013	20	0.07	0.09	13	7	6	
45	0.013	0	0.07	0.09	15	8	7	7.33
45	0.013	0	0.07	0.09	16	9	7	
45	0.013	0	0.07	0.09	15	7	8	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	m	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
50	0.014	123	0.075	0.09	0	0	0	0.00
50	0.014	123	0.075	0.09	0	0	0	
50	0.014	124	0.075	0.09	0	0	0	
50	0.014	100	0.075	0.09	4	1	3	3.00
50	0.014	100	0.075	0.09	4	1	3	
50	0.014	100	0.075	0.09	5	2	3	
50	0.014	80	0.075	0.09	7	2	5	5.00
50	0.014	80	0.075	0.09	8	3	5	
50	0.014	80	0.075	0.09	8	3	5	
50	0.014	60	0.075	0.09	11	5	6	5.67
50	0.014	60	0.075	0.09	10	4	6	
50	0.014	60	0.075	0.09	10	5	5	
50	0.014	40	0.075	0.09	13	6	7	7.00
50	0.014	40	0.075	0.09	12	5	7	
50	0.014	40	0.075	0.09	14	7	7	
50	0.014	20	0.075	0.09	15	8	7	7.67
50	0.014	20	0.075	0.09	16	8	8	
50	0.014	20	0.075	0.09	15	7	8	
50	0.014	0	0.075	0.09	18	10	8	7.33
50	0.014	0	0.075	0.09	16	9	7	
50	0.014	0	0.075	0.09	18	11	7	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar air (l)	Gaya = F (Newton)			
m/h	m ³ /s	rpm	m	m	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	0.00
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	

55	0.015	100	0.08	0.09	5	1	4	4.00
55	0.015	100	0.08	0.09	5	1	4	
55	0.015	100	0.08	0.09	6	2	4	6.33
55	0.015	80	0.08	0.09	9	3	6	
55	0.015	80	0.08	0.09	10	3	7	6.67
55	0.015	80	0.08	0.09	9	3	6	
55	0.015	60	0.08	0.09	12	5	7	8.00
55	0.015	60	0.08	0.09	11	4	7	
55	0.015	60	0.08	0.09	11	5	6	8.00
55	0.015	40	0.08	0.09	15	7	8	
55	0.015	40	0.08	0.09	14	6	8	10.00
55	0.015	40	0.08	0.09	16	8	8	
55	0.015	20	0.08	0.09	19	9	10	9.00
55	0.015	20	0.08	0.09	20	10	10	
55	0.015	20	0.08	0.09	18	8	10	9.00
55	0.015	0	0.08	0.09	20	11	9	
55	0.015	0	0.08	0.09	19	10	9	9.00
55	0.015	0	0.08	0.09	21	12	9	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	m	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	0.00
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	5.00
60	0.017	100	0.085	0.09	6	1	5	
60	0.017	100	0.085	0.09	5	1	4	7.67
60	0.017	100	0.085	0.09	8	2	6	
60	0.017	80	0.085	0.09	10	3	7	7.67
60	0.017	80	0.085	0.09	11	3	8	
60	0.017	80	0.085	0.09	12	4	8	7.67
60	0.017	60	0.085	0.09	14	6	8	
60	0.017	60	0.085	0.09	13	5	8	9.00
60	0.017	60	0.085	0.09	14	7	7	
60	0.017	40	0.085	0.09	16	7	9	9.00
60	0.017	40	0.085	0.09	16	7	9	
60	0.017	40	0.085	0.09	16	7	9	12.00
60	0.017	20	0.085	0.09	21	9	12	
60	0.017	20	0.085	0.09	21	9	12	12.00
60	0.017	20	0.085	0.09	21	9	12	
60	0.017	0	0.085	0.09	23	11	12	12.00
60	0.017	0	0.085	0.09	24	12	12	
60	0.017	0	0.085	0.09	22	10	12	

Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	m	F ₁	F ₂	ΣF	Rata2 ΣF
65	0.018	132	0.09	0.09	0	0	0	0.00
65	0.018	132	0.09	0.09	0	0	0	
65	0.018	132	0.09	0.09	0	0	0	
65	0.018	100	0.09	0.09	7	1	6	5.67
65	0.018	100	0.09	0.09	7	2	5	
65	0.018	100	0.09	0.09	7	1	6	
65	0.018	80	0.09	0.09	11	3	8	8.33
65	0.018	80	0.09	0.09	11	3	8	
65	0.018	80	0.09	0.09	12	3	9	8.67
65	0.018	60	0.09	0.09	14	5	9	
65	0.018	60	0.09	0.09	14	6	8	
65	0.018	60	0.09	0.09	13	4	9	10.33
65	0.018	40	0.09	0.09	16	6	10	
65	0.018	40	0.09	0.09	16	5	11	
65	0.018	40	0.09	0.09	17	7	10	13.00
65	0.018	20	0.09	0.09	21	8	13	
65	0.018	20	0.09	0.09	21	8	13	
65	0.018	20	0.09	0.09	21	8	13	13.00
65	0.018	0	0.09	0.09	24	11	13	
65	0.018	0	0.09	0.09	25	11	14	
65	0.018	0	0.09	0.09	23	11	12	

Tabel 11-15. Turbin kinetik dengan lebar sudu 8 cm

Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	Rpm	m	m	F ₁	F ₂	ΣF	Rata2 ΣF
45	0.013	119	0.07	0.09	0	0	0	0.00
45	0.013	119	0.07	0.09	0	0	0	
45	0.013	120	0.07	0.09	0	0	0	
45	0.013	100	0.07	0.09	3	1	2	1.67
45	0.013	100	0.07	0.09	2	1	1	
45	0.013	100	0.07	0.09	3	1	2	
45	0.013	80	0.07	0.09	6	2	4	3.33
45	0.013	80	0.07	0.09	5	2	3	
45	0.013	80	0.07	0.09	5	2	3	
45	0.013	60	0.07	0.09	7	3	4	4.33
45	0.013	60	0.07	0.09	7	2	5	
45	0.013	60	0.07	0.09	6	2	4	
45	0.013	40	0.07	0.09	8	3	5	5.00
45	0.013	40	0.07	0.09	8	3	5	
45	0.013	40	0.07	0.09	8	3	5	

45	0.013	20	0.07	0.09	9	4	5	4.67
45	0.013	20	0.07	0.09	9	5	4	
45	0.013	20	0.07	0.09	9	4	5	
45	0.013	0	0.07	0.09	11	5	6	6.00
45	0.013	0	0.07	0.09	10	4	6	
45	0.013	0	0.07	0.09	11	5	6	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar air (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	Rpm	m	m	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
50	0.014	123	0.08	0.09	0	0	0	0.00
50	0.014	123	0.08	0.09	0	0	0	
50	0.014	123	0.08	0.09	0	0	0	
50	0.014	100	0.08	0.09	5	2	3	2.67
50	0.014	100	0.08	0.09	4	2	2	
50	0.014	100	0.08	0.09	5	2	3	
50	0.014	80	0.08	0.09	7	3	4	4.00
50	0.014	80	0.08	0.09	8	4	4	
50	0.014	80	0.08	0.09	8	4	4	
50	0.014	60	0.08	0.09	10	5	5	5.00
50	0.014	60	0.08	0.09	10	5	5	
50	0.014	60	0.08	0.09	10	5	5	
50	0.014	40	0.08	0.09	12	6	6	6.00
50	0.014	40	0.08	0.09	12	5	7	
50	0.014	40	0.08	0.09	11	6	5	
50	0.014	20	0.08	0.09	14	8	6	6.00
50	0.014	20	0.08	0.09	13	7	6	
50	0.014	20	0.08	0.09	14	8	6	
50	0.014	0	0.08	0.09	17	10	7	7.00
50	0.014	0	0.08	0.09	18	11	7	
50	0.014	0	0.08	0.09	16	9	7	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s	rpm	m	m	F ₁	F ₂	∑F	Rata2 ∑F
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	0.00
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	
55	0.015	127	0.08	0.09	0	0	0	
55	0.015	100	0.08	0.09	7	3	4	3.00
55	0.015	100	0.08	0.09	5	2	3	
55	0.015	100	0.08	0.09	5	3	2	
55	0.015	80	0.08	0.09	9	3	6	5.33
55	0.015	80	0.08	0.09	8	3	5	
55	0.015	80	0.08	0.09	8	3	5	
55	0.015	60	0.08	0.09	11	6	5	5.33
55	0.015	60	0.08	0.09	10	5	5	
55	0.015	60	0.08	0.09	12	6	6	

55	0.015	40	0.08	0.09	14	8	6	6.67
55	0.015	40	0.08	0.09	14	7	7	
55	0.015	40	0.08	0.09	15	8	7	
55	0.015	20	0.08	0.09	18	10	8	7.33
55	0.015	20	0.08	0.09	18	11	7	
55	0.015	20	0.08	0.09	18	11	7	
55	0.015	0	0.08	0.09	21	12	9	8.00
55	0.015	0	0.08	0.09	20	13	7	
55	0.015	0	0.08	0.09	20	12	8	
Debit aliran (Q)		Putaran (n)	Tinggi air (t)	Lebar aliran (l)	Gaya = F (Newton)			
m ³ /h	m ³ /s				rpm	m	F ₁	F ₂
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	0.00
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	
60	0.017	130	0.085	0.09	0	0	0	
60	0.017	100	0.085	0.09	7	3	4	3.33
60	0.017	100	0.085	0.09	6	3	3	
60	0.017	100	0.085	0.09	7	4	3	
60	0.017	80	0.085	0.09	8	3	5	5.67
60	0.017	80	0.085	0.09	9	3	6	
60	0.017	80	0.085	0.09	9	3	6	
60	0.017	60	0.085	0.09	13	7	6	5.67
60	0.017	60	0.085	0.09	12	8	4	
60	0.017	60	0.085	0.09	13	6	7	
60	0.017	40	0.085	0.09	15	8	7	7.00
60	0.017	40	0.085	0.09	15	8	7	
60	0.017	40	0.085	0.09	15	8	7	
60	0.017	20	0.085	0.09	18	10	8	8.00
60	0.017	20	0.085	0.09	18	11	7	
60	0.017	20	0.085	0.09	19	10	9	
60	0.017	0	0.085	0.09	21	12	9	9.00
60	0.017	0	0.085	0.09	21	13	8	
60	0.017	0	0.085	0.09	22	12	10	

Lampiran 2. Hasil perhitungan parameter - parameter turbin kinetik

Tabel 16. Turbin kinetik dengan lebar sudu 8 cm

Putaran	Luas penampang aliran	Kecepatan aliran masuk	Laju aliran massa	Daya air	Torsi	Kecepatan angular	Daya turbin	Efisiensi turbin	Kecepatan aliran keluar	Kecepatan tangensial		Kecepatan absolut (m/s)		Luas sudu	Debit air pada sudu	Laju aliran massa pada sudu	Momentum Fluida	Gaya tangensial	Top speed ratio
										u1	u2	w1	w2						
118	0.007	1.79	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	1.85	0.68	1.07	1.07	0.004	0.007	7.18	12.75	0.00	0.65
100	0.007	1.79	12.50	19.93	0.25	10.47	2.56	12.87%	1.56	1.57	0.58	0.22	1.97	0.004	0.007	7.18	12.75	1.68	0.55
80	0.007	1.79	12.50	19.93	0.49	8.37	4.10	20.59%	1.42	1.26	0.46	0.53	1.76	0.004	0.007	7.18	12.75	2.69	0.63
60	0.007	1.79	12.50	19.93	0.64	6.28	4.00	20.07%	1.43	0.94	0.35	0.84	1.70	0.004	0.007	7.18	12.75	2.62	0.47
40	0.007	1.79	12.50	19.93	0.74	4.19	3.08	15.44%	1.51	0.63	0.23	1.16	1.71	0.004	0.007	7.18	12.75	2.02	0.31
20	0.007	1.79	12.50	19.93	0.69	2.09	1.44	7.21%	1.66	0.31	0.12	1.47	1.76	0.004	0.007	7.18	12.75	0.94	0.16
0	0.007	1.79	12.50	19.93	0.88	0.00	0.00	0.00%	1.53	0.00	0.00	1.79	1.79	0.004	0.007	7.18	12.75	1.90	0.00
123	0.007	1.85	13.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	1.93	0.71	1.12	1.12	0.004	0.007	7.44	14.17	0.00	0.68
100	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.40	10.47	4.19	17.58%	1.68	1.57	0.58	1.29	1.56	0.004	0.007	7.44	14.17	2.06	0.55
80	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.70	8.37	5.86	24.61%	1.61	1.26	0.46	1.46	1.83	0.004	0.007	7.44	14.17	2.83	0.44
60	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.75	6.28	4.71	19.78%	1.66	0.94	0.35	1.51	1.77	0.004	0.007	7.44	14.17	1.98	0.33
40	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.90	4.19	3.77	15.82%	1.70	0.63	0.23	1.63	1.83	0.004	0.007	7.44	14.17	1.55	0.22
20	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.90	2.09	1.88	7.91%	1.78	0.31	0.12	1.74	1.84	0.004	0.007	7.44	14.17	0.78	0.11
0	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.05	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	1.85	1.85	0.004	0.007	7.44	14.17	0.00	0.00
127	0.008	1.91	15.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91	1.99	0.73	1.17	1.17	0.004	0.008	7.68	15.58	0.00	0.70
100	0.008	1.91	15.28	27.86	0.45	10.47	4.71	16.91%	1.74	1.57	0.58	1.35	1.65	0.004	0.008	7.68	15.58	2.36	0.55
80	0.008	1.91	15.28	27.86	0.80	8.37	6.70	24.04%	1.66	1.26	0.46	1.46	1.83	0.004	0.008	7.68	15.58	2.92	0.44
60	0.008	1.91	15.28	27.86	0.80	6.28	5.02	18.03%	1.73	0.94	0.35	1.57	1.85	0.004	0.008	7.68	15.58	2.19	0.33
40	0.008	1.91	15.28	27.86	1.00	4.19	4.19	15.03%	1.76	0.63	0.23	1.68	1.91	0.004	0.008	7.68	15.58	1.77	0.22
20	0.008	1.91	15.28	27.86	1.10	2.09	2.30	8.27%	1.83	0.31	0.12	1.80	1.92	0.004	0.008	7.68	15.58	0.98	0.11
0	0.008	1.91	15.28	27.86	1.20	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.008	7.68	15.58	0.00	0.00

130	0.0085	1.96	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	2.04	0.75	1.22	1.22	0.004	0.008	7.88	17.00	0.00	0.71
100	0.0085	1.96	16.67	30.15	0.50	10.47	5.23	17.36%	1.79	1.57	0.58	1.40	1.73	0.004	0.008	7.88	17.00	2.66	0.55
80	0.0085	1.96	16.67	30.15	0.85	8.37	7.12	23.60%	1.73	1.26	0.46	1.51	1.91	0.004	0.008	7.88	17.00	3.19	0.44
60	0.0085	1.96	16.67	30.15	0.85	6.28	5.34	17.70%	1.79	0.94	0.35	1.62	1.92	0.004	0.008	7.88	17.00	2.39	0.33
40	0.0085	1.96	16.67	30.15	1.05	4.19	4.40	14.58%	1.82	0.63	0.23	1.73	1.97	0.004	0.008	7.88	17.00	1.91	0.22
20	0.0085	1.96	16.67	30.15	1.20	2.09	2.51	8.33%	1.88	0.31	0.12	1.85	1.98	0.004	0.008	7.88	17.00	1.09	0.11
0	0.0085	1.96	16.67	30.15	1.35	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.008	7.88	17.00	0.00	0.00
132	0.009	2.01	18.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	2.07	0.76	1.26	1.26	0.004	0.008	8.06	18.42	0.00	0.73
100	0.009	2.01	18.06	32.30	0.50	10.47	5.23	16.20%	1.86	1.57	0.58	1.44	1.77	0.004	0.008	8.06	18.42	2.73	0.55
80	0.009	2.01	18.06	32.30	0.90	8.37	7.54	23.33%	1.79	1.26	0.46	1.55	1.97	0.004	0.008	8.06	18.42	3.45	0.44
60	0.009	2.01	18.06	32.30	0.90	6.28	5.65	17.50%	1.84	0.94	0.35	1.67	1.98	0.004	0.008	8.06	18.42	2.58	0.33
40	0.009	2.01	18.06	32.30	1.10	4.19	4.61	14.26%	1.87	0.63	0.23	1.78	2.03	0.004	0.008	8.06	18.42	2.05	0.22
20	0.009	2.01	18.06	32.30	1.35	2.09	2.83	8.75%	1.93	0.31	0.12	1.89	2.04	0.004	0.008	8.06	18.42	1.25	0.11
0	0.009	2.01	18.06	32.30	1.25	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.008	8.06	18.42	0.00	0.00

Tabel 17. Turbin kinetik dengan lebar sudu 9 cm

Putaran	Luas penampang aliran	Kecepatan aliran masuk	Laju aliran massa	Daya air	Torsi	kecepatan amguler	Daya turbin	Efisiensi turbin	kecepatan aliran keluar	kecepatan tangensial		kecepatan absolut		Luas sudu	Debit air pada sudu	Laju aliran massa pada sudu	Momentum Fluida	Gaya tangensial	Top speed ratio
										u1	u2	w1 (m/s)	w2 (m/s)						
n (rpm)	A (m2)	v1 (m/s)	m (kg/s)	Pa (Watt)	T (N)	ω (rad/s)	Pt (Watt)	jt (%)	v2 (m/s)					As (m2)	Qs (m3/s)	ms (kg/s)	M (kg.m/s)	Ft (N)	u/v
120	0.007	1.79	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	1.88	0.69	1.06	1.06	0.0045	0.008	8.07	12.75	0.00	0.66
100	0.007	1.79	12.50	19.93	0.25	10.47	2.62	13.13%	1.66	1.57	0.58	1.22	1.59	0.0045	0.008	8.07	12.75	3.00	0.79
80	0.007	1.79	12.50	19.93	0.55	8.37	4.61	23.11%	1.57	1.26	0.46	1.33	1.75	0.0045	0.008	8.07	12.75	3.41	0.63
60	0.007	1.79	12.50	19.93	0.70	6.28	4.40	22.06%	1.58	0.94	0.35	1.45	1.69	0.0045	0.008	8.07	12.75	2.00	0.47
40	0.007	1.79	12.50	19.93	0.90	4.19	3.77	18.91%	1.61	0.63	0.23	1.56	1.76	0.0045	0.008	8.07	12.75	1.65	0.31
20	0.007	1.79	12.50	19.93	0.95	2.09	1.99	9.98%	1.69	0.31	0.12	1.67	1.75	0.0045	0.008	8.07	12.75	0.65	0.16
0	0.007	1.79	12.50	19.93	1.10	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.008	8.07	12.75	0.00	0.00
124	0.0075	1.85	13.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	1.95	0.71	1.12	1.12	0.0045	0.008	8.37	14.17	0.00	0.68

100	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.45	10.47	4.71	19.78%	1.66	1.57	0.58	1.57	3.12	0.0045	0.008	8.37	14.17	13.27	0.55
80	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.75	8.37	6.28	26.37%	1.59	1.26	0.46	1.40	1.85	0.0045	0.008	8.37	14.17	3.87	0.44
60	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.85	6.28	5.34	22.41%	1.63	0.94	0.35	1.68	1.95	0.0045	0.008	8.37	14.17	2.25	0.33
40	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.05	4.19	4.40	18.46%	1.67	0.63	0.23	1.80	1.96	0.0045	0.008	8.37	14.17	1.41	0.22
20	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.15	2.09	2.41	10.11%	1.76	0.31	0.12	1.85	2.0	0.0045	0.008	8.37	14.17	1.16	0.11
0	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.10	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.008	8.37	14.17	0.00	0.00
127	0.008	1.91	15.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91	1.99	0.73	1.17	1.17	0.0045	0.009	8.64	15.58	0.00	0.70
100	0.008	1.91	15.28	27.86	0.60	10.47	6.28	22.54%	1.68	1.57	0.58	1.62	2.00	0.0045	0.009	8.64	15.58	3.33	0.55
80	0.008	1.91	15.28	27.86	0.95	8.37	7.95	28.55%	1.61	1.26	0.46	1.40	1.85	0.0045	0.009	8.64	15.58	3.99	0.44
60	0.008	1.91	15.28	27.86	1.00	6.28	6.28	22.54%	1.68	0.94	0.35	1.73	2.03	0.0045	0.009	8.64	15.58	2.59	0.33
40	0.008	1.91	15.28	27.86	1.20	4.19	5.02	18.03%	1.73	0.63	0.23	1.85	2.04	0.0045	0.009	8.64	15.58	1.73	0.22
20	0.008	1.91	15.28	27.86	1.50	2.09	3.14	11.27%	1.80	0.31	0.12	1.89	2.11	0.0045	0.009	8.64	15.58	1.87	0.11
0	0.008	1.91	15.28	27.86	1.35	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.009	8.64	15.58	0.00	0.00
130	0.0085	1.96	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	2.04	0.75	1.22	1.22	0.0045	0.009	8.87	17.00	0.00	0.71
100	0.0085	1.96	16.67	32.04	0.75	10.47	7.85	24.50%	1.70	1.57	0.58	1.29	1.56	0.0045	0.009	8.87	17.00	2.46	0.55
80	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.15	8.37	9.63	30.06%	1.64	1.26	0.46	1.40	1.75	0.0045	0.009	8.87	17.00	3.15	0.44
60	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.35	6.28	8.48	26.46%	1.73	0.94	0.35	1.46	1.88	0.0045	0.009	8.87	17.00	3.82	0.33
40	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.80	4.19	7.54	23.52%	1.78	0.63	0.23	1.51	2.00	0.0045	0.009	8.87	17.00	4.47	0.22
20	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.80	2.09	3.77	11.76%	1.84	0.31	0.12	1.89	2.11	0.0045	0.009	8.87	17.00	1.92	0.11
0	0.0085	1.96	16.67	32.04	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.009	8.87	17.00	0.00	0.00
132	0.009	2.01	18.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	2.07	0.76	1.26	1.26	0.0045	0.009	9.07	18.42	0.00	0.73
100	0.009	2.01	18.06	36.33	0.85	10.47	8.90	24.49%	1.74	1.57	0.58	1.44	1.95	0.0045	0.009	9.07	18.42	4.66	0.55
80	0.009	2.01	18.06	36.33	1.25	8.37	10.47	28.81%	1.69	1.26	0.46	1.55	2.09	0.0045	0.009	9.07	18.42	4.95	0.44
60	0.009	2.01	18.06	36.33	1.30	6.28	8.16	22.47%	1.77	0.94	0.35	1.67	2.09	0.0045	0.009	9.07	18.42	3.91	0.33
40	0.009	2.01	18.06	36.33	1.55	4.19	6.49	17.86%	1.82	0.63	0.23	1.78	2.11	0.0045	0.009	9.07	18.42	3.08	0.22
20	0.009	2.01	18.06	36.33	1.95	2.09	4.08	11.23%	1.89	0.31	0.12	1.89	2.11	0.0045	0.009	9.07	18.42	1.96	0.11
0	0.009	2.01	18.06	36.33	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.009	9.07	18.42	0.00	0.00

Tabel 18. Turbin kinetik dengan lebar sudu 10 cm

Putaran	Luas penampang aliran	Kecepatan aliran masuk	Laju aliran massa	Daya air	Torsi	kecepatan amguler	Daya turbin	Efisiensi turbin	kecepatan aliran keluar	kecepatan tangensial		kecepatan absolut		Luas sudu	Debit air pada sudu	Laju aliran massa pada sudu	Momentum Fluida	Gaya tangensial	Top speed ratio
n (rpm)	A (m ²)	v1 (m/s)	m (kg/s)	Pa (Watt)	T (N)	ω (rad/s)	Pt (Watt)	η (%)	v2 (m/s)	u1	u2	w1 (m/s)	w2 (m/s)	As (m ²)	Qs (m ³ /s)	ms (kg/s)	M (kg.m/s)	Ft (N)	u/v
122	0.007	1.79	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	1.92	0.70	1.05	1.05	0.005	0.009	8.97	12.75	0.00	0.67
100	0.007	1.79	12.50	19.93	0.30	10.47	3.14	15.76%	1.64	1.57	0.58	1.22	1.44	0.005	0.009	8.97	12.75	1.95	0.79
80	0.007	1.79	12.50	19.93	0.60	8.37	5.02	25.21%	1.54	1.26	0.46	1.33	1.62	0.005	0.009	8.97	12.75	2.64	0.63
60	0.007	1.79	12.50	19.93	0.75	6.28	4.71	23.63%	1.56	0.94	0.35	1.45	1.70	0.005	0.009	8.97	12.75	2.35	0.47
40	0.007	1.79	12.50	19.93	1.00	4.19	4.19	21.01%	1.59	0.63	0.23	1.56	1.78	0.005	0.009	8.97	12.75	2.00	0.31
20	0.007	1.79	12.50	19.93	1.15	2.09	2.41	12.08%	1.67	0.31	0.12	1.67	1.80	0.005	0.009	8.97	12.75	1.17	0.16
0	0.007	1.79	12.50	19.93	1.45	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.009	8.97	12.75	0.00	0.00
124	0.0075	1.85	13.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	1.95	0.71	1.12	1.12	0.005	0.009	9.30	14.17	0.00	0.68
100	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.45	10.47	4.71	19.78%	1.66	1.57	0.23	1.29	1.59	0.005	0.009	9.30	14.17	2.84	0.55
80	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.80	8.37	6.70	28.13%	1.57	1.26	0.35	1.40	1.77	0.005	0.009	9.30	14.17	3.47	0.44
60	0.0075	1.85	13.89	23.81	0.95	6.28	5.97	25.05%	1.60	0.94	0.12	1.51	1.83	0.005	0.009	9.30	14.17	2.99	0.33
40	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.20	4.19	5.02	21.10%	1.59	0.63	0.00	1.63	1.88	0.005	0.009	9.30	14.17	2.46	0.22
20	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.45	2.09	3.04	12.75%	1.73	0.31	0.00	1.74	1.90	0.005	0.009	9.30	14.17	1.51	0.11
0	0.0075	1.85	13.89	23.81	1.55	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.009	9.30	14.17	0.00	0.00
127	0.008	1.91	15.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91	1.99	0.73	1.17	1.17	0.005	0.010	9.59	15.58	0.00	0.70
100	0.008	1.91	15.28	27.86	0.75	10.47	7.85	28.18%	1.62	1.57	0.58	1.35	1.79	0.005	0.010	9.59	15.58	4.36	0.55
80	0.008	1.91	15.28	27.86	1.05	8.37	8.79	31.56%	1.58	1.26	0.46	1.46	1.91	0.005	0.010	9.59	15.58	4.44	0.44
60	0.008	1.91	15.28	27.86	1.35	6.28	8.48	30.43%	1.59	0.94	0.35	1.57	1.99	0.005	0.010	9.59	15.58	4.08	0.33
40	0.008	1.91	15.28	27.86	1.50	4.19	6.28	22.54%	1.64	0.63	0.23	1.68	2.00	0.005	0.010	9.59	15.58	3.09	0.22
20	0.008	1.91	15.28	27.86	1.75	2.09	3.66	13.15%	1.78	0.31	0.12	1.80	1.99	0.005	0.010	9.59	15.58	1.86	0.11
0	0.008	1.91	15.28	27.86	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.010	9.59	15.58	0.00	0.00
130	0.0085	1.96	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	2.04	0.75	1.22	1.22	0.005	0.010	9.85	17.00	0.00	0.71
100	0.0085	1.96	16.67	32.04	0.95	10.47	9.94	31.04%	1.63	1.57	0.58	1.40	1.93	0.005	0.010	9.85	17.00	5.37	0.55

80	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.30	8.37	10.89	33.98%	1.59	1.26	0.46	1.51	2.05	0.005	0.010	9.85	17.00	5.39	0.44
60	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.60	6.28	10.05	31.36%	1.62	0.94	0.35	1.62	2.00	0.005	0.010	9.85	17.00	3.80	0.33
40	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.80	4.19	7.54	23.52%	1.68	0.63	0.23	1.73	2.10	0.005	0.010	9.85	17.00	3.72	0.22
20	0.0085	1.96	16.67	32.04	1.95	2.09	4.08	12.74%	1.83	0.31	0.12	1.85	2.06	0.005	0.010	9.85	17.00	2.12	0.11
0	0.0085	1.96	16.67	32.04	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.010	9.85	17.00	0.00	0.00
132	0.009	2.01	18.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01	2.07	0.76	1.26	1.26	0.005	0.010	10.08	18.42	0.00	0.73
100	0.009	2.01	18.06	36.33	1.20	10.47	12.56	34.57%	1.62	1.57	0.58	1.44	2.08	0.005	0.010	10.08	18.42	6.54	0.55
80	0.009	2.01	18.06	36.33	1.55	8.37	12.98	35.72%	1.61	1.26	0.46	1.55	2.17	0.005	0.010	10.08	18.42	6.34	0.44
60	0.009	2.01	18.06	36.33	1.90	6.28	11.93	32.84%	1.64	0.94	0.35	1.67	2.22	0.005	0.010	10.08	18.42	5.70	0.33
40	0.009	2.01	18.06	36.33	2.10	4.19	8.79	24.20%	1.71	0.63	0.23	1.78	2.20	0.005	0.010	10.08	18.42	4.36	0.22
20	0.009	2.01	18.06	36.33	2.25	2.09	4.71	12.96%	1.87	0.31	0.12	1.89	2.13	0.005	0.010	10.08	18.42	2.48	0.11
0	0.009	2.01	18.06	36.33	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.010	10.08	18.42	0.00	0.00



Lampiran 3. Rekam data pengukuran

Rekam data debit air



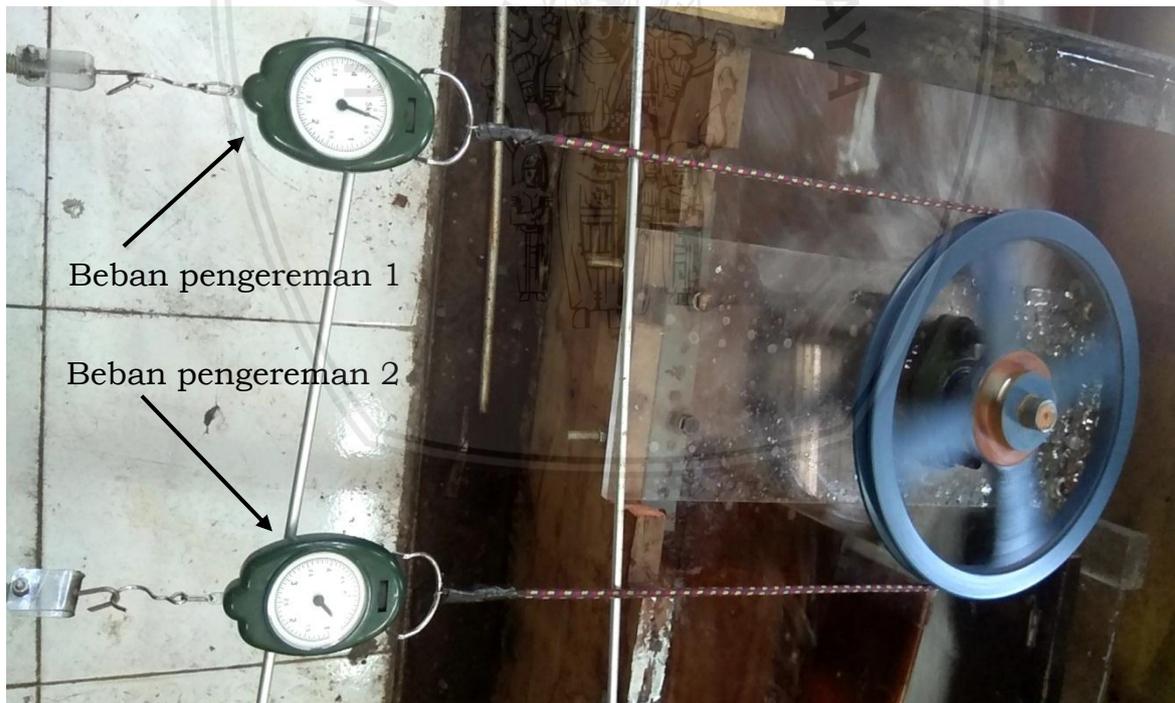
Rekam data kecepatan



Rekam data putaran



Rekam data beban pengereman



Lampiran 4. Instalasi penelitian & Roda turbin

