



**OPTIMASI TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL DENGAN
SUDU BERENGSEL LUAR MENGGUNAKAN
*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

DISERTASI

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik**



Disusun oleh :

SILVY DOLLOROSSA BOEDI

NIM. 127060200111001

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**



**OPTIMASI TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL DENGAN
SUDU BERENGSEL LUAR MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

DISERTASI

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK MESIN
MINAT KONVERSI ENERGI**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik**



**SILVY DOLLOROSSA BOEDI
NIM. 127060200111001**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

DISERTASI

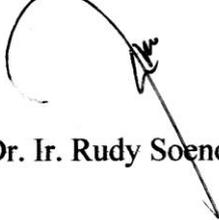
**OPTIMASI TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL DENGAN
SUDU BERENGSEL LUAR MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

**SILVY DOLLOROSSA BOEDI
NIM. 127060200111001**

Telah dipertahankan didepan komisi penguji
pada tanggal.....
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Doktor Teknik

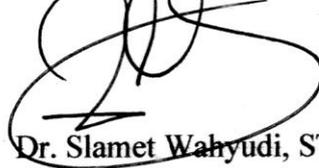
Komisi Pembimbing,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping 1



Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT

Pembimbing Pendamping 2



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

Malang,.....

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Doktor Teknik Mesin



Prof. Ir. ING. Wardana, M.Eng., Ph.D
NIP 19590703 198303 1 002

**DISERTASI****OPTIMASI TURBIN KINETIK POROS VERTIKAL DENGAN SUDU BERENGSEL LUAR MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

Nama Mahasiswa : Silvy Dollorossa Boedi

NIM : 127060200111001

Program Doktor : Teknik Mesin

Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING:

Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc

Pembimbing Pendamping 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT

Pembimbing Pendamping 2 : Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.

Dosen Penguji 3 :

Dosen Penguji Tamu :

Tanggal ujian : 10 Oktober 2016

SK Penguji :

PERNYATAAN ORIGINALITAS DISERTASI

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

Malang, 10 Oktober 2016

Mahasiswa,



Silvy Dollorossa Boedi
127060200111001



RIWAYAT HIDUP

Silvy Dollorossa Boedi, Surabaya, 2 Februari 1975 anak dari Ayah Boedi Oetomo dan Ibu Henny Lintong, SD sampai SMA di kota Manado, lulus SMA tahun 1993, lulus program Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi Manado tahun 1999. Kemudian lulus program Magister Teknik di Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin minat Konversi Energi tahun 2011.

Pengalaman kerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado mulai tahun 2008 sampai sekarang.

Malang, Desember 2018

Penulis,

Silvy Dollorossa Boedi



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan pada Mahabaiik Tuhan Yesus Kristus, atas perkenananNya sehingga saya diberikan kesempatan untuk menempuh studi S-3 di Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, dengan melakukan penelitian dan penulisan disertasi dengan judul : Optimasi turbin kinetik poros vertikal dengan sudu berengsel luar menggunakan *Response Surface Methodology*.

Terima kasih yang tak terhingga serta penghargaan atas segala kebaikan kepada:

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc selaku pembimbing utama, Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT selaku pembimbing pendamping 1 dan Dr.Eng. Moch. Agus Choiron selaku pembimbing pendamping 2, yang telah membimbing, mengarahkan, memberi ide selama melakukan penelitian, menulis publikasi dan penyusunan disertasi ini, serta memberikan semangat hingga bisa menyelesaikan studi dengan hasil baik.

Pemerintah Republik Indonesia c.q. Menteri Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi yang telah memberikan kesempatan dalam tugas belajar serta bantuan biaya dalam bentuk Beasiswa Program Pascasarjana (BPPDN) selama 3 tahun dan ditambah masa perpanjangan lagi 1 tahun, sehingga sangat meringankan beban biaya saya dalam menempuh pendidikan Program Doktor selama ini.

Terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Rektor Universitas Brawijaya Malang, Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan Direktur Politeknik Negeri Manado, yang telah memberi kesempatan kepada saya untuk mengikuti Program Pendidikan Doktor Teknik Mesin.

Prof. Ir. I N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D selaku Ketua Program Studi Doktor Teknik Mesin Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas segala bantuan, arahan, perhatian dan dorongan serta kemudahan dalam menyelesaikan administrasi dan memperlancar pendidikan saya dalam mengikuti Program Doktor sampai selesai.

Prof. Dr. Ir. Pratiko, MMT dan Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng, selaku tim penguji, yang telah memberikan koreksi, saran dan masukan untuk penyempurnaan disertasi ini.

Ir. Ever Notje Slat, MT, selaku Direktur Politeknik Negeri Manado dan Ir. Leonard Tawalujan, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado, yang telah memberi kesempatan dan ijin kepada saya untuk mengikuti pendidikan Program Doktor Teknik Mesin di Fakultas Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada teman-teman sejawat di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado atas bantuan, dukungan dan motivasi yang diberikan agar saya bisa menyelesaikan studi S-3 ini.



Saya ucapkan terimakasih kepada teman-teman seperjuangan Program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya angkatan 2012, atas kerjasama yang sangat solid, saling membantu memberi semangat untuk menyelesaikan disertasi walaupun berbagai rintangan yang meghalangi, semoga yang belum ujian bisa segera menyusul menyelesaikan.

Seluruh staf administrasi PDTM FT-UB dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin FT-UB.

Teristimewa saya ucapan terima kasih kepada suami tercinta Hany Esra Oroh dan anakku tersayang Helen Vyanessa Ribca Oroh atas doa dan motivasinya.

Terakhir saya ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian disertasi ini.

Penulis menyadari akan keterbatasan baik kemampuan, pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun demi untuk kesempurnaan disertasi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya Pemanfaatan Energi Air di Indonesia.

Malang, Desember 2018

Penulis,

Silvy Dollorossa Boedi



RINGKASAN

Silvy Dollorossa Boedi, Program Doktor Teknik Mesin, Minat Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2016, Optimasi Turbin Kinetik Poros vertikal Dengan Sudu Berengsel Luar menggunakan Response Surface Methodology. Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc, Pembimbing Pendamping 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, Pembimbing Pendamping 2 : Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Permasalahan krisis energi masih dirasakan di negara-negara berkembang dimana penduduk yang masih hidup di desa membutuhkan pengembangan dari sumber energi yang lebih efisien. Salah satu potensi energi terbarukan yang banyak dijumpai di Indonesia adalah potensi aliran air sungai. Tujuan jangka panjang hasil penelitian ini adalah untuk memberikan solusi pada masyarakat pedesaan agar mereka dapat membangun instalasi pembangkit listrik yang sederhana tetapi cukup handal.

Dalam penelitian ini turbin kinetik yang akan diteliti adalah pengembangan model sebuah turbin kinetik yang menggunakan sudu berengsel dimana engsel turbin dipasang pada bagian luar runner. Turbin kinetik yang akan diteliti disini adalah turbin yang posisi porosnya vertikal.

Metode Penelitian yang dipakai adalah metode eksperimen dengan memvariasikan debit air (Q), sudut pengarah (α) dan jumlah sudu (n_b), sehingga didapatkan desain dan unjuk kerja dari turbin kinetik dengan sudu berengsel luar yang optimum. Kemudian hasil eksperimen di optimasi dengan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mendapatkan nilai optimal dengan persamaan matematis.

Berdasarkan model matematika yang diperoleh dapat diketahui bahwa ketiga variable bebas yaitu debit air (Q), sudut pengarah (α) dan jumlah sudu (n_b), memberikan pengaruh terhadap besarnya nilai daya turbin dan efisiensi turbin. Metode analisis respon dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya turbin : } P_t = & 11,803 + 2,796(\alpha) + 1,585(n_b) + 2,018(Q) + 0,563(\alpha)^2 \\ & + 0,331(n_b)^2 + 1,712(Q)^2 + 0,418(\alpha)(n_b) + 0,803(\alpha)(Q) \\ & + 0,215(n_b)(Q) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi turbin : } \eta = & 25,985 + 5,803(\alpha) + 3,344(n_b) - 5,651(Q) + 1,486(\alpha)^2 \\ & + 0,978(n_b)^2 + 2,334(Q)^2 + 0,708(\alpha)(n_b) - 0,060(\alpha)(Q) \\ & - 0,595(n_b)(Q) \end{aligned}$$

Kata kunci : Turbin air kinetik, sudu berengsel luar, optimasi, *Response Surface Methodology* (RSM)

SUMMARY

Silvy Dollorossa Boedi, Doctoral Program of Mechanical Engineering, Energy Conversion Interests, Departement of Mechanical Engineering, Faculty Engineering, Brawijaya University, Oktober 2016. Optimization of Vertical Axis Kinetic Turbine With Outer Hinged Blade uses Response Surface Methodology. Main Advisor: Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. Co-Advisor 1: Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, Co-Advisor 2: Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Energy crisis problems are still felt in developing countries, where people who still live in the village need development from more efficient energy sources. One of the potential renewable energy found in Indonesia is the potential of river water flow. The long-term goal of this research is to provide solutions to rural communities so that they can build simple but reliable enough power plant installations.

In this study the kinetic turbine to be studied is the development of a kinetic turbine model that uses a hinged blade where the turbine hinges are mounted on the outside of the runner. The kinetic turbines to be examined here are turbines with vertical shaft positions.

The research method used is the experimental method by varying the water discharge (Q), the steering angle (α) and number of blades (n_b), so that the design and performance of the kinetic turbine with the optimum hinged blade is obtained. Then the experimental results were optimized with Response Surface Methodology (RSM) to obtain optimal values with mathematical equations.

Based on the mathematical model obtained it can be seen that the three independent variables namely water discharge (Q), steering angle (α) and number of blades (n_b), have an influence on the value of turbine power and turbine efficiency. The response analysis method can be formulated as follows :

$$\begin{aligned} \text{Turbine power : } P_t &= 11,803 + 2,796(\alpha) + 1,585(n_b) + 2,018(Q) + 0,563(\alpha)^2 \\ &+ 0,331(n_b)^2 + 1,712(Q)^2 + 0,418(\alpha)(n_b) + 0,803(\alpha)(Q) \\ &+ 0,215(n_b)(Q) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Turbine efficiency : } \eta &= 25,985 + 5,803(\alpha) + 3,344(n_b) - 5,651(Q) + 1,486(\alpha)^2 \\ &+ 0,978(n_b)^2 + 2,334(Q)^2 + 0,708(\alpha)(n_b) - 0,060(\alpha)(Q) \\ &- 0,595(n_b)(Q) \end{aligned}$$

Keywords : kinetic water turbine, outside hinged blade, optimization, *Response Surface Methodology* (RSM)



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberi kemampuan kepada penulis untuk menyelesaikan tulisan disertasi yang berjudul : Optimasi Turbin Kinetik Poros Vertikal Dengan Sudu Berengsel Luar Menggunakan Response Surface Methodology. Ada hambatan dan tantangan yang dialami penulis dalam proses penelitian dan penulisan disertasi, tapi berkat hikmat Tuhan serta bimbingan dari pembimbing utama, pembimbing pendamping 1 dan pembimbing pendamping 2, serta penguji, semua hambatan bisa terselesaikan.

Sangat disadari dengan keterbatasan penulis, bahwa penelitian dan penulisan disertasi ini masih ada kekurangan dan jauh dari sempurna, keterbatasan baik kemampuan pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki, maka dari itu dengan penuh kerendahan hati penulis memohon maaf dan mengharapkan saran yang membangun. Akhir kata, terimakasih atas semuanya dan penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Malang, Desember 2018

Penulis

Silvy Dollorossa Boedi



DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Identitas Tim Penguji	iii
Lembar Pernyataan Originalitas	iv
Lembar Sertifikat Bebas Plagiasi	v
Lembar Riwayat Hidup	vi
Lembar Ucapan Terima Kasih	vii
Lembar Ringkasan	ix
Lembar Summary	x
Lembar Kata Pengantar	xi
Lembar Daftar Isi	xii
Lembar Daftar Gambar	xiv
Lembar Daftar Tabel	xvi
Lembar Daftar Lampiran	xvii
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 Turbin Kinetik	10
2.2.1 Pengertian Turbin Kinetik	10
2.2.2 Keuntungan Turbin Kinetik	10
2.2.3 Prinsip Kerja Turbin Kinetik	11
2.2.4 Kinerja Turbin Kinetik	11
2.2.5 Daya Turbin kinetik	12



2.2.6 Efisiensi Turbin Kineti.....	13
2.3 Bentuk Sudu Berengsel Luar.....	13
2.4 Bentuk Sudu Terhadap Arah Aliran.....	13
2.5. Metode Response Surface Methodology	14
BAB III KERANGKA PENELITIAN.....	15
3.1. Kerangka Pemikiran Teoritis.....	15
3.2 Hipotesa.....	17
BAB IV Metode Penelitian.....	19
4.1 Tempat Penelitian.....	19
4.2 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	19
4.3 Variabel Penelitian.....	22
4.4 Prosedur Penelitian.....	22
4.5 Metode Penelitian.....	23
4.6 Teknik Pengolahan Data.....	23
4.7 Diagram Alir Penelitian.....	24
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
5.1 Hasil Penelitian Unjuk Kerja Turbin.....	25
5.1.1 Data hasil penelitian turbin sudu berengsel luar.....	25
5.1.2 Pembahasan hasil penelitian turbin sudu berengsel luar.....	26
5.2 Hasil Penelitian Optimasi Dengan Response Surface Methodology (RSM)	30
5.2.1. Analisis dengan pendekatan <i>desirability function</i>	30
5.2.2. Eksperimen verifikasi.....	31
5.3 Perilaku Aliran Turbin.....	34
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
6.1 Kesimpulan.....	41
6.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Efisiensi Total Turbin Terhadap Putaran Turbin.....	6
Gambar 2.2 Variasi Ukuran Panjang Sudu Mangkok.....	7
Gambar 2.3 Variasi Sudut Input Sudu Mangkok.....	8
Gambar 2.4 Runner Turbin Pelton Dengan Berbagai Radius Lekuk Sudu.....	9
Gambar 2.5 Turbin Hunter.....	9
Gambar 2.5 Turbin Kinetik Sudu Berengsel Luar.....	13
Gambar 2.6 Bentuk Sudu Pada Pompa Sentrifugal.....	14
Gambar 3.1 Kerangka Pemikiran Teoritis.....	16
Gambar 4.1 Runner Turbin Kinetik.....	19
Gambar 4.2 Saluran Air.....	20
Gambar 4.3 Flow Meter Digital.....	20
Gambar 4.4 Flowatch.....	21
Gambar 4.5 Tachometer.....	21
Gambar 4.6 Neraca Massa.....	21
Gambar 4.7 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Debit dan Efisiensi Turbin Pada Jumlah Sudu (a) 8 sudu, (b) 10 sudu, (c) 12 sudu.....	27
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Putaran dan Daya Turbin Pada Jumlah Sudu 12.....	29
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Sudut Pengarah dan Daya Turbin Pada Jumlah Sudu 12.....	29
Gambar 5.4 (a) Foto Turbin Berengsel, (b) Skema Posisi Sudu Backward dan Sudu Forward dan Skema posisi sudut pengarah aliran pada turbin berengsel.....	34
Gambar 5.5 Turbin Berengsel Luar dengan Pengarah Aliran.....	35
Gambar 5.6 (a) Foto Perilaku Aliran Pada Sudu Forward yang Terbuka menurut urutan pengambilan gambar (b) Skema Sudu Forward yang terbuka.....	36



Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository

Gambar 5.7	(a) Foto Perilaku Aliran Pada Sudu Backward, (b) Skema Perilaku Aliran Pada Sudu Backward.....	37
Gambar 5.8	Posisi Bukaan Sudu Pada Turbin Hunter.....	38
Gambar 5.9	Profil Kecepatan Aliran pada Turbin Savonius yang disusun Paralel.....	39
Gambar 5.10	Kecepatan Aliran pada Variasi Jumlah Sudu (a) pada 35 Rpm (b) 60 Rpm.....	40



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 5.1	Data hasil penelitian daya turbin berengsel luar kondisi Optimum.....	25
Tabel 5.2	Data hasil penelitian efisiensi turbin berengsel luar kondisi Optimum.....	26
Tabel 5.3	Hasil Rancangan RSM.....	31



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1	Tabel Data Hasil Eksperimen Turbin Dengan Sudu Berengsel Luar.....	45
Lampiran 2	Optimasi Dengan RSM (<i>Response Surface Methodology</i>).....	57
Lampiran 3	Publikasi Ilmiah di International Journal of Applied Engineering Research (IJAER).....	73
Lampiran 4	Publikasi Ilmiah di Journal of Engineering Science and Technology (JESTEC).....	83
Lampiran 5	Publikasi Ilmiah di International Conferences on Applied Science and Technology (iCAST).....	99

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi besar cadangan energi baru dan terbarukan, namun pemanfaatannya masih belum maksimal. Pembangkit listrik tenaga air baru mencapai 4200 MegaWatt (MW) atau sekitar 5,5 persen dari potensi yang ada. Program prioritas agenda riset nasional tahun 2010 - 2014 di bidang energi alternatif adalah peningkatan pemanfaatan energi terbarukan mikrohidro. Sesuai data potensi energi terbarukan tahun 2009 pemanfaatan energi mikrohidro baru 17,22 % atau 86 MW dari 500 MW potensi yang tersedia. Pengembangan PLTMH akan dapat digunakan untuk memasok listrik pada masyarakat yang tinggal daerah terpencil. Karena biasanya listrik yang dibutuhkan daerah itu tidaklah besar. Sebanyak 19 juta masyarakat belum dapat listrik, apalagi untuk daerah-daerah di Indonesia Timur yang jaraknya jauh. Pada daerah-daerah terpencil dan jauh dari lokasi jaringan transmisi, diperlukan pasokan dari pembangkit-pembangkit listrik berkapasitas kecil, terutama yang memanfaatkan potensi energi setempat yang bersifat terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Keunggulan PLTMH terletak pada biaya pembangkitan energi listrik yang kompetitif dan teknologi yang sederhana sehingga dapat dikelola dan dioperasikan oleh masyarakat setempat.

Propinsi Sulawesi Utara memiliki empat wilayah sungai, yaitu wilayah sungai Sangihe Talaud, Tondano Likupang, Dumoga Sangkup dan Poigar Ranoyapo tetapi pemanfaatan listrik di Sulawesi Utara belum memaksimalkan potensi listrik tenaga air yang ada.

Pemanfaatan energi air sebagai pembangkit energi listrik yaitu dengan memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Indonesia memiliki topografi yang bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai kecil maupun besar, dan di daerah tertentu bahkan terdapat danau dan waduk yang cukup potensial sebagai energi air.

Turbin kinetik adalah turbin yang digerakkan oleh air dengan *head* (tinggi jatuh) kurang dari 3 m. Kalau *head* minimum 3 m jenis turbin yang dipakai adalah turbin

cross flow atau banki. Turbin kinetik yang telah banyak diteliti adalah jenis propeller. Turbin kinetik yang ingin diamati terinspirasi dari kincir air. Kincir air mendapatkan energi berdasarkan berat air yang memasuki sudu. Berdasarkan kincir air ini muncul gagasan untuk membuat turbin air kinetik yaitu roda turbin kincir air yang mendarat langsung dicelupkan dalam arus aliran sungai dengan posisi poros turbin tegak (vertikal).

Soenoko et al (2011) melakukan penelitian dengan membuat *prototype* turbin kinetik roda ganda dengan tujuan untuk menghasilkan pembangkit listrik sederhana dalam mendukung pengadaan energi listrik di daerah terpencil. Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa torsi yang dihasilkan turbin ini jauh lebih besar daripada turbin berbentuk kincir air. Demikian pula dengan Warsito et al. (2010) melakukan penelitian dengan sumber energi baru terbarukan nanohidro dari aliran air berdebit kecil (0,0087 m³/s). Dari hasil penelitian tersebut daya yang dihasilkan adalah 2,34 Watt dan efisiensi sebesar 40,12%.

Berbagai penelitian juga dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin yakni, mempercepat aliran dengan mengatur dimensi saluran masuk turbin maupun bentuk dan ukuran sudu. Kinerja dari suatu turbin kinetik bergantung pada : kecepatan aliran, sudut sudu, pengarah aliran, bentuk, ukuran dan jumlah sudu. Jumlah sudu turbin kinetik adalah salah satu variabel yang sangat mempengaruhi gaya dan kecepatan anguler yang menentukan daya dan efisiensi sebuah turbin kinetik. Penambahan jumlah sudu berarti menambah jumlah massa yang menerpa sudu turbin, namun penambahan jumlah sudu memungkinkan adanya pengurangan massa sebagian sudu yang lain.

Seiring banyaknya perkembangan penelitian tentang turbin kinetik dengan menggunakan sudu tetap, sekarang penelitian diarahkan pada turbin kinetik dengan menggunakan sudu tidak tetap atau sudu memakai engsel. Yang telah diteliti antara lain oleh Bo Yang et al (2011) melakukan penelitian kinerja turbin kinetik sumbu vertikal sudu berengsel yang disebut Hunter turbin. Percobaan dilakukan dengan visualisasi aliran pada model kecil untuk memberikan beberapa dasar gerakan dari setiap *blade* di setiap posisi drum. Simulasi CFD 2-dimensi kemudian digunakan untuk memperoleh informasi rinci tentang medan aliran, termasuk tekanan dan kontur kecepatan, juga distribusi tekanan pada permukaan *blade*. Bo Yang dan Chris Lawn menggunakan sudu

yang terbuat dari pelat baja berbentuk setengah lingkaran. Setiap sudu melekat pada poros menggunakan engsel.

Yesung Allo et al (2014) menganalisa unjuk kerja turbin cross flow zero head dengan variasi jumlah sudu (12, 6 dan 4 sudu) dan pergerakan sudu (sudu berengsel dan sudu tetap). Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja turbin yang terbaik diperoleh saat jumlah sudu 12 dengan gerakan sudu tetap. Efisiensi optimum sebesar 0,47 % diperoleh pada kecepatan putar generator 89,9 rpm dan energi output generator sebesar 29,25 Watt.

Penelitian yang akan dilakukan kali ini adalah mengungkap unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal dengan menggunakan sudu berengsel yang dipasang pada bagian luar diameter cakram. Harapan menggunakan turbin ini adalah peningkatan unjuk kerja turbin dibanding turbin yang menggunakan sudu tetap.

1.2 Rumusan Masalah

Menurut uraian dan latar belakang diatas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh sudut pengarah aliran, jumlah sudu dan debit aliran terhadap unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal dengan sudu berengsel luar.
2. Bagaimana perilaku aliran yang terjadi saat melewati sudu berengsel luar.
3. Bagaimana hasil unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal sudu berengsel setelah di optimasi dengan *Response Surface Methodology* (RSM).

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan pada penulisan ini dibatasi pada kondisi-kondisi:

- a. Kondisi aliran fluida diasumsikan aliran stedi.
- b. Posisi poros turbin vertikal.
- c. Pengambilan data untuk turbin kinetik poros vertikal sudu berengsel luar dimana engsel dipasang pada bagian luar diameter cakram.
- d. Turbin yang diuji memiliki spesifikasi :
 - Jumlah sudu adalah 8 sudu, 10 sudu dan 12 sudu
 - Diameter cakram 355 mm
- e. Variasi sudut pengarah aliran yang digunakan adalah : 15° , 25° , dan 35° .

f. Variasi debit aliran adalah : 35, 40, 45, 50 (m^3/jam)

g. Pengujian dilakukan pada skala laboratorium.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh sudut pengarah aliran, jumlah sudu dan debit aliran terhadap unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal dengan sudu berengsel luar.
2. Mengetahui perilaku aliran yang terjadi saat melewati sudu berengsel.
3. Mendapatkan hasil optimasi turbin kinetik poros vertikal sudu berengsel.

1.5 Manfaat Penelitian

Diperoleh unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal sudu berengsel yang nantinya bisa dimanfaatkan bagi daerah yang belum terjangkau aliran listrik, dimana potensi sungai yang belum di manfaatkan masih begitu banyak. Selain itu, menunjang program pemerintah tentang penggunaan energy air sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Persamaan hasil optimasi turbin kinetik poros vertikal sudu berengsel luar dapat digunakan untuk menentukan daya turbin dan efisiensi turbin dengan nilai yang optimum.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Warsito et al (2010), melakukan penelitian dengan merealisasi dan menganalisis sumber energi baru terbarukan nanohidro dari aliran air berdebit kecil ($0,0087 \text{ m}^3/\text{s}$) dengan ketinggian head 1,5 meter menggunakan kincir tipe Francis. Dari hasil penelitian tersebut daya yang dihasilkan adalah 2,34 Watt dan efisiensi sistem secara integral sebesar 40,12%. Begitu juga dengan Sornes K. (2010) juga meneliti tentang turbin air skala kecil untuk aplikasi di sungai. Menurutnya, turbin skala kecil untuk saat ini sangat diandalkan karena ramah lingkungan dan biaya yang murah, umur yang panjang dan membantu pasokan listrik didaerah terpencil yang belum terjangkau listrik. Penempatan perangkat hidrokinetik, dalam kaitannya dengan penampang saluran adalah komponen yang sangat penting untuk alasan dasar yakni fluks energi di permukaan aliran lebih tinggi dari di bagian bawah pada sungai.

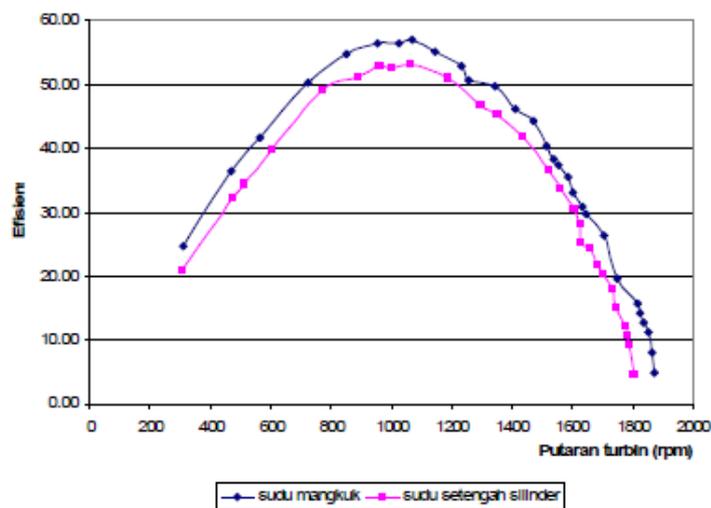
Berbagai penelitian juga dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin poros vertikal yaitu mempercepat aliran dengan mengatur dimensi saluran masuk turbin maupun bentuk dan ukuran sudu. Soenoko et al (2011), penelitian yang dilakukan adalah membuat *prototype* turbin kinetik roda ganda dengan tujuan untuk menghasilkan pembangkit listrik sederhana dalam mendukung pengadaan energi listrik di daerah terpencil. Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa torsi yang dihasilkan turbin ini jauh lebih besar daripada turbin berbentuk *water wheel*. Hasil penelitiannya didapatkan beban gaya maksimum dari kedua *runner* tersebut terjadi pada putaran 50 rpm antara debit 2 dan 2.5 liter/s adalah sebesar 502 gram. Penelitian yang lain juga dilakukan oleh Ariadi (2011), penelitian tentang turbin arus air tipe poros vertikal dengan proses simulasi *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dan secara eksperimental. Tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan fluktuasi gaya yang ditimbulkan akibat perubahan jumlah *blade* dan *aspect ratio* turbin dan untuk menganalisa efek *ripple torque* yang terjadi. Hasil yang didapatkan berdasarkan analisa eksperimen adalah bahwa dengan penambahan jumlah sudu akan meningkatkan rpm pada turbin. Sedangkan dari hasil simulasi, fluktuasi gaya yang dihasilkan oleh turbin dengan jumlah *blade* sedikit

memiliki fluktuasi yang lebih sedikit pula. Efisiensi turbin terbaik dihasilkan oleh turbin tersebut adalah sebesar 54,6%.

Santoso et al (Santoso, 2011), melakukan penelitian pada turbin air aliran lintang poros vertikal menggunakan sudu helikal. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendemonstrasikan kemampuan turbin air dengan sudu helikal dalam mengekstrak daya berguna dari suatu arus air. Dari studi eksperimental pada prototipe diperoleh efisiensi turbin sebesar 17% dan daya maksimum yang dihasilkan adalah 17,98 Watt pada kecepatan aliran air 1,2 m/s.

Bibeau et al (Bibeau, 2009), melakukan penelitian tentang turbin kinetik poros vertikal untuk meningkatkan kinerja turbin dengan cara mendesain bentuk *arm* (*flat bar, profile, profile front, dan hydrofoil*). Dari hasil penelitiannya efisiensi yang di dapatkan tiap bentuk *arm* berturut turut sebesar 15.9%, 28.8%, 29.1% dan 35.4%.

Bono, Indarto. (2008), menyatakan bahwa penelitian tentang “Karakterisasi Daya Turbin Pelton Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu, dengan kesimpulannya, yaitu karakteristik daya dan efesiensi antara sudu mangkuk dan setengah silinder hampir sama, namun daya dan efesiensi sudu mangkuk lebih baik dari sudu setengah silinder, hal ini bisa dilihat pada gambar 2.1.



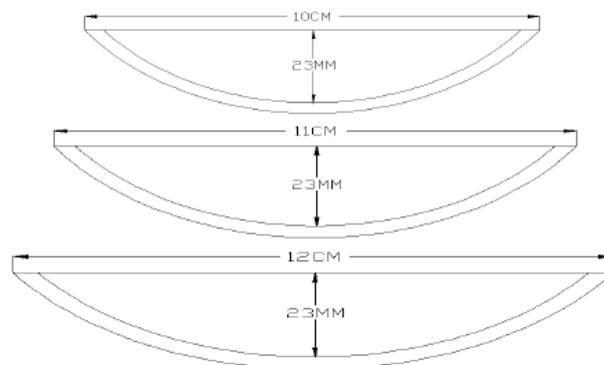
Gambar 2.1 Efisiensi total turbin terhadap putaran turbin

Sumber : Bono dan Indarto (2008)

Pengembangan turbin kinetik dengan mengadakan penelitian khususnya turbin kinetik poros vertikal, yang menjadi perhatian dalam setiap penelitian adalah

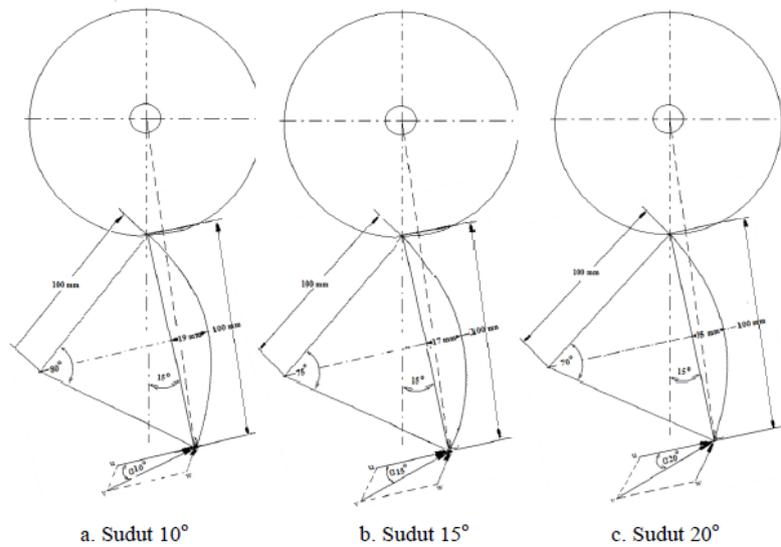
bagaimana meningkatkan efisiensi turbin kinetik poros vertikal ini. Sudah banyak usaha dilakukan, diantaranya adalah dengan memberi sekat pada bagian masuk turbin agar punggung turbin yang berputar melawan arus dapat terhindar dari tekanan air. Dari penelitian yang memvariasikan bentuk sudu, yaitu *Backward*, *Forward*, dan *Radial* serta variasi sudut masuk kecepatan aliran air kedalam turbin, tim ini dapat meningkatkan turbin kinetik sampai 38%. (Brian, 2007).

Kinerja dari turbin bergantung pada debit aliran, kecepatan aliran, putaran turbin, sudut pengarah aliran, geometri sudu dan jumlah sudu. Jumlah sudu turbin kinetik adalah salah satu variable yang mempengaruhi daya dan efisiensi turbin kinetik. Penambahan jumlah sudu berarti menambah jumlah massa yang menerpa sudu turbin, tapi penambahan jumlah sudu memungkinkan adanya pengurangan massa sebagian sudu yang lain. Beberapa penelitian tentang sudu turbin kinetik poros vertikal dilakukan oleh Ohoirenan et al (2012) melakukan penelitian tentang variasi jumlah sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik roda tunggal. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap kinerja turbin kinetik roda tunggal. Pada turbin dengan jumlah sudu 8 memiliki kinerja yang tertinggi pada putaran 80 rpm dengan daya 22,775 Watt dan efisiensi 37,919 %. Begitu juga dengan Yani et al. (2012), melakukan penelitian tentang variasi panjang sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik roda tunggal. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kinerja turbin maksimum terjadi pada panjang 12 cm, putaran 80 rpm dengan daya sebesar 25,455 Watt dan efisiensi 42,457 %.



Gambar 2. 2 Variasi Ukuran Panjang Sudu Mangkok
Sumber : Yani (2012)

Asrofull et al. (2013) melakukan penelitian tentang variasi sudut input sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik. 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 %.



Gambar 2.3. Variasi Sudut Input Sudu Mangkok
Sumber : Asroful (2013)

Penelitian Kaprawi (2011) tentang turbin kinetik poros vertikal mengenai pengaruh geometri sudu turbin agar didapat kinerja sudu turbin yang paling baik. Ketebalan sudu mempengaruhi kuat tidaknya sudu turbin, sudu yang tebal mempengaruhi pada semakin besarnya tahanan drag pada sudut serang yang kecil dan kekuatannya besar. Ketebalan yang optimum sulit ditentukan. Pada umumnya ketebalan sudu 12% sampai 18% yang sering digunakan.

Sahid (2010) meneliti tipe lekuk sudu turbin Pelton, diperoleh ranner dengan sudu elbow radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin paling tinggi dibandingkan ranner dengan sudu elbow radius 40 mm dan 20 mm dikarenakan sudu elbow radius 60 mm merupakan sudu yang mempunyai lekuk terpanjang. Hal ini membuat aliran air pada sudu setelah menumbuk tidak mengalami hambatan seperti pada kedua ranner yang lain. Hal ini menunjukkan semakin besar radius yang dibuat pada sudu maka efisiensi turbin akan semakin besar. Turbin pelton yang dibuat dari silinder tertutup di belah dua

yang mempunyai efisiensi turbin optimum sebesar 56,1% pada debit konstan 0,00275 m³/s.



Sudu elbow radius 20 mm



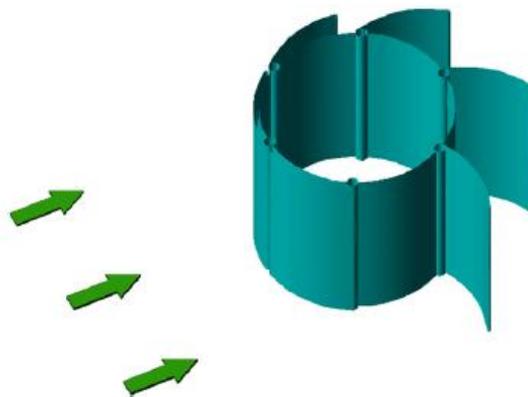
Sudu elbow radius 40 mm



Sudu elbow radius 60 mm

Gambar 2.4. Runner Turbin Pelton dengan Berbagai Radius Lengkung Sudu
Sumber : Sahid (2010)

Sekarang telah berkembang penelitian tentang turbin kinetik dengan menggunakan sudu tidak tetap atau sudu berengsel. Beberapa yang telah diteliti antara lain oleh Bo Yang et al., melakukan penelitian kinerja turbin kinetik sumbu vertikal sudu berengsel yang disebut Hunter turbin. Percobaan dilakukan dengan visualisasi aliran pada model kecil untuk memberikan beberapa dasar gerakan dari setiap *blade* di setiap posisi drum. Simulasi CFD 2-dimensi kemudian digunakan untuk memperoleh informasi rinci tentang medan aliran, termasuk tekanan dan kontur kecepatan, juga distribusi tekanan pada permukaan *blade*. Bo Yang dan Chris Lawn menggunakan sudu yang terbuat dari pelat baja berbentuk setengah lingkaran. Setiap sudu melekat pada poros menggunakan engsel.



Gambar 2.5. Turbin *Hunter* (Turbin berengsel)
Sumber : Bo Yang (2011)

Yesung Allo et al menganalisa unjuk kerja turbin cross flow zero head dengan variasi jumlah sudu (12, 6 dan 4 sudu) dan pergerakan sudu (sudu berengsel dan sudu tetap).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja turbin yang terbaik diperoleh saat jumlah sudu 12 dengan gerakan sudu tetap. Efisiensi optimum sebesar 0,47 % diperoleh pada kecepatan putar generator 89,9 rpm dan energi output generator sebesar 29,25 Watt.

Penelitian-penelitian mengenai turbin kinetik dewasa ini masih kurang, apalagi turbin kinetik dengan poros vertikal untuk itu perlu dikembangkan turbin jenis ini sebab potensi-potensi air di pedesaan sangat besar untuk dikelola. Penelitian ini diarahkan untuk menghasilkan kinerja maksimal dengan menentukan jumlah sudu yang tepat.

Penelitian yang akan dilakukan kali ini adalah meneliti unjuk kerja turbin kinetik poros vertikal dengan menggunakan sudu berengsel yang dipasang pada bagian luar diameter cakram. Harapan menggunakan turbin ini adalah peningkatan unjuk kerja turbin dibanding menggunakan turbin kinetik dengan sudu tetap.

2.2 Turbin Kinetik

2.2.1 Pengertian Turbin Kinetik

Turbin kinetik adalah turbin yang cara kerjanya memanfaatkan kecepatan aliran, sehingga turbin jenis ini tidak membutuhkan tinggi jatuh (head) air. Turbin ini sangat tepat untuk dipakai pada daerah yang datar dan memiliki aliran sungai, terutama daerah pedesaan. Sampai saat ini jenis turbin kinetik yang dikenal adalah yang disebut dengan *water wheel* atau kincir air. Kincir air ini adalah turbin kinetik yang sangat sederhana, kincir air ini masih banyak ditemukan di Indonesia, seperti misalnya kincir air di Pronojiwa Lumajang dipakai sebagai penggerak generator kecil untuk alat charging baterai (accumulator) kendaraan bermotor.

Saat ini dikenal turbin kinetik, yaitu turbin kinetik datar dan turbin kinetik tegak, dan yang di pergunakan dalam penelitian ini adalah turbin kinetik mendarat, yakni turbin yang diletakkan mendarat dan porosnya diletakkan vertikal.

2.2.2 Keuntungan Turbin Kinetik

Menurut Warsito S, (2005), banyak keuntungan yang diperoleh apabila turbin kinetik ini dipergunakan sebagai pembangkit listrik. Keuntungan pemanfaatan turbin kinetik adalah:



11

1. Bentuknya sederhana dan mudah dibuat
2. Instalasi yang murah
3. Waktu pemasangannya yang cepat
4. Tanpa reservoir
5. Tanpa bendungan dan power house
6. Kapasitas dan produksi energi yang tetap/stabil.
7. Pemilihan lokasi tidak terlalu banyak syarat.
8. Potensi air yang dibutuhkan tidak membutuhkan tinggi jatuh, yang dibutuhkan hanya adanya aliran air ($E_{kinetik} = v^2/2g$).
9. Pemeliharaan mudah.
10. Turbin hanya diletakkan pada aliran sungai, dan tidak membutuhkan bangunan khusus.
11. 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.

2.2.3 Prinsip Kerja Turbin Kinetik

Turbin kinetik bekerja, dimana arus aliran air langsung menumbuk sudu turbin tanpa melalui nozel. Energi diberikan kepada sudu berupa energi kinetik atau energi kecepatan. Pada turbin kinetik poros vertikal (tegak) air langsung menumbuk sudu pada setengah bagian roda turbin sedangkan setengah bagian yang lain juga mendapat tumbukan tetapi tidak sebesar setengah bagian yang pertama sehingga turbin masih bisa berputar. Tentunya keberhasilan turbin ini berputar tergantung pada bentuk dan jumlah sudunya, apabila bentuk dan jumlah sudunya kurang memadai maka putaran turbin akan semakin lambat, bahkan berhenti berputar. Oleh sebab itu berdasarkan prinsip kerja ini dan berdasarkan teori segitiga kecepatan maka akan didapatkan bentuk dan jumlah sudu yang tepat.

2.2.4 Kinerja Turbin Kinetik

Turbin air yang diteliti adalah peralatan mekanis berbentuk roda dengan sudu radial berengsel pada poros vertikal. Turbin air ini memanfaatkan selisih ketinggian alamiah permukaan sungai kecil atau kecepatan aliran. Air yang masuk ke dalam dan keluar turbin tidak mempunyai tekanan lebih. Dalam penelitian dibuat suatu turbin air yang ditempatkan secara aksial dan memanfaatkan kecepatan sungai secara alami.

Kinerja turbin air ini tergantung pada: kondisi aliran, kecepatan air, debit air dan sudut kemiringan sudu (Shiono et al., 2002).

2.2.5 Daya Turbin Kinetik

Daya suatu turbin kinetik ditentukan oleh besar energi kinetik dan daya yang dihasilkan oleh aliran tersebut. Besarnya energi yang dihasilkan oleh suatu aliran ditentukan oleh persamaan :

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot V^2 \quad (2-1)$$

dengan :

E_a = Energi air (N.m) atau (Joule)

\dot{m} = Massa air (kg/s)

V = Kecepatan air (m/s)

Untuk daya air yang mengalir pada suatu penampang tertentu maka dalam perhitungannya dipergunakan persamaan :

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

dengan :

P_a = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

Untuk menghitung besar daya turbin yang dihasilkan akibat adanya energi kinetik dipergunakan persamaan :

$$P_t = T \cdot \omega \quad (2-3)$$

dengan :

$$T = F \cdot l \quad (2-4)$$

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

dengan :

P_t = Daya turbin (watt)

T = Torsi (Nm)

l = Lengan (m)

n = Putaran poros atau roda turbin (rpm)

F = Gaya (N)

2.2.6 Efisiensi Turbin Kinetik

Efisiensi suatu turbin kinetik adalah ditentukan oleh perbandingan antara daya air yang masuk dengan besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin kinetik, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan

$$\eta = (P_t/P_a) \times 100 \quad (2-5)$$

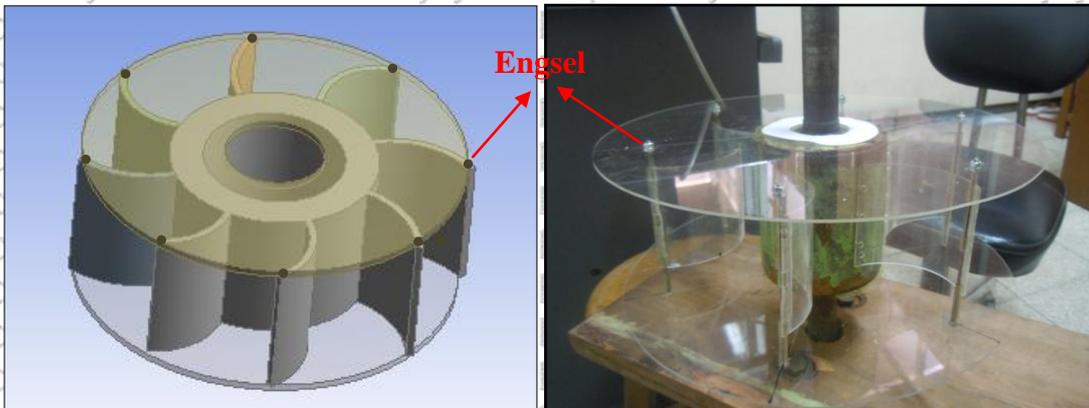
dengan :

P_t = Daya turbin (watt)

P_a = Daya air (watt)

2.3 Bentuk Sudu Berengsel Luar

Sudu dibuat dengan bentuk melengkung dan terdapat sisi samping agar dapat menahan aliran air, dan meningkatkan efisiensi gaya tangensial. Dalam penelitian akan digunakan sudu bentuk melengkung dengan ukuran sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.6 :

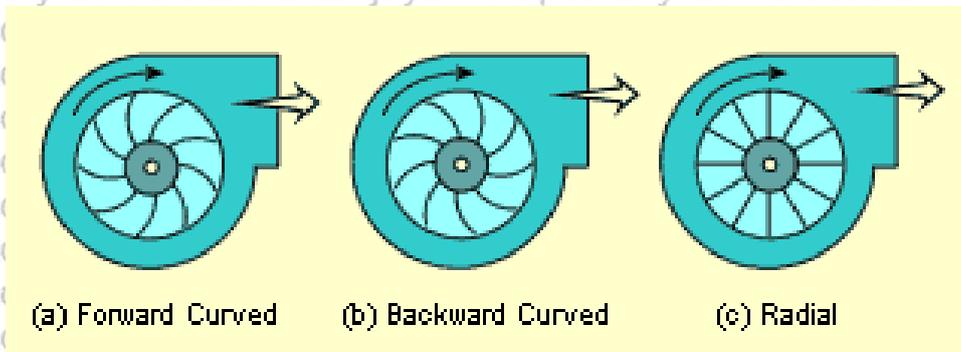


Gambar 2.5 Turbin kinetik sudu berengsel luar

2.4 Bentuk Sudu Terhadap Arah Aliran

Menurut V.S. Thangarasu, et.al (2015), kinerja pompa sentrifugal terutama tergantung pada parameter desain sudu impeller. Efisiensi sudu *backward* ditemukan lebih besar dari sudu lainnya. Efisiensi dan daya pompa ditemukan bervariasi, berbanding terbalik dengan pembebanan. Sudu *forward* menunjukkan karakteristik penurunan efisiensi pada pembebanan rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sudu *forward* tidak dapat digunakan pada beban rendah. Pada beban menengah, sudu

backward adalah impeller yang paling efisien untuk digunakan karena kemudahan untuk memproduksi dan memiliki efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 2.6 (a) Sudu Forward, (b) Sudu Backward dan (c) Sudu Radial

2.6 Metode *Response Surface Methodology*

Response Surface Methodology (RSM) adalah sekumpulan metode matematika dan teknik-teknik statistik yang bertujuan membuat model dan melakukan analisis mengenai respon yang dipengaruhi oleh beberapa variable. RSM digunakan sebagai cara mencari fungsi yang tepat untuk memprediksi respon juga menentukan nilai variable-variable independen yang dapat mengoptimalkan respon. Untuk mendapatkan model empiris orde pertama dan orde kedua dilakukan rancangan percobaan factorial 2^k ditambah dengan pengamatan beberapa kali di titik pusat dan titik-titik di sumbu aksialnya dengan $\alpha = 2k/4$ dalam bentuk *Central Composite Design* (CCD). Rancangan factorial 2^k CCD digunakan untuk percobaan yang terdiri k factorial dengan masing-masing factor mempunyai level rendah diberi kode -1, level tinggi diberi kode +1, level tengah diberi kode 0, dan level tengah diberi kode $-\alpha$ dan $+\alpha$. Untuk $k = 3$, nilai $\alpha = 1.682$. Semua variable dicari dengan *Response Surface Methodology* dengan pendekatan *desirability function*.

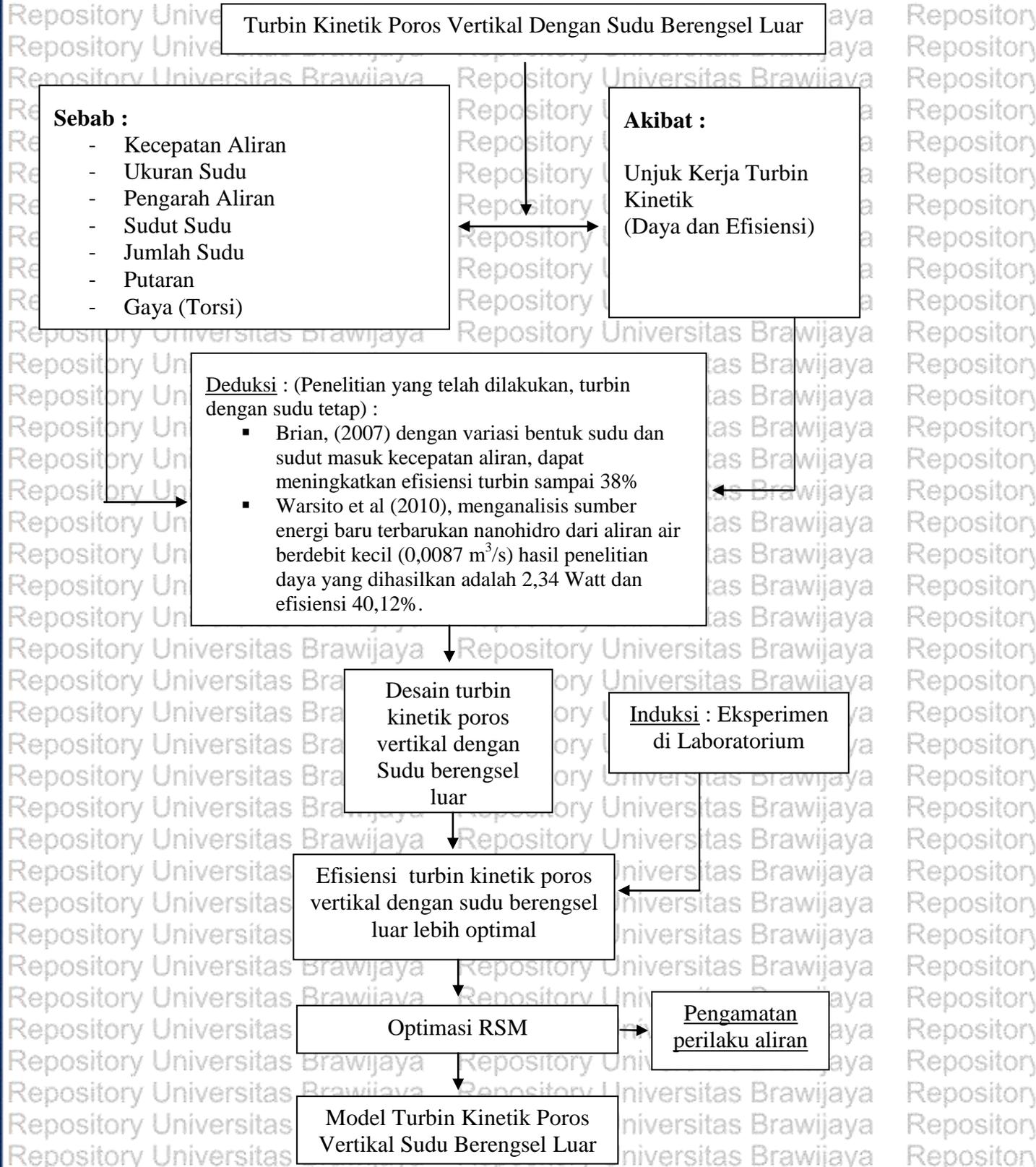


BAB III KERANGKA PENELITIAN

3.1 Kerangka Pemikiran Teoritis

Turbin kinetik adalah suatu bentuk turbin air yang hanya memanfaatkan kecepatan aliran air dan tidak memerlukan nozel, selain itu turbin air ini tidak membutuhkan pelindung atau rumah. Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi turbin kinetik. Dari penelitian yang telah dilakukan, kebanyakan penyebab rendahnya efisiensi turbin karena bentuk sudu dan jumlah sudu, juga bagaimana sudu itu bergerak saat memutar runner turbin. Pada saat sudu turbin dipasang tetap pada poros, maka pada sisi runner yang lain, sudu turbin akan menahan aliran air sehingga akan mengurangi putaran turbin. Bahkan kemungkinan masih ada air yang ikut dengan sudu turbin sehingga memperlambat putaran turbin. Jika sudu turbin dipasang tidak tetap atau menggunakan engsel, maka pada sisi runner yang lain, sudu turbin akan bergerak sehingga tidak akan menghalangi aliran air yang melewati sudu.

Penelitian yang akan dilakukan adalah menganalisa unjuk kerja turbin dengan sudu yang dipasang engsel pada bagian luar runner dan membandingkan unjuk kerja turbin dengan sudu tetap. Unjuk kerja suatu turbin kinetik sangat ditentukan oleh daya dan efisiensi turbin tersebut. Besarnya nilai daya dan efisiensi turbin kinetik sangat tergantung dari : debit aliran, kecepatan aliran air, putaran turbin, ukuran sudu turbin kinetik, sudut pengarah arah aliran masuk turbin, jumlah sudu turbin kinetik. Efisiensi turbin kinetik akan optimal jika mampu sebesar-besarnya mengkonversi energi kinetik air menjadi energi mekanik. Seringkali perilaku aliran air yang memutar sudu akan menjelaskan karakteristik dan efisiensi yang dimiliki suatu turbin air. Yang ingin diungkap dari penelitian ini adalah pengaruh perilaku aliran air yang melewati sudu berengsel luar terhadap peningkatan unjuk kerja turbin air kinetik poros vertikal. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk memperoleh suatu jawaban atas peningkatan karakteristik turbin air kinetik poros vertikal yang memutar dan melewati sudu berengsel luar.



Gambar 2.7. Kerangka Pemikiran Teoritis

3.2 Hipotesa

Berdasarkan landasan teori yang telah diuraikan serta rumusan masalah penelitian, maka dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

Aliran air yang menumbuk sebuah sudu akan memberikan momentum pada bidang sudu yang akan menghasilkan gaya tangensial, dimana gaya tangensial akan menghasilkan torsi. Tentunya torsi yang besar akan menghasilkan data turbin yang besar sehingga akan meningkatkan efisiensi turbin.

Bentuk sudu tidak tetap atau sudu berengsel luar dapat lebih meningkatkan unjuk kerja turbin dimana tumbukan air yang menerpa sudu berengsel akan meningkatkan putaran turbin. Jika sudu turbin dipasang engsel pada bagian luar runner, maka pada sisi :

- *backward*, dengan pengarah aliran akan mendorong turbin berputar lebih stabil sehingga memberikan torsi positif, dengan demikian kinerja turbin (daya dan efisiensi) bisa meningkat.

- *forward* akan menghilangkan torsi negatif, karena dengan terbukanya sudu maka tidak terjadi tekanan balik sehingga akan memberikan torsi positif, kinerja turbin (daya dan efisiensi) bisa meningkat.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fluida Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini menggunakan analisa teori dan metode eksperimental. Dalam hal ini perangkat penelitian dibuat dalam skala laboratorium.

4.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Turbin Kinetik Berengsel luar
Runner meliputi, poros baja ST 37 berdiameter 30 mm, cakram berdiameter 355 mm dengan bahan akrilik, dengan tinggi sudu 9 cm bahan akrilik setebal 3 mm yang dipasang keliling runner dan bergerak pada engsel yang dipasang pada diameter luar runner. Sebagai mana ditunjukkan pada gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Turbin Kinetik Berengsel Luar

2. Saluran Aliran Air

Saluran aliran air yang dipakai mempunyai ukuran penampang 100 cm x 45 cm sesuai dengan saluran yang terdapat di laboratorium mekanika fluida sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Saluran air

3. Flow meter digital

Flow meter berfungsi untuk mengukur debit aliran, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Flow meter digital

4. Flowatch berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran air, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Flowatch

5. Tachometer berfungsi untuk mengukur putaran turbin. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.5 :



Gambar 4.5 Tachometer

6. Neraca pegas berfungsi untuk mengukur beban/gaya (F) pada setiap variasi putaran turbin, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Neraca massa

4.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada dua jenis, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

4.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan nilainya sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Besar variasi sudut pengarah aliran adalah: 15° , 25° , 35° .
2. Jumlah sudu : 8 sudu, 10 sudu, 12 sudu
3. Debit air di variasikan 35, 40, 45 dan $50 \text{ m}^3/\text{jam}$.

4.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya sangat tergantung pada variabel bebas dan merupakan hasil dari penelitian. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Daya turbin
2. Efisiensi turbin

4.4 Prosedur Penelitian

1. Menyiapkan dan memasang semua instalasi yang dibutuhkan.
2. Menyiapkan alat pendukung (alat ukur).
3. Mengecek kondisi instalasi dan alat pendukung lainnya.
4. Menyiapkan turbin dengan sudu berengsel luar dengan sudu yang terpasang sebanyak 8 sudu.
5. Mengatur pengarah aliran dengan sudut 15° (kemudian 25° dan 35°)
6. Hidupkan pompa.
7. Mengatur debit aliran sesuai data debit yang akan divariasikan yakni; 35, 40, 45 dan $50 \text{ m}^3/\text{jam}$.
8. Mengukur putaran turbin dengan alat ukur tachometer tanpa beban terlebih dahulu, selanjutnya memvariasikan putaran optimum, 90, 70, 50, 30, rpm dan mengukur serta mencatat gaya yang dihasilkan setiap variasi putaran.
9. Mengolah data penelitian yang didapatkan.

10. Menganalisa data penelitian yang didapatkan untuk mengetahui hubungan antar variable bebas dan terikat.
11. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

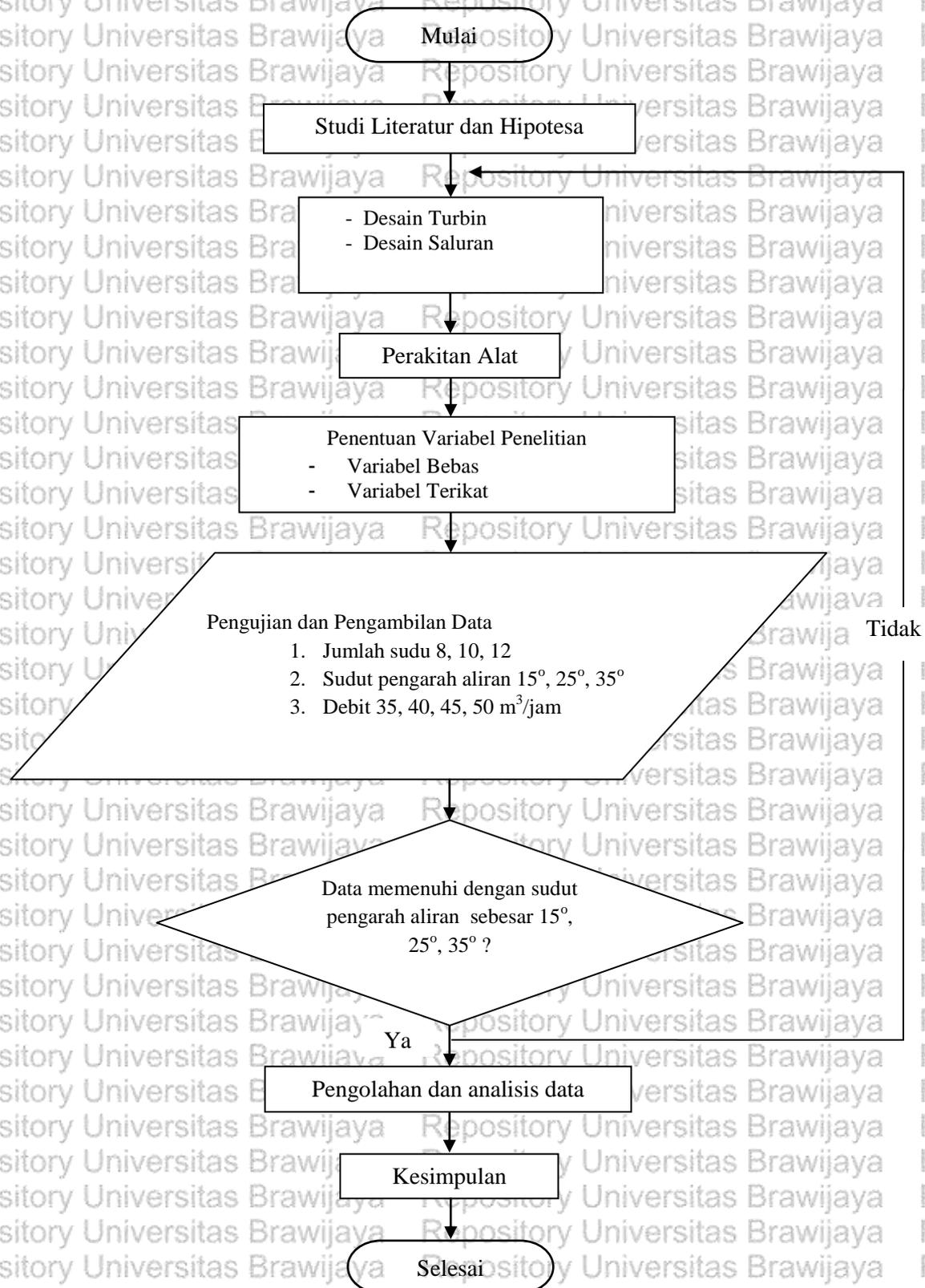
4.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*). Dalam hal ini perangkat penelitian dibuat sesuai dengan ukuran turbin yang akan diamati. Metode ini dilaksanakan dengan melakukan pengujian untuk menganalisa pengaruh sudu turbin yang dipasang tidak tetap yaitu menggunakan engsel pada bagian luar runner terhadap daya dan efisiensi turbin kinetik yang dihasilkan dengan variasi yang telah ditentukan.

4.6 Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data menggunakan teknik deskriptif berdasarkan hasil eksperimen, dan pengolahan data dan grafik menggunakan Microsoft Office Excel. Dalam pengolahan data akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya dan efisiensi. Sedangkan nilai optimasi turbin kinetik poros vertical sudu berengsel dengan *Response Surface Methodology* akan menggunakan program Minitab 16.

4.7 Diagram Alir Penelitian (*Flow Chart*)



Gambar 4.7 Diagram Alir Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian Unjuk Kerja Turbin

5.1.1 Data Hasil Penelitian Turbin Sudu Berengsel Luar

Tabel 5.1 Data hasil penelitian daya turbin berengsel luar kondisi optimum

Sudut Pengarah (α)	Jumlah Sudu	Debit (m^3/jam)	Putaran (Rpm)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)	Efisiensi Turbin (%)	
35°	12	35	120	0	0	0	
			90	1,38	13,06	39,80	
			70	1,70	12,51	38,15	
	40	12	35	50	1,84	9,67	29,48
				30	2,12	6,68	20,37
				0	2,61	0	0
				90	0	0	0
				70	1,96	18,46	40,70
				50	2,63	19,28	42,51
				30	2,80	14,65	32,30
45	12	35	0	3,08	9,67	21,32	
			90	3,23	0	0	
			70	0	0	0	
	40	12	35	90	0	0	0
				70	2,52	23,74	36,02
				50	2,94	21,54	32,69
				30	3,09	16,19	24,57
				0	3,13	9,85	14,94
				90	4,08	0	0
				70	0	0	0
50	12	35	90	0	0	0	
			70	2,42	22,82	25,40	
			50	2,75	20,21	22,49	
	40	12	35	30	2,74	14,36	15,98
				0	3,36	10,55	11,74
				90	4,60	0	0

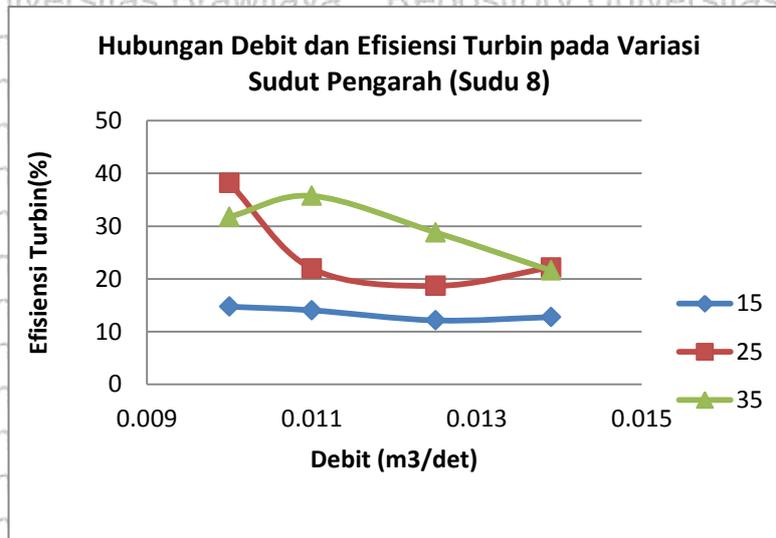
Tabel 5.2 Data hasil penelitian efisiensi turbin berengsel luar kondisi optimum

Sudut Pengarah (α)	Jumlah Sudu	Debit (m^3/jam)	Putaran (Rpm)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
25°	12	35	114	0	0	0
			90	0,99	9,36	28,55
			70	1,93	14,16	43,15
			50	2,12	11,14	33,95
			30	2,18	6,86	20,91
	0	2,77	0	0		
	40	90	0	0	0	0
		90	1,14	10,81	23,84	
		70	1,58	11,59	25,55	
		50	2,24	11,72	25,84	
30		2,67	8,40	18,51		
0	2,85	0	0			
45	45	124	90	0	0	0
			90	1,48	13,98	21,21
			70	1,97	14,46	21,95
			50	2,64	13,85	21,01
			30	2,78	8,75	13,28
	0	2,88	0	0		
	50	90	0	0	0	0
		90	2,45	23,08	25,69	
		70	2,88	21,13	23,52	
		50	3,23	16,92	18,84	
30		3,44	10,81	12,04		
0	3,72	0	0			

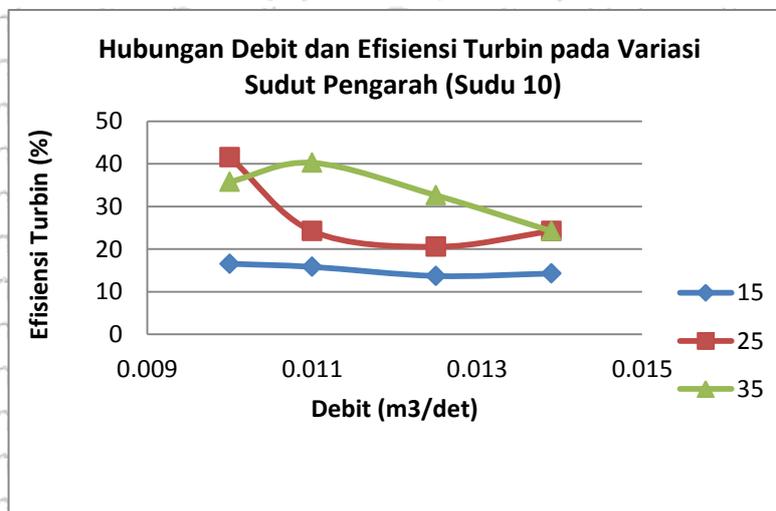
5.1.2 Pembahasan Hasil Penelitian Turbin Sudu Berengsel Luar

Salah satu parameter kinerja turbin berengsel luar adalah daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin. Torsi yang diukur pada pulley torsi adalah sama dengan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Uji kinerja turbin kinetik dengan sudu berengsel dilakukan

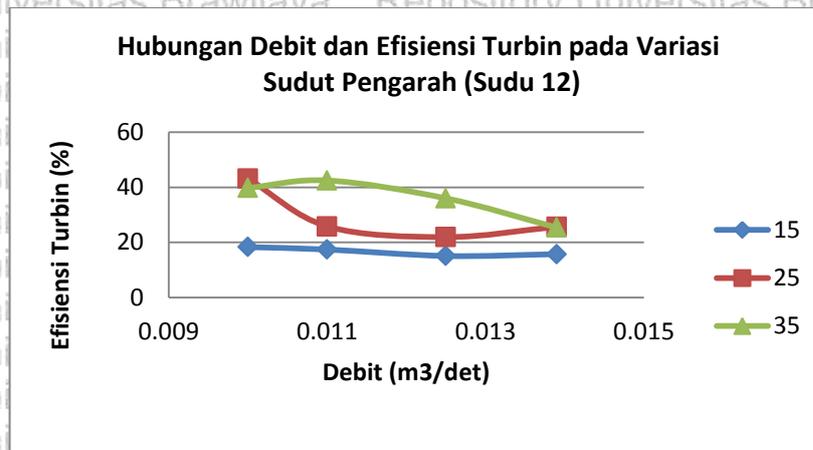
untuk mendapatkan karakteristik sistem turbin tersebut. Hasil uji eksperimental untuk mendapatkan karakteristik turbin dengan sudu berengsel seperti terlihat pada gambar berikut :



(a)



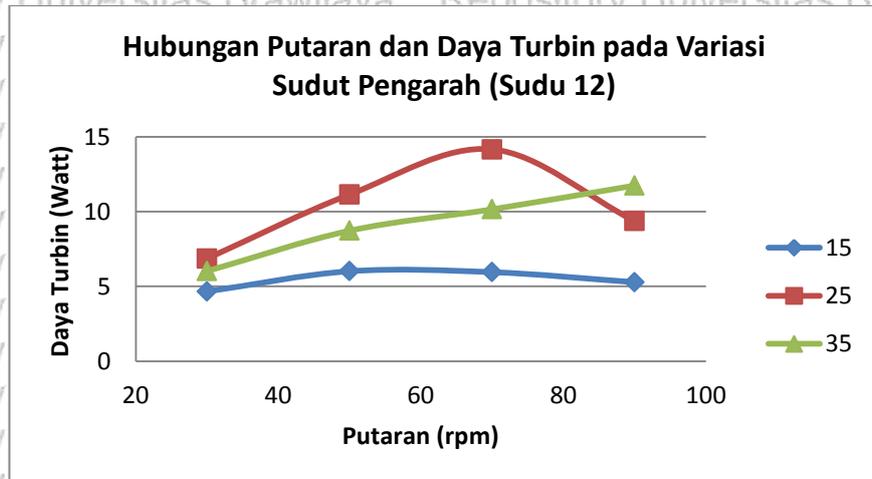
(b)



(c)

Gambar 5.1 Grafik hubungan debit dan efisiensi turbin pada jumlah sudu (a) 8 sudu (b) 10 sudu (c) 12 sudu

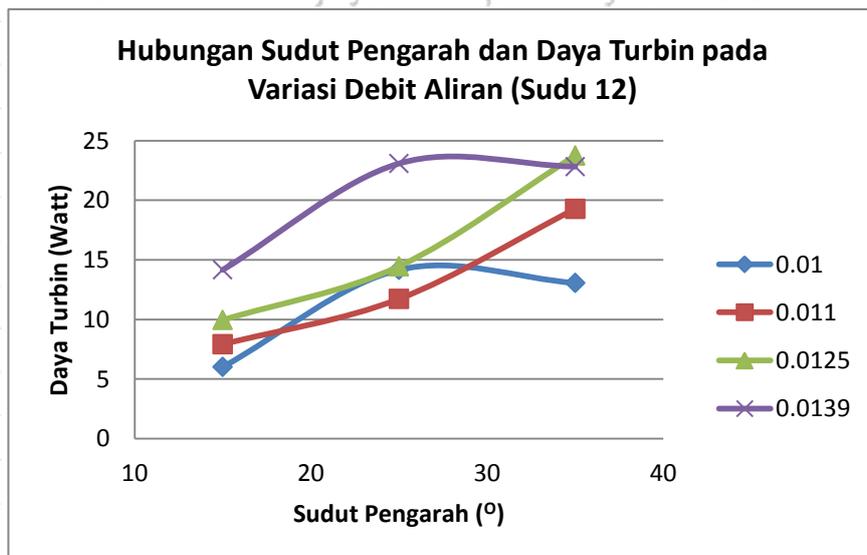
Bila melihat grafik gambar 5.1 (a), maka titik optimum terjadi pada saat debit 0,01 m³/det (35 m³/jam) dan pengarah aliran 25°, nilai efisiensi sebesar 38,15 %. Hal ini bisa terjadi karena pada saat sudu pengarah dibuka lebih besar maka debit aliran yang mengalir masuk menumbuk sudu akan memberikan kecepatan aliran yang besar, sehingga dapat memutar turbin lebih cepat. Dengan pengereman pada turbin maka torsi akan bertambah sehingga daya turbin akan meningkat dan berbanding lurus, efisiensi turbin pun akan meningkat. Gambar 5.1 (b) menjelaskan bahwa titik optimum efisiensi turbin terjadi pada saat debit 0,01 m³/det (35 m³/jam) dan pengarah aliran 25°, nilai efisiensi sebesar 41,59 %. Kondisi ini sama halnya dengan pada jumlah sudu 8, tetapi pada jumlah sudu 10 terjadi peningkatan efisiensi. Hal ini bisa terjadi karena pada penambahan jumlah sudu, maka aliran yang kena pada sudu lebih banyak sehingga memberi daya dorong pada turbin yang mengakibatkan putaran turbin bertambah. Gambar 5.1 (c) dapat menjelaskan bahwa, semakin banyak jumlah sudu maka akan semakin banyak pula aliran air yang kena pada sudu. Hal ini akan membuat putaran turbin meningkat dan efisiensi meningkat pula. Pada kondisi dengan jumlah sudu 12, debit aliran 0,01 m³/det dan sudut pengarah 25°, nilai optimum efisiensi sebesar 43,15 %.



Gambar 5.2 Grafik hubungan putaran dan daya turbin pada jumlah sudu 12

Pada gambar 5.2 ditunjukkan grafik hubungan putaran dan daya turbin yang optimal pada sudut pengarah 25° , putaran 70 rpm dan jumlah sudu 12 dengan nilai daya turbin sebesar 14,16 Watt. Sedangkan pada posisi jumlah sudu 8, daya turbin adalah 12,51 Watt dan posisi jumlah sudu 10, daya turbin adalah 13,64 Watt.

Dari hasil penelitian diatas dapat dijelaskan bahwa, semakin banyak jumlah sudu maka daya turbin juga akan meningkat. Semakin banyak jumlah sudu, maka aliran air akan masuk lebih banyak ke sudu sehingga akan meningkatkan putaran. Putaran meningkat maka daya turbin pun akan naik.



Gambar 5.3 Grafik hubungan sudut pengarah dan daya turbin pada jumlah sudu 12

Pada gambar 5.3 ditunjukkan grafik hubungan sudut pengarah dan daya turbin yang optimal pada sudut pengarah 35° dan jumlah sudu 12 dengan nilai daya turbin sebesar 23.74 Watt. Sedangkan pada posisi jumlah sudu 8, daya turbin adalah 19.91 Watt dan posisi jumlah sudu 10, daya turbin adalah 21.76 Watt.

Dapat dijelaskan bahwa, semakin banyak jumlah sudu maka dan semakin besar debit aliran maka daya turbin juga akan meningkat. Tetapi daya turbin optimal pada bukaan sudut pengarah maksimum 35° karena saat sudut pengarah dibuka maksimum maka debit aliran akan meningkat sehingga kecepatan aliran juga akan naik. Pada kecepatan aliran yang tinggi akan memutar turbin lebih tinggi sehingga nilai torsi pun akan meningkat.

5.2 Hasil Penelitian Optimasi Dengan *Response Surface Methodology* (RSM)

Untuk mendapatkan model empiris orde pertama dan orde kedua dilakukan rancangan percobaan factorial 2^k ditambah dengan pengamatan beberapa kali di titik pusat dan titik-titik di sumbu aksialnya dengan $\alpha = 2k/4$ dalam bentuk *Central Composite Design* (CCD). Rancangan factorial 2^k CCD digunakan untuk percobaan yang terdiri k factorial dengan masing-masing factor mempunyai level rendah diberi kode -1, level tinggi diberi kode +1, level tengah diberi kode 0, dan level tengah diberi kode $-\alpha$ dan $+\alpha$. Untuk $k=3$, nilai $\alpha=1.682$.

Pada penelitian ini terdapat dua macam variabel, yaitu variabel bebas dan variable respon. Parameter kinerja turbin yang dijadikan variable bebas dalam penelitian ini adalah :

1. Sudut pengarah : 20° , 25° dan 30°
2. Jumlah sudu : 10 sudu, 12 sudu dan 14 sudu
3. Debit : $35 \text{ m}^3/\text{jam}$, $40 \text{ m}^3/\text{jam}$, dan $45 \text{ m}^3/\text{jam}$

Semua variable dicari dengan *Response Surface Methodology* dengan pendekatan *Desirability Function*.

Rancangan yang digunakan untuk membentuk model orde kedua dengan total pengamatan sebanyak 20 pengamatan, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 5.3. Hasil Rancangan RSM

No	Variabel bebas		Variable respon		
	Sudut pengarah (°)	Jumlah sudu	Debit (m ³ /jam)	Daya turbin (Watt)	Efisiensi turbin (%)
1	20	10	35	9.54	29.08
2	30	10	35	12.69	38.69
3	20	14	35	11.77	35.86
4	30	14	35	16.46	48.39
5	20	10	45	11.29	17.13
6	30	10	45	17.52	26.59
7	20	14	45	14.25	21.62
8	30	14	45	22.28	33.82
9	16.59	12	40	8.52	18.78
10	33.41	12	40	18.08	39.86
11	25	8.64	40	10.29	22.69
12	25	15.36	40	15.00	33.08
13	25	12	31.59	12.78	38.95
14	25	12	48.4	20.32	24.49
15	25	12	40	11.72	25.84
16	25	12	40	11.84	26.10
17	25	12	40	11.78	25.97
18	25	12	40	11.95	26.36
19	25	12	40	11.84	26.10
20	25	12	40	11.72	25.84

Dari tabel 5.3 diperoleh nilai daya turbin tertinggi sebesar 22.28 watt ada pada kombinasi sudut pengarah 30°, jumlah sudu 14 dan debit aliran 45 m³/jam, Sedangkan efisiensi turbin tertinggi sebesar 48.39 % ada pada kombinasi sudut pengarah 30°, jumlah sudu 14 dan debit aliran 45 m³/jam.

5.2.1 Penentuan model untuk variable respon untuk daya turbin dan efisiensi turbin.

Dari output Minitab 14 diperoleh model dugaan untuk rata-rata variable respon sebagai berikut :

Daya turbin :

$$P_t = 11,803 + 2,796(\alpha) + 1,585(n_b) + 2,018(Q) + 0,563(\alpha)^2 + 0,331(n_b)^2 + 1,712(Q)^2 + 0,418(\alpha)(n_b) + 0,803(\alpha)(Q) + 0,215(n_b)(Q)$$

Efisiensi turbin :

$$\eta = 25,985 + 5,803(\alpha) + 3,344(n_b) - 5,651(Q) + 1,486(\alpha)^2 + 0,978(n_b)^2 + 2,334(Q)^2 + 0,708(\alpha)(n_b) - 0,060(\alpha)(Q) - 0,595(n_b)(Q)$$

Berdasarkan model matematika yang diperoleh dapat diketahui bahwa ketiga variable bebas yaitu sudut pengarah, jumlah sudu dan debit, memberikan pengaruh terhadap besarnya nilai daya turbin dan efisiensi turbin.

5.2.2 Analisis Dengan Pendekatan *Desirability Function*

Untuk melakukan analisis dengan pendekatan *desirability function*, maka terlebih dahulu memasukkan nilai batas dari respon. Kriteria yang digunakan adalah *bigger the better*. Target yang ingin dicapai adalah nilai daya turbin dan efisiensi turbin yang hampir sama. Analisis *desirability function* sebagai hasil dari kombinasi variable proses yang menghasilkan respon minimal ditunjukkan pada (Lampiran 2) tabel 10 dan tabel 11 untuk analisis pendekatan *desirability function* dan gambar 7 dan gambar 8 *response optimization*.

Berdasarkan tabel 10 dan tabel 11 (Lampiran 2) nilai *desirability function* adalah 1 (satu) berarti nilai tertinggi yang dikehendaki sudah tercapai.

Nilai *desirability* untuk daya turbin :

$$P_t, \text{ Daya maksimum} = 33,9922 \text{ Watt}$$

$$\alpha, \text{ Sudut pengarah} = 33,41^\circ$$

$$n_b, \text{ Jumlah sudu} = 15,36$$

$$Q, \text{ Debit} = 48,41 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Nilai *desirability* untuk efisiensi turbin :

$$\eta, \text{Efisiensi maksimum} = 68,2998 \%$$

$$\alpha, \text{Sudut pengarah} = 33,41^\circ$$

$$n_b, \text{Jumlah sudu} = 15,36$$

$$Q, \text{Debit} = 31,59 \text{ m}^3/\text{jam}$$

5.2.3 Eksperimen Verifikasi

Agar nilai daya turbin (Y_{daya} maksimum) dan efisiensi turbin ($Y_{\text{efisiensi}}$ maksimum) dikatakan benar atau mendekati, maka perlu dilakukan pengujian kembali dengan menggunakan setting kombinasi variable bebas :

- Untuk daya turbin :

$$\alpha, \text{Sudut pengarah} = 33,41^\circ$$

$$n_b, \text{Jumlah sudu} = 15,36$$

$$Q, \text{Debit} = 48,41 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Nilai *desirability* untuk efisiensi turbin :

$$\alpha, \text{Sudut pengarah} = 33,41^\circ$$

$$n_b, \text{Jumlah sudu} = 15,36$$

$$Q, \text{Debit} = 31,59 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan eksperimen verifikasi pada tiga kali pengulangan dapat dirata-ratakan daya turbin : $(21,85 + 22,42 + 23,98) / 3 = 67,35 / 3 = 22,45$ Watt dan efisiensi turbin : $(44,09 + 46,30 + 40,26) / 3 = 130,65 / 3 = 43,55 \%$.

Nilai daya dan efisiensi turbin berdasarkan eksperimen verifikasi lebih rendah dari nilai pendekatan *desirability*, dikarenakan pada kombinasi nilai *desirability* adalah nilai yang ideal, sedangkan setelah dilakukan eksperimen verifikasi kondisi tidak ideal dengan adanya pembulatan angka desimal pada nilai *desirability*, dimana setiap ada penyimpangan nilai (pembulatan nilai), maka berdampak pada nilai hasil eksperimen verifikasi.

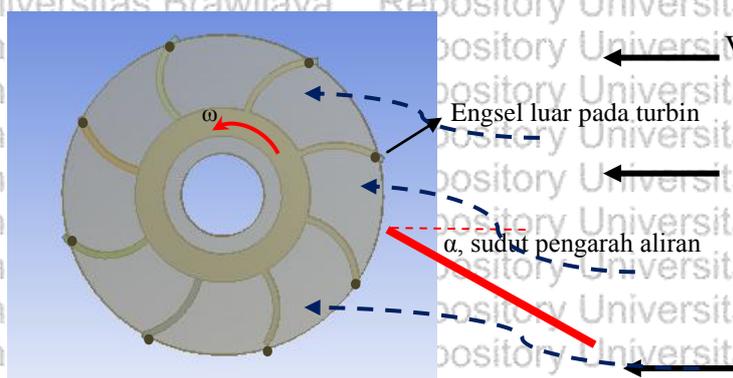
5.3. Perilaku Aliran Turbin

Hasil pengujian perilaku aliran yang terjadi pada turbin kinetik dengan sudu berengsel luar dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5.4 (a) Foto turbin berengsel, (b) Skema posisi sudu backward dan sudu forward

Gambar 5.4 (a) adalah foto turbin berengsel luar dan (b) adalah skema posisi sudu berengsel luar sisi forward dan sudu berengsel luar sisi backward. Dimana aliran air akan masuk pada kedua sisi turbin, pada sisi backward aliran air akan mendorong sudu berengsel luar supaya bisa memutar turbin, dan pada sisi forward aliran air akan keluar turbin sehingga tidak ada aliran air yang tertahan.



Gambar 5.4 Skema posisi sudut pengarah aliran pada turbin berengsel

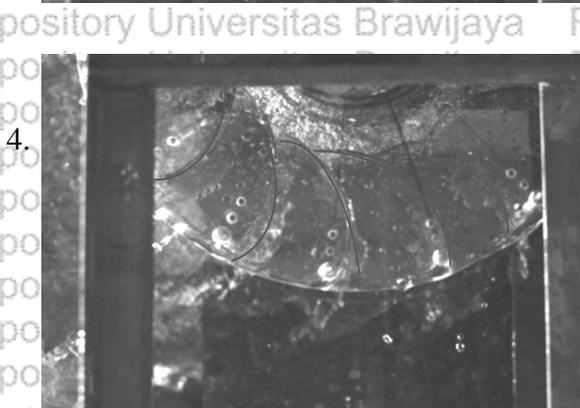
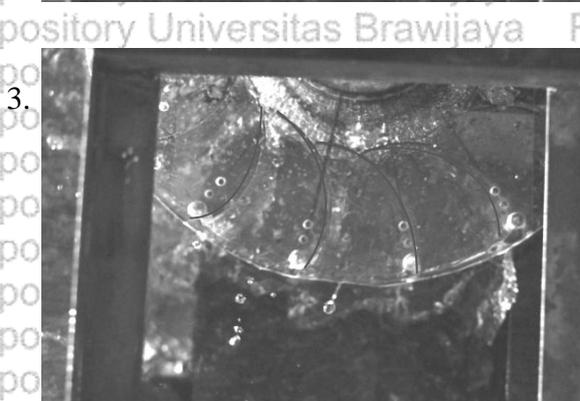
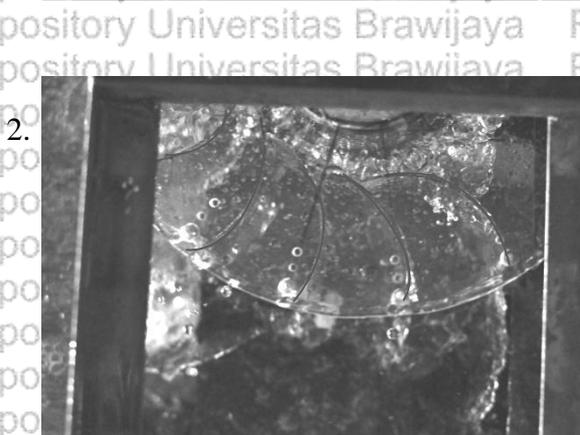
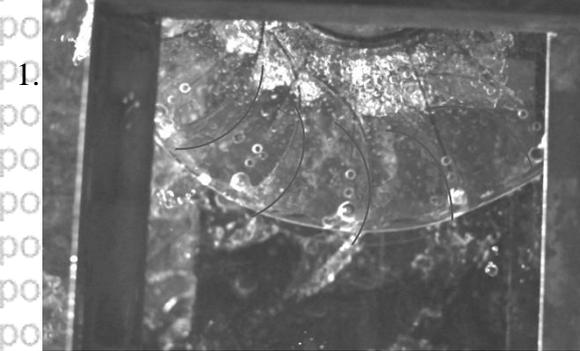


Gambar 5.5 Turbin berengsel luar dengan pengaruh aliran

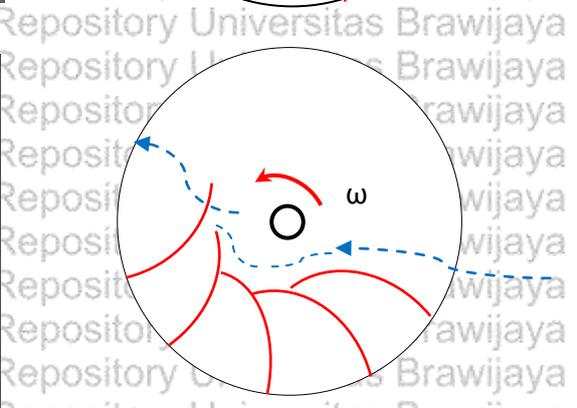
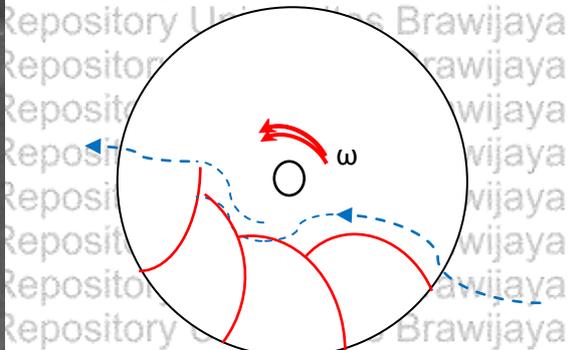
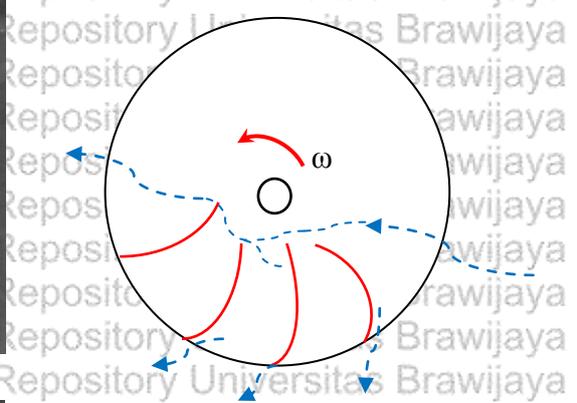
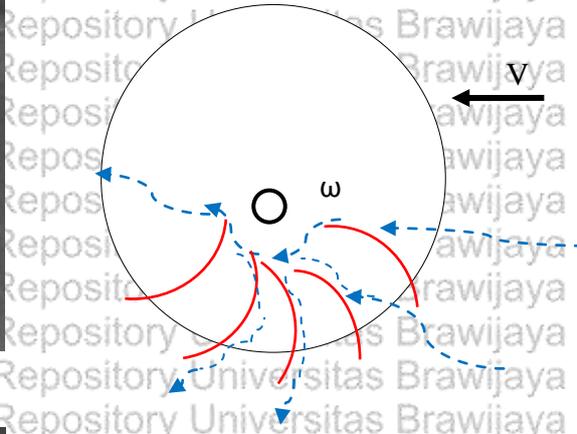
Turbin berengsel luar akan berputar jika diberikan debit aliran dan kecepatan aliran. Aliran air akan menumbuk sudu berengsel luar sisi forward dan sudu berengsel luar sisi backward. Gambar 5.5 menunjukkan pengaruh aliran yang akan mengarahkan aliran air menuju sudu berengsel luar sisi backward.



Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya



Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya



Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Gambar 5.6 (a) Foto perilaku aliran pada sudu forward yang terbuka menurut urutan pengambilan gambar (b) Skema sudu forward yang terbuka

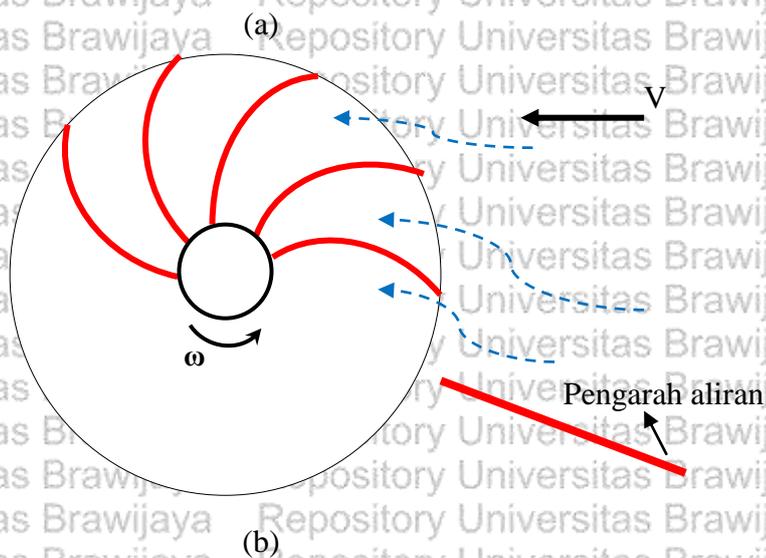
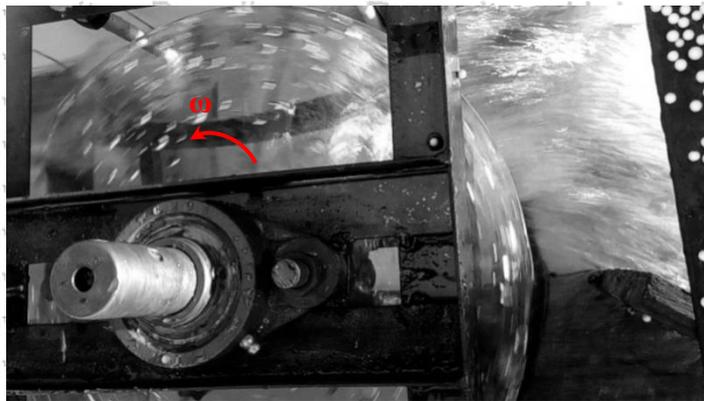
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Gambar 5.6 dapat dijelaskan, aliran air akan mendorong sudu turbin berengsel luar sisi forward sehingga sudu akan terbuka dan aliran air akan keluar turbin. Pada awal turbin berputar karena dorongan air maka masih ada aliran air yang keluar melalui sisi sudu forward, dan sampai waktu tertentu aliran air tidak keluar lagi dan putaran turbin sudah stabil. Jika sudu turbin belum terbuka atau masih ada celah untuk aliran air keluar, maka aliran air yang keluar kemungkinan akan memberi efek tekanan balik pada putaran turbin, sehingga putaran turbin akan menurun.

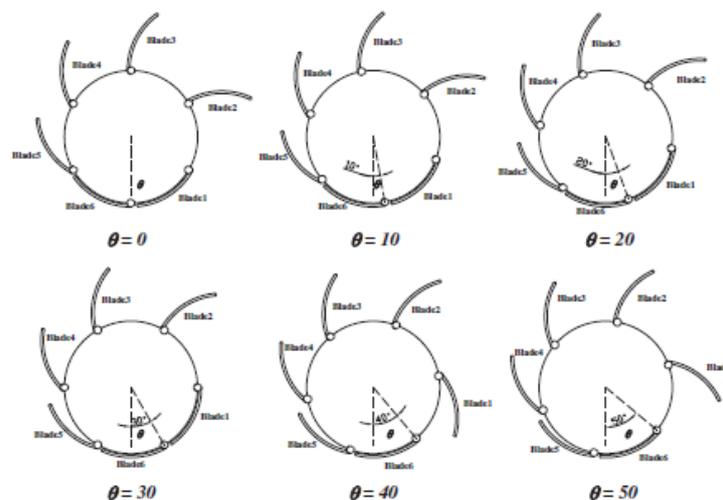
Dengan bertambahnya waktu maka turbin akan mencapai posisi putaran yang stabil, karena pada sisi forward, sudu sudah terbuka semua, saling menghimpit sudu satu dengan lainnya.



Gambar 5.7 (a) Foto perilaku aliran pada sudu backward, pengambilan gambar terbaik (b) Skema perilaku aliran pada sudu backward

Gambar 5.7 dapat dijelaskan, dengan adanya pengarah aliran pada turbin berengsel luar sisi backward, maka aliran air yang menerpa sudu akan memperoleh peningkatan putaran pada turbin. Ini terjadi karena pengarah aliran akan berfungsi seperti nozzle, dimana terdapat perbedaan luas penampang pada pengarah aliran saat aliran akan masuk turbin. Perbedaan luas penampang pengarah aliran yang menuju turbin sudu berengsel luar sisi backward, akan merubah kecepatan aliran yang akan menerpa sudu berengsel luar sisi backward. Kecepatan aliran setelah melewati pengarah aliran akan meningkat sehingga putaran turbin akan meningkat juga.

Bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Bo Yang (2011) tentang turbin Hunter atau turbin berengsel dalam, menurut Bo Yang, ketika turbin berputar 30° , pada saat tersebut sudu belum terbuka sehingga banyak energi kinetik aliran yang terbuang dan terjadi penurunan torsi karena sudu masih tertutup. Ketika turbin diputar pada 40° , saat sudu pertama mulai terbuka, maka turbin mulai menghasilkan torsi.



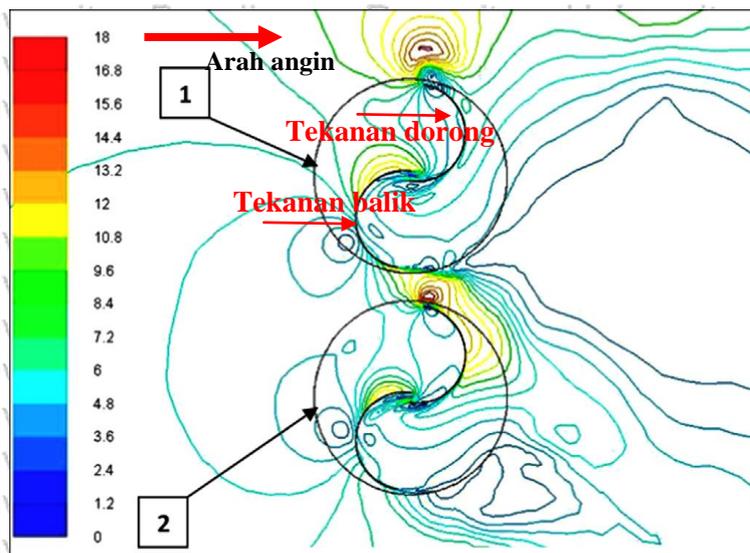
Gambar 5.8 Posisi bukaan sudu pada turbin Hunter

Pada gambar 5.8 ditunjukkan sudu pertama belum terbuka dan akan mulai membuka pada saat posisi sudut 40° . Berarti dibutuhkan sudut pengarah aliran yang lebih besar agar bisa membuka sudu sehingga dorongan aliran air akan membuka sudu dan membuat turbin berputar.

Dalam penelitian kali ini, turbin dengan sudu berengsel luar dapat dioperasikan pada sudut pengarah 33° sehingga tidak diperlukan sudut pengarah aliran yang besar.

Turbin dengan sudu berengsel luar tidak memerlukan debit air yang besar untuk menghasilkan kecepatan aliran yang akan menumbuk sudu. Engsel yang dipasang pada bagian luar runner akan segera terbuka saat menerima aliran air. Jika sudut pengarah aliran dibuka lebih besar maka dibutuhkan debit air yang besar juga supaya diperoleh kecepatan aliran yang tinggi.

Menurut Mohammed, et al (2015), penelitian yang dilakukan pada turbin Savonius dengan dua rotor yang disusun paralel pada gambar 5.9, diperoleh bahwa peningkatan output daya dari rotor 1 lebih tinggi dibanding dengan rotor 2. Ini dapat dijelaskan sebagai akibat dari tingginya tekanan pada sisi cekung sudu, sehingga memberikan tekanan dorong yang besar yang sama artinya dengan peningkatan torsi, yang terjadi pada posisi sudut antara 20° dan 120° . Sedangkan peningkatan daya rotor 2 diperoleh dari hasil kombinasi pola aliran yang dihasilkan di ujung sudu rotor 1 dimana terjadi tekanan balik dan tekanan dorong pada sudu rotor 2.

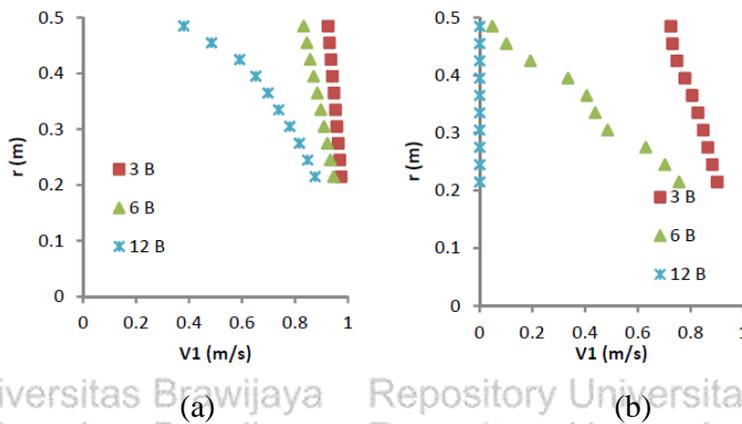


Gambar 5.9 Profil kecepatan aliran pada turbin Savonius yang disusun paralel

Jika pada turbin savonius membutuhkan pengarah di depan sudu cembung karena adanya tekanan yang berlawanan dengan arah putaran rotor sehingga akan terjadi torsi negative, maka pada turbin dengan sudu berengsel luar sisi forward tidak membutuhkan pengarah aliran. Saat aliran air menerpa sudu berengsel luar sisi forward maka sudu akan terbuka sehingga aliran air akan terus mengalir keluar dan tidak terjadi

torsi negative atau putaran turbin yang berlawanan sedangkan pengarah aliran dibutuhkan untuk lebih mengarahkan aliran air supaya masuk ke sudu berengsel luar sisi backward.

Penelitian yang dilakukan Ridway Balaka, et al (2014), tentang efek jumlah sudu terhadap kinerja pada turbin sungai poros horizontal Gambar 5.10, dengan variasi jumlah sudu 3 sudu, 6 sudu dan 12 sudu, menjelaskan turbin dengan jumlah sudu yang banyak memberikan kinerja yang lebih baik daripada turbin yang memiliki jumlah sudu sedikit. Tetapi dengan jumlah sudu yang banyak maka akan menurunkan putaran turbin sehingga membutuhkan rasio gear yang tinggi untuk transmisi mekanik turbin.



Gambar 5.10 Kecepatan aliran pada variasi jumlah sudu (a) pada 35 Rpm (b) 60 Rpm

Penelitian kali ini dilakukan dengan cara pengambilan data pada variasi jumlah sudu 8 sudu, 10 sudu dan 10 sudu, juga 15 sudu yang adalah hasil optimasi dengan RSM. Eksperimen menunjukkan bahwa hasil optimum ada pada kondisi 12 sudu dengan putaran 70 Rpm dan hasil verifikasi RSM ada pada kondisi 15 sudu dengan putaran 90 Rpm, menunjukkan bahwa, walaupun ada penambahan jumlah sudu, tidak membuat putaran turbin lebih rendah. Bisa dijelaskan bahwa saat aliran air menerpa sudu berengsel luar pada sisi backward maka sudu akan terdorong dan memutar turbin juga pada sisi forward, aliran air akan menerpa sudu sehingga sudu terbuka dan tidak terjadi torsi negative, sehingga putaran turbin meningkat. Lebih banyak jumlah sudu maka aliran air yang masuk pada sisi backward akan lebih banyak, sehingga akan memberikan tekanan yang lebih besar untuk memutar turbin, putaran turbin akan lebih tinggi dan kinerja turbin pun akan meningkat.



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pengaruh sudut pengarah aliran adalah semakin besar sudut pengarah aliran maka kecepatan aliran akan meningkat sehingga putaran turbin akan naik, yang artinya kenaikan putaran turbin sebanding dengan kenaikan efisiensi turbin. Unjuk kerja optimum daya turbin ada pada sudut pengarah 35°, jumlah sudu 12 dan debit 45 m³/jam dengan nilai daya turbin sebesar 23,74 Watt. Seiring penambahan debit air maka putaran turbin akan ikut meningkat tetapi pada pembebanan yang tinggi akan menurunkan putaran turbin sehingga daya turbin akan menurun. Nilai optimum efisiensi turbin ada pada sudut pengarah 25°, jumlah sudu 12 dan debit 35 m³/jam dengan nilai efisiensi turbin 43,15 %.

Berdasarkan skema perilaku aliran, pengembangan turbin kinetik poros vertikal menggunakan sudu berengsel yang dipasang pada bagian luar runner turbin memberikan manfaat pada sisi backward, dengan pengarah aliran akan mendorong turbin berputar lebih stabil sehingga memberikan torsi positif, dengan demikian kinerja turbin (daya dan efisiensi) bisa meningkat dan pada sisi forward akan menghilangkan torsi negative, karena dengan terbukanya sudu maka tidak terjadi tekanan balik sehingga akan memberikan torsi positif, kinerja turbin (daya dan efisiensi) bisa meningkat

Hasil optimasi dengan Response Surface Methodology (RSM) yang dilakukan pada turbin kinetik poros vertikal sudu berengsel luar mendapatkan persamaan matematis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya turbin : } P_t = & 11,803 + 2,796(\alpha) + 1,585(n_b) + 2,018(Q) + 0,563(\alpha)^2 \\ & + 0,331(n_b)^2 + 1,712(Q)^2 + 0,418(\alpha)(n_b) + 0,803(\alpha)(Q) \\ & + 0,215(n_b)(Q) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi turbin : } \eta = & 25,985 + 5,803(\alpha) + 3,344(n_b) - 5,651(Q) + 1,486(\alpha)^2 \\ & + 0,978(n_b)^2 + 2,334(Q)^2 + 0,708(\alpha)(n_b) - 0,060(\alpha)(Q) \\ & - 0,595(n_b)(Q) \end{aligned}$$

6.2 Saran

Beberapa hal yang dapat direkomendasikan sebagai saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih sempurna adalah masih terbuka peluang untuk mengoptimalkan turbin kinetik sudu berengsel luar melalui penelitian dengan variasi tinggi sudu turbin berengsel luar.



DAFTAR PUSTAKA

- Ariadi H, Nugroho dan Hartono. 2011. *Studi Numerik dan Eksperimental Performansi Turbin Arus Air Tipe Vertikal Aksis dengan Variasi Jumlah Blade dan Efek Aspect Ratio*. Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industry ITS.
- Asroful A., Rudy Soenoko, Denny W. 2013. *Pengaruh Variasi Sudut Input Sudu Mangkok Terhadap Kinerja Turbin Kinetik*. Seminar Nasional Science Engineering and Technology, SciETec. Fakultas Teknik UB Malang.
- Arismunandar W. 2004. *Penggerak Mula Turbin*. Edisi ketiga ITB. Bandung
- Bono dan Indarto. 2008. *Karakterisasi Daya Turbin Pelton Mikro dengan Variasi Bentuk Sudu*. Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. Yogyakarta.
- Bo Yang and Chris Lawn. 2011. *Fluid dynamic performance of a vertical axis turbine for tidal currents*. Renewable Energy 36, 3355-3366.
- Bo Yang and Chris Lawn. 2012. *Three dimensional effects on the performance of a vertical axis tidal turbine*. Ocean Engineering 58, 1-10.
- Blueprint. 2005. *Pengolahan energy nasional. 2005-2025*. Jakarta
- Draf ARN 2010-2014 Bidang Energi
- David Gaden and Eric Bibeau. 2008. *Increasing Power Density of Kinetic Turbines for Cost-effective Distributed Power Generation*. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Manitoba. Canada.
- Eric Bibeau, Shamez Kassam, John Woods, Tom Molinski, and Clayton Bear, 2009. *Operating A 5-KW Grid-Connected Hydrokinetic Turbine In a River In Cold Climates*. The Journal of Ocean Technology.
- Kaprawi. 2011. *Pengaruh Geometri Sudu dari Turbin Air Darrius Terhadap Kinerjanya*. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3. Palembang.
- L.B. Wang, L. Zang, N.D. Zeng. 2007. *A potential flow 2-D vortex panel model : Application to vertical axis straight blade tidal turbine*. Energy Conversion and Management 48, 454-461.
- Mohammed Shaheen, Mohamed El-Sayed and Shaaban Abdallah. 2015. *Numerical Study of Two-bucket Savonius Wind Turbine Cluster*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 137, 78-89.

Ohoirenan, Slamet Wahyudi, Djoko Sutikno. 2012. *Pengaruh variasi jumlah sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik*. Seminar Nasional Science Engineering and Technology. SciETec Fakultas Teknik UB. Malang.

Ridway Balaka, Aditya Rachman, Jenny Delly. 2014. *Blade Number Effect for A Horizontal Axis Current Turbine at A Low Velocity Condition Utilizing A Parametric Study with Mathematical Model of Blade Element Momentum*. Journal of Clean Energy Technologies, Vol.2 No.1

Shiono M., Kdsuyuki Suzuki, Sezji Kiho, (2002), Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations, Proceedings of The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan, May 26–31.

Soenoko R., Rispiningtati, and Sutikno D. 2011. *Prototype of A Twin Kinetik Turbine Performance as a Rural Electrical Power Generation*. Journal of Basic and Applied Scientific Research, J. Basic Appl. Sci. Res. 2011 1 (10): 1686-1690

Sornes K. 2010. *Small-Scale Water Current Turbines for River Applications*. Zero Emmision Resource Organization

Thangarasu V.S, G. Sureshkannan, NV Dhandapani. 2015. *Design and Experimental Investigation of Forward Curved, Backward Curved and Radial Blade Impellers of Centrifugal Blower*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 9(1) January 2015. Pages: 71-75.

Yani, Slamet Wahyudi, Deny W. 2012. *Pengaruh variasi panjang sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik*. Seminar Nasional Science Engineering and Technology. SciETec Fakultas Teknik UB. Malang.

Yesung Allo Padang, I Dewa Ketut Okariawan dan Mundara Wati. 2014. *Analisis variasi jumlah sudu berengsel terhadap unjuk kerja turbin cross flow zero head*. Dinamika Teknik Mesin. Volume 4 No.1

Vandar Ali and Bulent Eker. 2006. *Principle of Rotor Design for Horisontal Axis Wind Turbines*. Journal of Applied Sciences 6(7):1527-1533.

Viktor L. Streeter. 1984. *Mekanika Fluida*. Erlangga. Jakarta.

Warsito S, Abdul Syakur, Agus Adhi Nugroho. 2005. *Studi awal perencanaan system mekanikal dan kelistrikan pembangkit listrik tenaga mini-hidro*. Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan 2005. Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas.

Warsito, Wahyu, S. Wahyudi dan Wildan. 2010. *Realisasi dan analisis sumber energi baru terbarukan nanohidro dari aliran berdebit kecil*. Jurnal Material dan Energi Indonesia. Volume 01 Nomor 01. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran

