

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

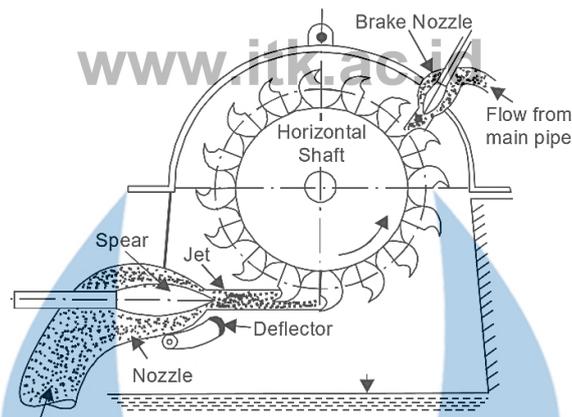
Turbin adalah suatu komponen penggerak yang dapat menghasilkan energi listrik. Energi listrik tersebut dapat dihasilkan salah satunya dengan turbin air. Turbin dengan *belt*, *pulley*, dan *gearbox* akan dihubungkan pada sebuah *runner* yang digerakkan akibat adanya aliran air yang kemudian diubah menjadi energi kinetik. *Runner* kemudian disambungkan pada generator untuk mengubah putaran pada turbin yang bergerak menjadi energi listrik. Putaran yang diubah oleh generator menjadi energi listrik tersebut berasal dari energi air yang diubah oleh suatu alat yaitu turbin air. Prinsip-prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi listrik tersebut kemudian membuat turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi (Harvey, 1993).

Jenis turbin air yang dipilih untuk setiap lokasi tergantung dengan karakter lokasi tersebut. Faktor yang utama dari pemilihan turbin air yaitu *head* yang tersedia dan daya yang dibutuhkan. Jenis turbin air yang dipilih juga tergantung pada kecepatan yang diinginkan untuk menjalankan generator. Semua turbin air memiliki karakteristik kecepatan daya dan kecepatan efisiensi, untuk *head* tertentu biasa digunakan dengan efisiensi pada kecepatan tertentu dan memerlukan laju aliran tertentu (Harvey, 1993).

2.2 Jenis Turbin Air

2.2.1 Turbin impuls

Turbin impuls merupakan turbin yang menghasilkan putaran dengan mengubah seluruh energi air yang terdiri dari energi potensial, tekanan, dan kecepatan menjadi energi kinetik sehingga dapat memutar turbin. Contoh turbin yang menggunakan cara kerja turbin impuls adalah turbin *pelton*. Turbin *pelton* ini memiliki *nozzle* atau pancaran air yang berperan dalam memutar satu set sudu jalan (Gibran, 2015). Turbin *pelton* memiliki skema gambar seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



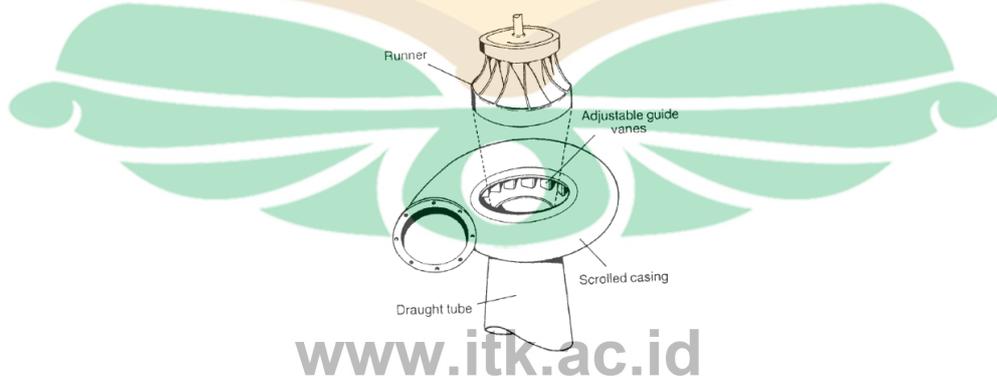
Gambar 2.1 Skema Turbin *Pelton* (Raja dkk., 2006)

2.2.2 Turbin reaksi

Turbin reaksi merupakan turbin air yang menghasilkan putaran dengan mengubah seluruh energi air menjadi putaran. Energi air yang diubah menjadi putaran terjadi tanpa melewati proses perubahan energi air menjadi energi kinetik pada turbin ini. Contoh turbin yang menggunakan cara kerja turbin reaksi terbagi dari 3 jenis yaitu *francis*, *kaplan* dan *vortex*. Jenis-jenis turbin reaksi dijelaskan sebagai berikut:

1. *Francis*

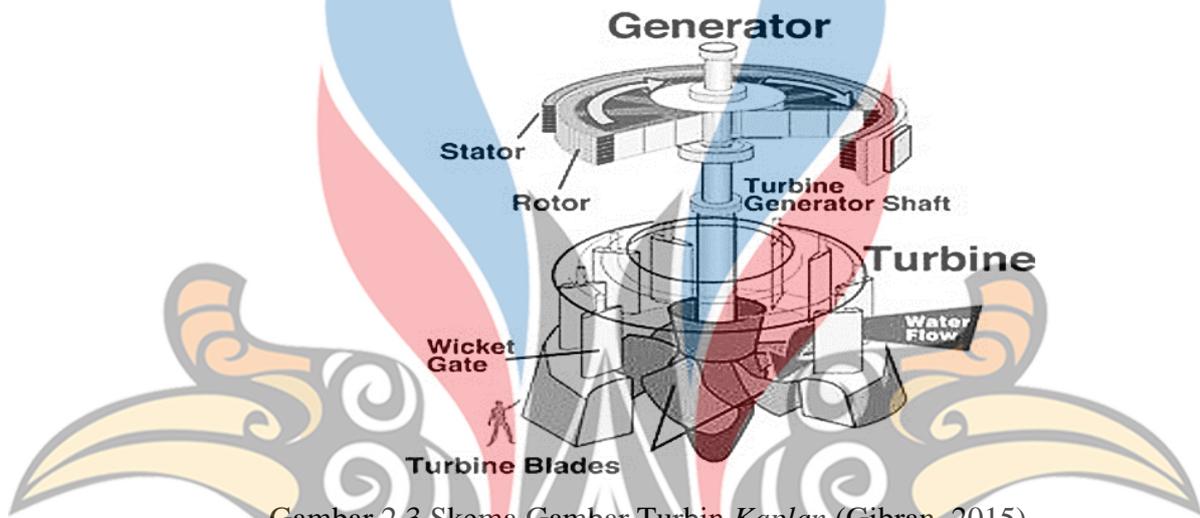
Turbin dengan jenis ini merupakan turbin yang memiliki sudu pengarah yang dapat didesain tetap atau dapat berubah sudut (Prasetyo, 2018). Penggunaan sudu pengarah yang dapat berubah sudut merupakan pemilihan yang tepat pada berbagai kondisi aliran air. Sudu pada turbin jenis ini akan membuat aliran air masuk dengan arah melingkar (Gibran, 2015). Turbin dengan jenis ini memiliki skema yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Gambar Turbin *Francis* (Harvey, 1993)

2. *Kaplan*

Turbin *kaplan* merupakan turbin dengan roda jalan yang berfungsi untuk menghasilkan rotasi sehingga pada poros turbin didapatkan nilai torsi (Prasetyo, 2018). Turbin ini memiliki sudu yang dapat disesuaikan dengan kondisi beban turbin. Turbin jenis *Kaplan* dioperasikan pada *head* antara 5-10 m, namun memiliki sumber air dengan debit cukup besar (Raja dkk., 2006). Turbin *kaplan* ini ditunjukkan dengan skema pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Gambar Turbin *Kaplan* (Gibran, 2015)

3. *Vortex*

Turbin *vortex* merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air dalam perannya memutar sudu turbin. Pusaran air yang memutar sudu pada turbin *vortex* ini kemudian menghasilkan energi yang berputar pada porosnya. Tangki turbin sebagai tempat air mengalir untuk masuk kedalam turbin memiliki bentuk lingkaran. Bagian dasar turbin *vortex* memiliki bentuk lingkaran kecil sebagai saluran pembuangan. Saluran buang tersebut menciptakan pusaran air dari air yang dialirkan. Turbin *vortex* ditunjukkan dengan Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Gambar Turbin *Vortex* (Khan, 2016)

Turbin dengan jenis *vortex* ini memiliki 2 bagian antara lain *vortex* paksa (*vortex* berotasi) dan *vortex* bebas (*vortex* tak berotasi) (Gibran, 2015).

1. *Vortex* paksa (*vortex* berotasi)
Vortex yang terbentuk akibat fluida yang dipengaruhi oleh suatu gaya eksternal.
2. *Vortex* bebas (*vortex* tak berotasi)
Vortex yang terbentuk akibat keadaan dan fenomena alam yang natural, fluidanya tidak dipengaruhi oleh gaya eksternal.

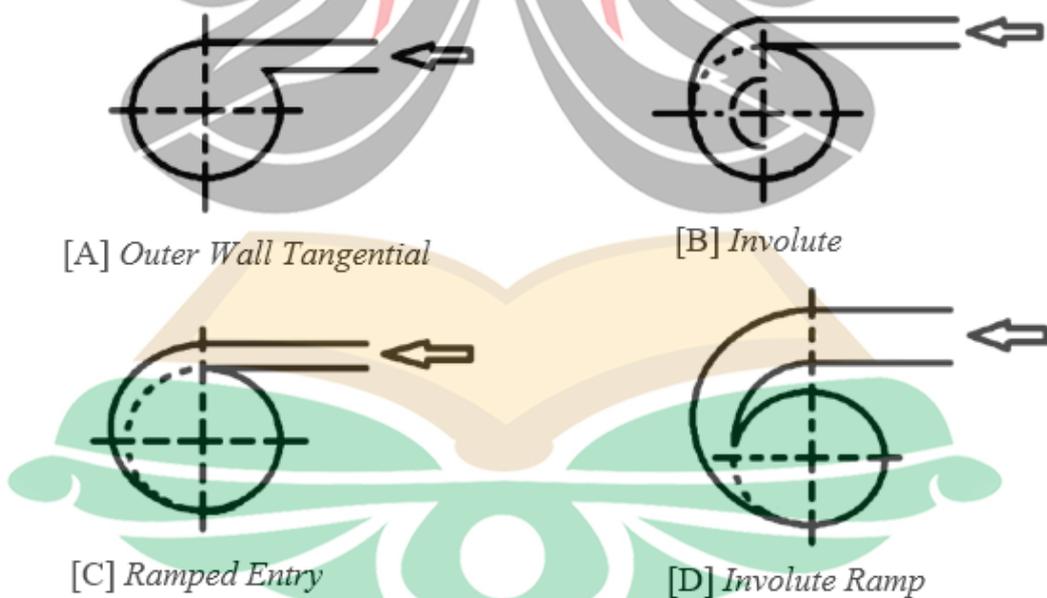
2.3 Penggunaan Turbin *Vortex*

Turbin *vortex* digunakan karena memiliki beberapa keunggulan yang antara lainnya, memiliki konsep yang sederhana sehingga biaya pemasangannya relatif murah, tekanan yang dihasilkan dalam skala rendah sehingga aman bagi benda dan makhluk hidup di sekitar aliran dapat dikembangkan pada sungai yang memiliki debit aliran yang besar tetapi *head* rendah antara (0,7 m hingga 2 m), efisiensi dari hasil pengujian dari *zotlöterer enterprise* lebih baik dibandingkan beberapa jenis turbin yang lain (Mohan, 2016). Turbin *vortex* ini memiliki suatu sistem cara kerja dengan memanfaatkan energi yang terdapat dalam suatu pusaran air. Turbin dengan pemanfaatan energi pusaran air ini memiliki cara kerja dimana air sungai dari tepi sungai dialirkan ke sebuah tangki sirkulasi yang memiliki suatu lubang yang berbentuk lingkaran di bagian dasar. Lingkaran di bagian dasar tangki tersebut memiliki tekanan rendah, tekanan rendah dan kecepatan air yang memasuki titik masuk inilah yang kemudian akan mempengaruhi besarnya aliran *vortex*. Energi

kinetik rotasi kemudian didapatkan dengan mengubah energi potensial di inti *vortex* yang kemudian diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal. Aliran air kemudian dialirkan menuju sungai melalui lubang saluran keluar (Gibran, 2015). Turbin *vortex* memiliki keuntungan dari pada turbin lain yaitu dapat dikembangkan pada daerah sumber air dengan *head* rendah namun memiliki sumber air dengan debit cukup besar. Sistem kontrol yang dimiliki turbin *vortex* lebih sederhana dibandingkan turbin air lainnya sehingga mudah dalam pengaplikasian. Tekanan air yang tidak merusak ekologi seperti kehidupan di dalam air (ikan) dan mikroorganisme lainnya tetap terjaga (Prasetyo, 2018).

2.3.1 Saluran Masuk

Saluran masuk yang terdapat pada turbin terdiri dari beberapa tipe saluran masuk antara lain saluran masuk tipe *involute*, tipe *scroll* dan tipe *ramp*. Tipe-tipe saluran masuk ini akan digunakan dalam meningkatkan kinerja sudu pada turbin menjadi lebih maksimal. Tipe-tipe saluran masuk tersebut akan mereduksi efek dari turbulensi akibat gesekan yang terjadi disekitar dinding. Tipe-tipe saluran masuk dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tipe Saluran Masuk Turbin *Vortex* (Gibran, 2015)

2.3.2 Kelebihan Turbin *Vortex*

Jenis turbin *vortex* digunakan karena lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan turbin air jenis lainnya. Kelebihan utama dalam penggunaan turbin *vortex* yaitu hemat biaya. Turbin ini hemat terhadap biaya pembuatan dan perawatan turbin dibandingkan turbin air jenis lainnya. Rangkaian *draft tube* tidak terdapat pada turbin *vortex* sehingga dapat mereduksi pengeluaran biaya terhadap penggalian pemasangan *draft tube* dan jaring-jaring halus yang digunakan untuk mencegah masuknya puing-puing ke dalam tangki turbin, hal ini akan mereduksi pula biaya terhadap perawatan pada turbin. Kelebihan lainnya yang dimiliki turbin *vortex* yaitu lebih mudah untuk digunakan karena penggunaan turbin *vortex* tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit. Turbin *vortex* ini juga lebih mudah dikembangkan pada daerah dengan *head* yang rendah namun memiliki debit yang cukup besar (Gibran, 2015).

2.4 Parameter Turbin Air

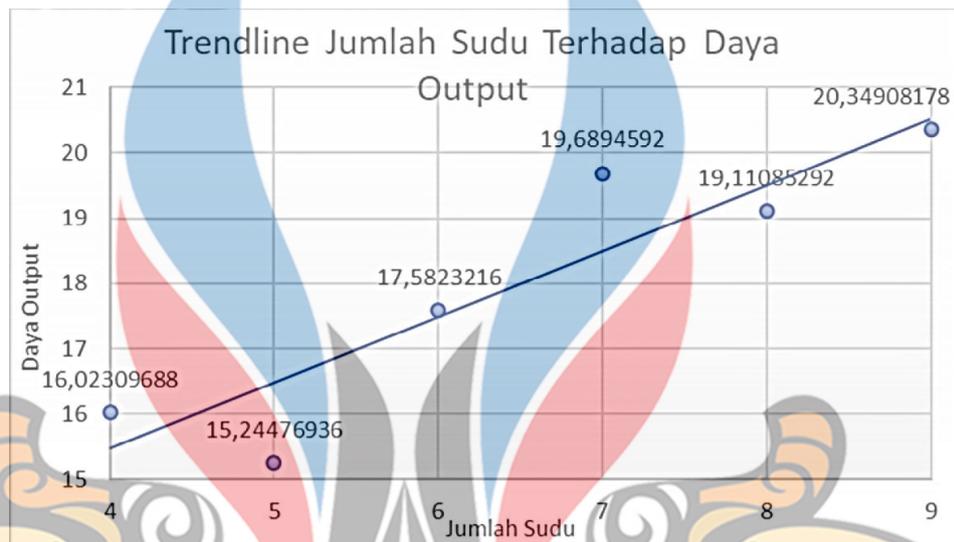
2.4.1 Jumlah Sudu

Jumlah sudu turbin merupakan salah satu variabel yang dapat mempengaruhi putaran dan gaya sentripetal yang menentukan daya dan efisiensi sebuah turbin. Jumlah sudu yang digunakan juga dapat dilakukan penambahan yang dapat meningkatkan putaran dan gaya yang terjadi dan dengan sendirinya meningkatkan daya dan efisiensi turbin (Pietersz, 2013). Beberapa variasi jumlah sudu pada turbin air tipe *vortex* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Variasi Jumlah Sudu Turbin Air Tipe *Vortex* (Rinanda, 2018)

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada turbin air tipe *vortex* dengan variasi jumlah sudu dengan jumlah 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 yang ditampilkan pada Gambar 2.5 didapatkan hasil daya keluaran yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, grafik antara jumlah sudu terhadap daya keluaran (mW) (Rinanda, 2018).



Gambar 2.6 Grafik Jumlah Sudu Terhadap Daya Keluaran (Rinanda, 2018)

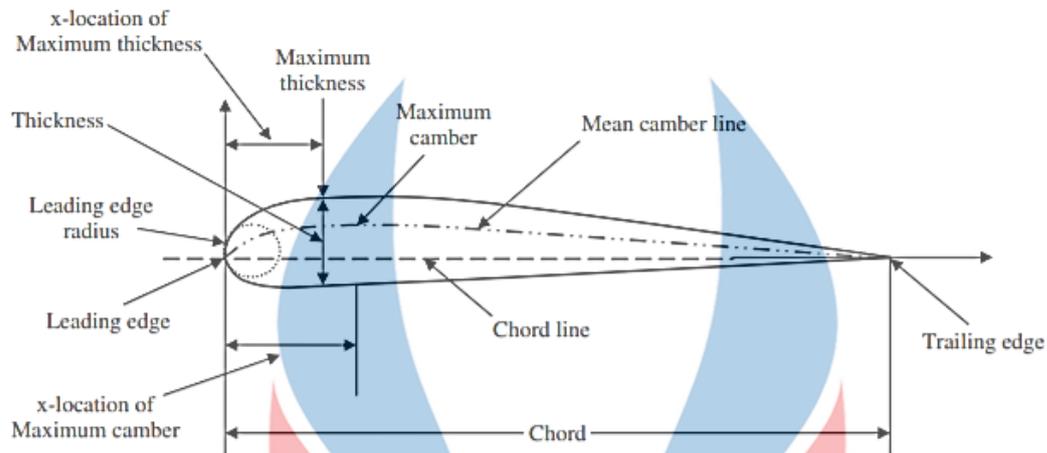
Grafik 2.6 diatas menunjukkan bahwa jumlah sudu 9 menghasilkan daya yang lebih besar yaitu 20×10^6 mW, dan daya keluaran yang terkecil dihasilkan oleh jumlah sudu 4 sebesar 16×10^6 mW, semakin banyak jumlah sudu yang diberikan maka daya keluaran yang dihasilkan turbin akan semakin besar. (Rinanda, 2018).

2.4.2 Bentuk Sudu

Bentuk sudu yang digunakan pada penelitian ini merupakan bentuk sudu *NACA 0018*. *NACA* merupakan salah satu bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya. *NACA 0018* memiliki ketebalan maksimum 0,18c. *NACA 0018* disebut dengan *airfoil* simetris karena tidak memiliki kelengkungan, dengan *chamber line* dan *chord* berhimpit (Mulyadi, 2014). *Airfoil NACA 0018* dipilih dan dianalisis dalam kisaran angka *reynolds* dan kecepatan angin yang diperlukan dalam perangkat lunak *Q-Blade*. Desain *airfoil* yang optimal untuk kondisi kecepatan angin rendah akan menyebabkan efisiensi turbin dapat ditingkatkan untuk memaksimalkan daya

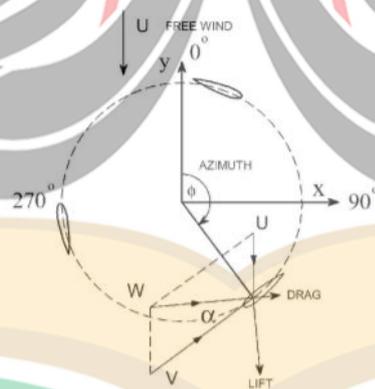
yang dihasilkan (Ponakala, 2017). Gambar 2.7 merupakan bagian-bagian dari *airfoil*.

www.itk.ac.id



Gambar 2.7 Bagian-Bagian *Airfoil* (Sadraey, 2013)

Turbin tipe *lift* adalah turbin yang menggunakan sudu bagian *airfoil*, sudu ini digunakan untuk menghasilkan gaya *lift*. Turbin ini digunakan karena mampu mengubah gaya *lift* menjadi torsi ketika sudu bergerak cukup relatif cepat terhadap aliran bebas. Turbin ini memiliki skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Hantoro dkk., 2011).



Gambar 2.8 Skema Turbin *Darrius* (Hantoro dkk., 2011)

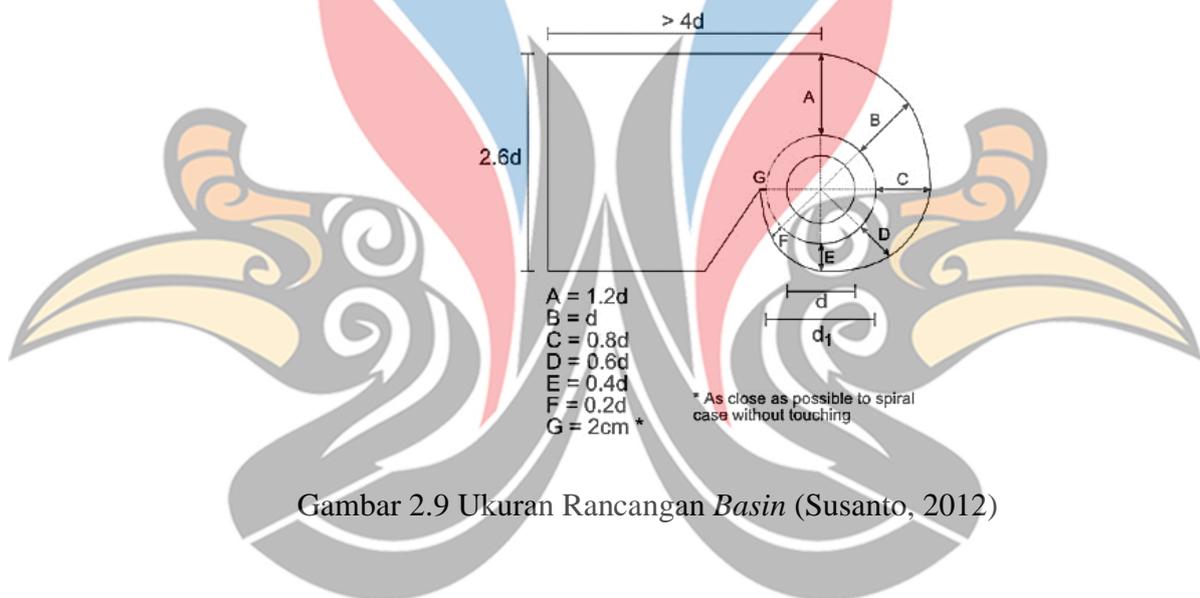
Penelitian sebelumnya yang meneliti tentang pengaplikasian *airfoils* pada turbin angin sumbu vertikal, didapatkan hasil kondisi aliran mempengaruhi kinerja sudu dari turbin. Jenis sudu yang menghasilkan kecepatan aliran yang baik didapatkan jenis sudu *NACA 0018* dikarenakan mempunyai koefisien *lift* bergerak naik seiring

www.itk.ac.id

dengan kenaikan kecepatan aliran, sedangkan pada sudu NACA 0012 dan 0015 koefisien *lift* mulai bergerak naik mulai saat *reynolds* tertentu (Claessens, 2006).

2.4.3 Basin

Basin merupakan cekungan atau tempat dimana aliran air *vortex* terjadi. Penyebab terjadinya aliran air *vortex* pada *basin* disebabkan oleh perbandingan antara diameter pada *outlet* dengan diameter *inlet* yang ada pada *basin*. Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan ukuran *head* sebesar 1,5 m dengan pertimbangan turbin yang bekerja dengan *head* 0,7 – 2 m (Mohanana, 2016). *Basin* yang digunakan pada penelitian turbin air *vortex* menggunakan skema yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Ukuran Rancangan *Basin* (Susanto, 2012)

2.5 Perhitungan Pada Turbin Air

2.5.1 Daya Air (P_{air})

Turbin air memperhitungkan daya air, dimana daya air ini dipengaruhi oleh nilai dari energi potensial (E_{air}) dari air yang dimanfaatkan. Persamaan yang digunakan dalam melakukan perhitungan terhadap energi potensial (E_{air}) tersebut dituliskan sebagai berikut (Afryzal, 2017).

$$E_{air} = m g h \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 sebagai perhitungan energi potensial (E_{air}) terdapat nilai m sebagai massa air (kg), nilai g sebagai percepatan gravitasi (m/s^2) dan h sebagai tinggi dari

nilai *vortex* (m). Daya air kemudian dihitung sebagai energi dalam satuan waktu (t), sehingga dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Afryzal, 2017).

$$P_{\text{air}} = \frac{E_{\text{air}}}{t} \quad (2.2)$$

Pada persamaan 2.2 P_{air} merupakan daya air dalam satuan mW. Persamaan 2.2 untuk menghitung daya air ini kemudian disubstitusikan $\frac{m}{t}$ dengan $\rho \cdot Q$ sehingga persamaan yang digunakan sebagai berikut (Afryzal, 2017).

$$P_{\text{air}} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (2.3)$$

Pada persamaan 2.3 ini, ρ sebagai massa jenis air senilai 997 kg/m^3 , Q sebagai debit aliran air yang memiliki satuan m^3/s , g sebagai percepatan gravitasi bumi senilai $9,8 \text{ m/s}^2$ dan h merupakan tinggi dari nilai *vortex* dalam satuan m (Afryzal, 2017).

2.5.2 Daya Turbin (P_T)

Daya yang dihasilkan dari generator merupakan daya aktual listrik yang dihasilkan dari putaran turbin. Generator akan mengkonversi putaran menjadi energi listrik. Gaya gerak listrik (GGL) yang dihasilkan oleh generator akan menghasilkan tegangan dan kuat arus listrik. Perkalian antara keduanya akan menghasilkan daya aktual listrik turbin yang ditunjukkan pada persamaan berikut (Wiranto, 2016).

$$P_T = V_{\text{out}} I_{\text{out}} \quad (2.4)$$

Nilai P_t adalah daya keluaran generator atau daya aktual listrik dalam satuan mW, V_{out} adalah tegangan listrik dalam satuan *volt* dan I_{out} adalah arus listrik dalam satuan mA. Daya aktual listrik dapat disebut sebagai daya terukur dalam pengujian (P_{Aktual}) (Wiranto, 2016).

2.5.3 Efisiensi (η)

Turbin air ini juga melakukan perhitungan pada nilai efisiensi turbin. Nilai efisiensi turbin dihasilkan dengan mencari perbandingan antara daya yang

dihasilkan turbin (P_T) dengan daya air (P_{air}). Persamaan yang digunakan untuk menghasilkan nilai efisiensi turbin (η_t) adalah sebagai berikut (Afryzal, 2017).

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_{air}} \cdot 100 \% \quad (2.5)$$

Pada persamaan 2.3, η_t sebagai nilai efisiensi turbin, P_T sebagai daya turbin dalam satuan mW yang dihasilkan dari persamaan 2.4 dan P_{air} sebagai daya air dalam satuan mW yang dihasilkan dari persamaan 2.3 (Afryzal, 2017).

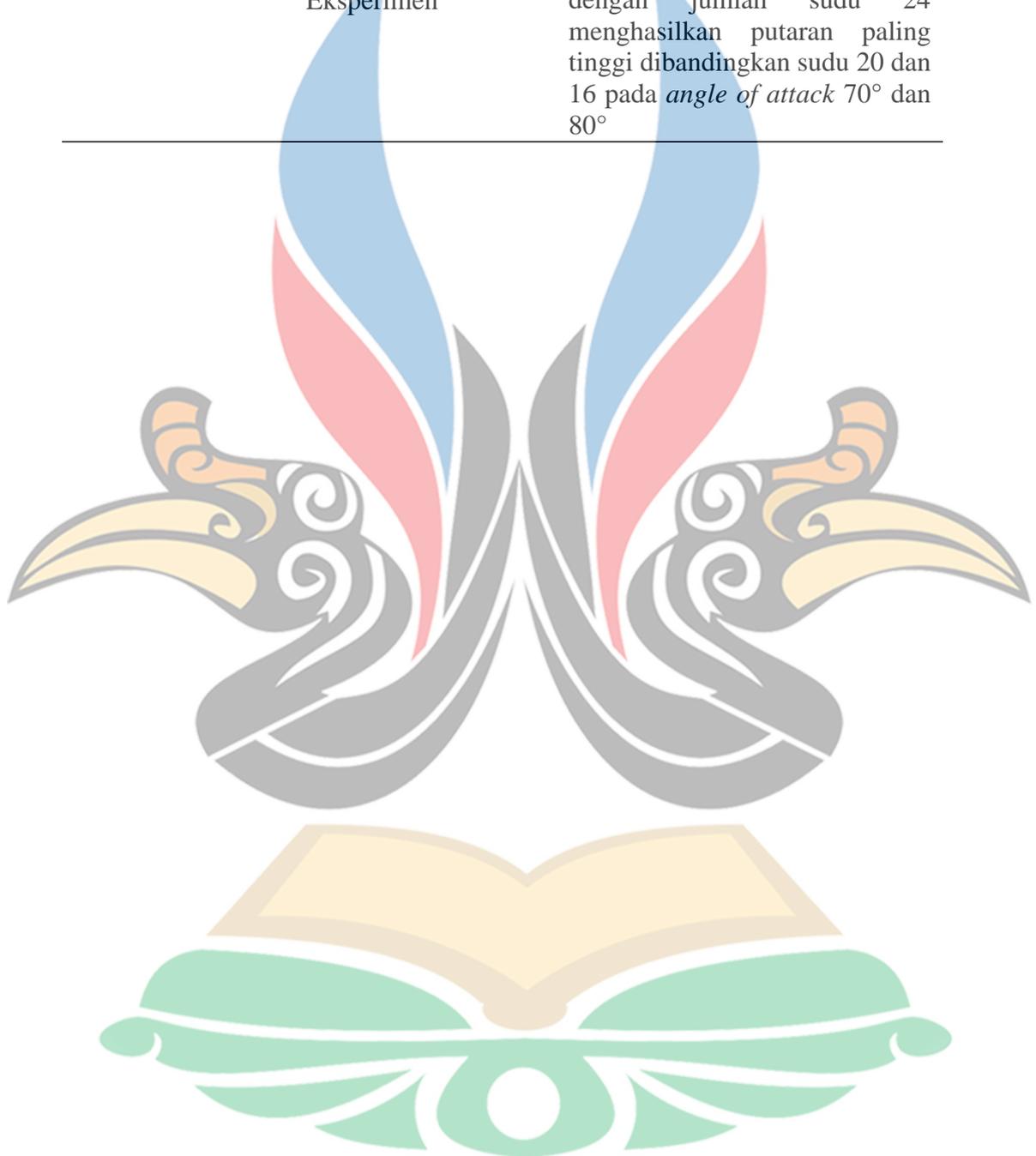
2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian terdahulu yang digunakan bersumber dari beberapa jurnal dan tugas akhir yang memiliki kemiripan konsep dasar. Penelitian terdahulu yang dijadikan referensi kemudian disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Nama dan Tahun Publikasi	Judul Referensi	Hasil
Rizky Agprianda dan Priyo Heru Adiwibowo (2017)	Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Sudu Turbin Reaksi Aliran <i>Vortex</i> Dengan Sudu Profil <i>NACA</i> 0018 Terhadap Kinerja Turbin Metode Pengujian : Eksperimen	1. Digunakan variasi jumlah sudut 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan 90° dengan geometri sudu profil <i>NACA</i> 0018. 2. Daya dan efisiensi tertinggi dihasilkan dari variasi 90° dengan hasil daya sebesar 8,418 W dan efisiensi 25,083%
Vico Rinanda dan Rosyida Permatasari (2018)	Optimasi Desain Turbin Air Tipe <i>Vortex</i> Dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Metode Pengujian : Simulasi	1. Digunakan variasi jumlah sudu 4, 5, 6, 7, 8 dan 9. 2. Efisiensi tertinggi didapatkan pada variasi sudu 9 dengan efisiensi sebesar 64%.
Rijal Surya Rahmany (2017)	Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu dan <i>Angle Of Attack</i> Terhadap Putaran dan Daya pada Model	1. Variasi jumlah sudu 16, 20 dan 24 dengan <i>angle of attack</i> 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , dan 80° 2. Turbin dengan jumlah sudu 20 menghasilkan putaran paling

Nama dan Tahun Publikasi	Judul Referensi	Hasil
	Turbin Air Tipe <i>Crossflow</i> Metode Pengujian : Eksperimen	tinggi dibandingkan sudu 16 dan 24 pada <i>angle of attack</i> 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, dan turbin dengan jumlah sudu 24 menghasilkan putaran paling tinggi dibandingkan sudu 20 dan 16 pada <i>angle of attack</i> 70° dan 80°



www.itk.ac.id