

PEMBUATAN HYDROFOIL TURBIN DARRIEUS

Muharnif M¹, Elvy Sahnur Nasution ²

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
email : elvysahnur@umsu.ac.id

Abstrak

Hydrokinetic water turbines do not require high water pressure (head) to work. Another advantage of the Darrieus turbine is that it is less sensitive to turbulence but sensitive to flow direction. Among some forms of turbine turbine geometry, straight-angled geometry (or H-Darrieus) is more popular due to easier fabrication and simpler construction. The number of blades using the NACA type 0012 H-rotor has the best self-starting effect but not for all azimuth blade positions. If the blade is fixed and unregulated then the angle of charge will change at any time depending on the position of the blade which consequently alters the dynamic force of the water to the blade and therefore tends to occur in the low torque of the tubin and decrease the turbine efficiency. One disadvantage of the Darrieus turbine is its low self-starting torque. So the problem in this research is how the turbine produced performance with variation of the number of blades. The study was conducted to analyze the perforamance of low-speed darrieus turbines shown by self-starting characteristics, dynamic torque, power, and efficiency produced by turbines. The test rig comprises two main components: a model of stream flow made of acrylic and a model of the Darrieus turbine. River models from upstream shelters, canals and downstream water reservoirs. Water from upstream flows into the runner through the incoming side. Then water flowed into the downstream storage basin. In the construction of this model is not munggunakan draft tube. The runner house has a fully enclosed top casing with no draft tube and wall, the water flow rate and Head of water level are set by the feed water pump. The difference between the water level in the upstream reservoir and the water level in the canal is kept constant. Once the above is achieved then it can be tested. The shaft rotation is measured by the rotation sensor and the shaft torque force is measured using a load cell. Experiments carried out with variations of torque loads with constant flow rate of water The manufacture of the Darrieous turbine model testing apparatus has been completed. This model comes with a Data acquisition Tool using arduino UNO with DAQ PLX that works according to plan. In taking the research data

Key word: Darrieus turbine, hydrofoil, manufacture

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini permintaan energi terbarukan semakin tinggi dikarenakan keterbatasan ketersediaan bahan bakar hidrokarbon yang semakin menipis dan pencemaran lingkungan sebagai dampak penggunaan energi tersebut dan menjadi topik perdebatan yang hangat. Sumber energi air merupakan sumber energi bersih (*green energy*) dan menjanjikan untuk dikembangkan sehingga dapat menjamin keberlangsungan kehidupan masa akan datang.

Sumatera Utara memiliki banyak sungai baik yang kecil maupun yang besar dengan kecepatan air sangat bervariasi yang mana ini dapat menjadi potensi energi yang terbarukan, namun potensi ini belum dapat dimanfaatkan. Pembangkit listrik tenaga air sebagai salah satu bentuk energi terbarukan utama. Namun, pembangkit listrik tenaga air yang memiliki tinggi jatuh air yang tinggi biasanya memerlukan dam dan sangat sulit untuk diterapkan dan memberikan dampak yang sangat luas terhadap sistem ekologi. Energi kinetik yang di peroleh dari air yang mengalir dapat memanfaatkan dan di gunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik.

Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir atau turbin air yang memanfaatkan adanya aliran air sungai maupun aliran arus laut. Selain itu, Turbin darrieus merupakan salah satu jenis turbin *hydrokinetic* yang tidak memerlukan tinggi tekanan (*head*) air agar dapat bekerja. Keuntungan lain dari turbin darrieus adalah turbin tersebut kurang sensitif terhadap turbulensi tetapi sensitif terhadap arah aliran. Diantara beberapa bentuk geometri turbin sudu turbin darrieus, geometri sudu lurus (atau H-Darrieus) lebih sering digunakan disebabkan pembuatannya lebih mudah dan konstruksinya yang lebih sederhana. (Dominy dkk, 2007) dalam penelitiannya menyatakan bahwa jumlah sudu H-rotor memiliki efek *self starting* yang paling baik namun tidak untuk semua posisi *azimuth* sudu. Rotor turbin Darrieus jenis H yang menggunakan *airfoil* sudu tidak simetris memberikan hasil koefisien torsi statis yang tinggi untuk setiap sudut *azimuth* semua kondisi soliditas rotor (M.A. Singh dkk, 2014). Efek pembalikan arah aliran air tidak mempengaruhi pada daya yang dihasilkan oleh turbin. Namun pitch negatif (relatif terhadap tangen dari lingkaran pitch) meningkatkan daya yang dihasilkan oleh turbin (R.A. McAdam dkk, 2009).

Bila sudut dipasang tetap dan tidak diatur maka sudut serang akan berubah setiap saat bergantung dengan posisi dari sudu tersebut yang akibatnya merubah gaya dinamik air terhadap sudu dan oleh karena itu cenderung terjadi *starting torque* turbin yang rendah dan penurunan efisiensi turbin. Salah satu kelemahan turbin Darrieus adalah rendahnya *self-starting torque*. Dari uraian diatas dapatlah dibuat rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana performance yang dihasilkan turbin dengan variasi jumlah sudu. Tujuan dari penelitian ini adalah yaitu untuk menganalisa *performamance* turbin darrieus kecepatan rendah yang ditunjukkan dengan karakteristik *self-starting*, torsi dinamis, daya, dan efisiensi yang di hasilkan turbin. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan informasi-informasi memadai dan bermanfaat bagi pengembangan khasanah dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan turbine darrieus

2.TINJAUAN PUSTAKA

1 Pengertian Turbin air

Turbin air di kembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk tenaga listrik. Turbin air adalah turbin dengan media kerja air. Secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu-sudu tetap atau *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengarahkan kecepatan aliran air sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak *compresibel*, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan.

(Kaprawi Dkk, 2011) mengatakan perbandingan profil sudu NACA 0015 dan 0020 mempunyai kinerja yang sangat baik. Begitu juga pada jenis sudu tak-simetris 4420 dapat di simpulkan bahwa apabila pemasangan sudu menghadap kedalam maka efisiensinya lebih kecil di bandingkan apabila menghadap keluar.

Turbin air memiliki keterbatasan untuk mengkonversi energi kinetik fluida ke dalam bentuk energi yang menggerakkan motor tidak dapat melebihi 59,3%. Batasan ini tidak ada kaitanya dengan efisiensi generator akan tetapi lebih kepada parameter turbin itu sendiri. Batasan ini kemudian dikenal dengan *betz limit*.

(Shiono dkk, 2002) mengatakan bahwa turbin darrieus yang diaplikasikan untuk konversi energi arus laut akan lebih efektif apabila model sudunya berbentuk *helical*. Hal ini berdasarkan tujuh model turbin yang diuji coba dengan membandingkan performa model sudu lurus dan model *helical*. Untuk model *helical* efisiensi yang baik dengan soliditas turbin sebesar 0,4.

Sudu turbin berputar dengan memanfaatkan gaya *drag*, fluida untuk mendorong sudu turbin yang berbentuk cembung terhadap arah aliran datangnya fluida. Gaya fluida ini juga akan mendorong sudu yang berbentuk cekung terhadap arah aliran fluida. Gaya *drag* yang bekerja pada bagian cekung ini lebih kecil daripada bagian cembung, sehingga gaya *drag* pada bagian cekung ini bekerja melawan putaran turbin dan ini yang berakibat efisiensi/ turbin.

Mekanisme kerja turbin Darrieus memanfaatkan gaya *lift*. Gaya *lift* yang dihasilkan oleh sudu turbin didapat dari kecepatan sudu turbin yang kemudian mengakibatkan resultan gaya, karena hal ini maka turbin yang memanfaatkan mekanisme gaya *lift* hanya dapat bekerja dengan baik pada kecepatan fluida yang dapat membuat turbin berputar dan menghasilkan kecepatan sudu. Setelah turbin berputar maka efisiensi yang dihasilkan dapat menjadi lebih baik. Perlakuan untuk mencapai kondisi tunak dengan memberikan putaran awal pada poros turbin.

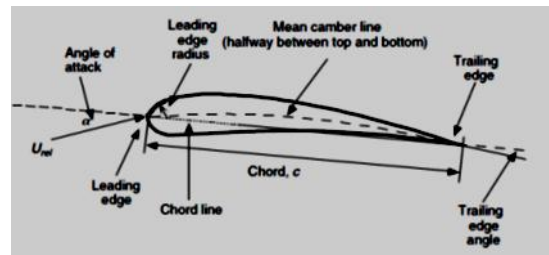
2.2 Hydrofoil

Hydrofoil digunakan terutama untuk menghasilkan gaya *lift* yang bekerja pada turbin angin atau pun air agar dapat berputar. Saat ini salah satu referensi untuk pemilihan *hydrofoil* yang populer adalah profil *hydrofoil* yang dibuat oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Pengujian yang dilakukan oleh NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan serta pengujiannya dilakukan pada berbagai bilangan *Reynolds*. Setiap bentuk *Hydrofoil* NACA mempunyai parameter-parameter tersendiri sesuai dengan pengaplikasiannya.

Parameter-parameter yang telah ditentukan menurut standart NACA seperti pada gambar 1 adalah:

1. Panjang *cord* (c)
2. Maksimum *camber* (f) atau *camber ratio* (f/c) dalam %
3. Posisi maksimum *camber* (X_f)
4. Ketebalan maksimum *Hydrofoil* (t)

5. Posisi maksimum ketebalan (t)
6. Radius *nose* (rN)
7. Koordinat *Hydrofoil* $Z_u (X)$ bagian atas dan $z_i (X)$ bagian bawah.



Gambar 2.1 Bentuk profil sudu *Hydrofoil*.

Untuk hydrofoil yang simetris, maka sudu diberikan dengan persamaan berikut :

$$y = \pm \left(\frac{t}{c} \right) \cdot (1,4845 \cdot x^{1/2} - 0,63 \cdot x^2 - 1,578 \cdot x^2 + 1,4215 \cdot x^3 - 0,5075 \cdot x^4)$$

Dimana : t adalah tebal maksimum sudu adalah lebar sudu (*chord length*).

Ketika sebuah benda bergerak melalui fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi, efek ini dapat di gambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar muka fluida benda. Gaya resultan dalam arah yang sama dengan kecepatan hulu disebut sebagai *drag*, dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai *lift*. Secara prinsip, kerja turbin air Darrieus ditunjukkan pada Gambar 2 Sudu pada turbin ini pada umumnya berbentuk *hydrofoil* simetris yang memenuhi standard NACA. Air yang dengan kecepatan U menabrak sudu mengakibatkan *lift* yang merupakan gaya tangensial yang membentuk torsi agar turbin berputar. Turbin akan berputar dengan kecepatan v dan akibat kedua gerak ini maka terdapat gerak relatif W . arah *lift* akan tegak lurus dengan arah kecepatan relative. *Lift* (L) inilah yang menimbulkan torsi pada rotor turbin sehingga turbin dapat berputar. *Drag* (D) adalah tahanan dari sudu untuk bergerak.

Kecepatan air akan mempengaruhi efisiensi dari turbin yang mana semakin tinggi kecepatan semakin tinggi efisiensinya. Jadi salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin adalah kecepatan air. Semakin besar kecepatan air maka efisiensi semakin naik. Soliditas turbin darrieus dirumuskan dengan :

$$\sigma = \frac{nC}{\pi d} \quad (2)$$

Dengan n adalah jumlah sudu, C adalah lebar sudu (*cord*), d adalah diameter turbin.. Soliditas Turbin juga mempengaruhi kinerja turbin darrieus dan hasilnya menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi maksimum sedikit berbeda namun pengaruhnya terhadap λ yang mana lebar C akan membatasi batasan pemakaian untuk λ tertentu saja.

2.3 Daya Air dan Turbin

Besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin darrieus merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran air. Untuk mengetahui daya turbin Darrieus terlebih dahulu harus diketahui vektor gaya dan kecepatan pada *hydrofoil* nya. Daya keluar poros turbin adalah daya yang output

yang dihasilkan oleh turbin. Daya inilah yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik apabila digunakan untuk pembangkit listrik. Secara umum daya dihitung dengan rumus berikut :

$$P = F.U \quad (3)$$

Dimana F merupakan gaya tangensial yang memutar rotor turbin sedangkan U merupakan kecepatan tangensial dari rotor turbin atau sudu. Karena rotor turbin bergerak lingkaran maka $U = r.\omega$ yang mana r adalah radius turbin dan ω adalah kecepatan sudut turbin [rad/s]. dengan demikian persamaannya ditulis :

$$P = F.\omega.r \quad (4)$$

Persamaan (1) dapat dihubungkan dengan torsi T yang mana dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F.r \quad \dots\dots (5)$$

Persamaan (1) dan (2) memberikan hubungan berikut :

$$P = T.\omega \quad (6) \quad \text{Hubungan antara daya turbin dengan daya air masuk ke turbin dinyatakan sebagai koefisien daya atau Power Coefficient (CP).}$$

$$C_p = \frac{P_{rotor}}{P_{air}} \quad (7)$$

Daya air sebagai daya input ke turbin adalah energi kinetik aliran air dengan kecepatan V yang menabrak rotor turbin dengan bidang turbin A diberikan oleh hubungan berikut :

$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (8)$$

Dengan demikian maka *Power Coefficient* (C_p) menjadi :

$$C_p = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (9)$$

Koefisien torsi dari turbin dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_r = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho V^2 A r} \quad (10)$$

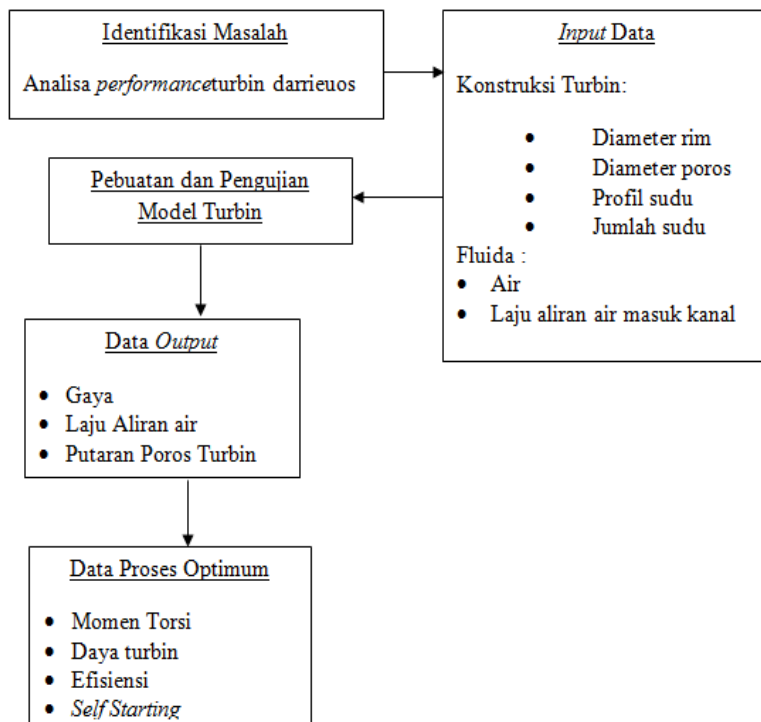
Dimana : A adalah luas sudu
 r adalah radius turbin

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium Fenomena Dasa Mesin program studi teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian ini didasarkan pada identifikasi permasalahan yaitu peningkatan performance turbin darrieus dipengaruhi oleh jumlah sudu yang merupakan variabel bebas penelitian. Sedangkan performance turbin darrieus merupakan variabel terikat penelitian ditunjukkan oleh momen torsi, daya turbin, efisiensi Serta *Self Starting*. Data input dari penelitian ini meliputi data kontruksi turbin dan data-data fluida. Setelah parameter turbin diketahui dilanjutkan pembuatan turbin dan pengujian yang akan memberikan *out put* data penelitian. Data penelitian yang diperoleh diolah untuk mendapatkan parameter *output* kemudian dianalisa dengan analisa statistik *oneway ANNOVA* untuk melihat hubungan antara variabel bebas dan varabel terikat penelitian. Adapun kerangka konsep penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian

3.2 Rancangan Alat Penelitian

Rancangan model turbin darrieus didasarkan atas perhitungan teoritis dimana dimensi dipilih sesuai dengan variabel yang diharapkan, dan beberapa data-data asumsi yang dipilih dan ditetapkan. Dimensi utama (data konstruksi) turbin

3.4 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk mendukung proses analisa ini adalah :

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini terdiri atas:

1. Pompa sirkulasi, untuk mengalirkan air dari tangki penampungan ke kanal dengan data-data teknis:
 - a. Model: AQVA 125 B
 - b. Head, $H = 33$ m
 - c. Kapasitas, $Q = 42$ l/menit, Daya, $P = 125$ W
 - d. Putaran, $N = 2850$ rpm

2. Katup *bypass*, untuk mengatur kapasitas aliran air menuju alat uji
3. Tangki penampungan air tempat untuk menampung sirkulasi air
4. Kanal terbuat dari akrilik sebagai tempat penyalur air atau model sungai.
5. *Flow meter* air, untuk mengukur laju aliran air panas menuju APK tipe Kompak dengan keakuratan pembacaan $\pm 2\%$.
6. Katup kontrol, untuk mengatur laju aliran air yang mengalir
7. Arduino PLX Data Acquisition sebagai perekam data pengujian
8. Katup, *elbow*, *water mur* dan sambungan pipa
9. Bak Penampungan air terbuat dari akrilik

Susunan beberapa komponen peralatan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *set-up* alat uji yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 3.

3.5 Pengambilan data

Test rig terdiri dua komponen utama yaitu model aliran kanal yang terbuat dari akrilik seperti pada Gambar 5 dan model dari turbin darrieus seperti pada Gambar 4 . Model kanal terdiri dari bak penampungan hulu, kanal dan penampungan air di hilir. Air dari hulu mengalir memasuki bagian runner melalui sisi masuk nozzle dengan lebar $S_{in} = 200$ mm ($S_{in}/D = 0.80$) dan tinggi $B = 150$ mm. Kemudian air dialirkan ke kolam hilir. Pada konstruksi model ini tidak menggunakan *draft tube*. Diameter lingkaran pitch runner $D = 140$ mm dilengkapi rumah runner. Rumah runner memiliki casing atas tertutup seluruhnya tanpa *draft tube* dan dinding, Laju aliran air dan Head ketinggian air H_t diatur oleh pompa air umpan. Perbedaan antara ketinggian air didalam bak penampungan hulu dan ketinggian air didalam kanal dijaga konstan.

Model turbin terbuat dari epoxy resin sudu digunakan jenis sudu simetris NACA0018 dengan pertimbangan untuk mengurangi efek *stall* dan karakteristik kavitasi dan efek ruang, disebabkan oleh gerakan berputar melingkar dari sudu turbin Darrieus. Putaran sudu turbin Darrieus, yang memiliki terkemuka dan tepi belakang berdiri keluar dari lingkaran pitch sudu, setara dengan pisau cambered stasioner dalam aliran seragam. Sebaliknya, sudu Darrieus dengan kelengkungan sama sebagai lingkaran pitch setara dengan sudu simetris stasioner [2]. rasio panjang chord sudu radius runner pitch lingkaran $l/R = 0.3$, (2) sudu pengaturan bersinggungan dengan lingkaran pitch di titik pertengahan chord, (3) piring dipasang pada ujung sudu untuk kedua tepi sudu Darrieus, (4)

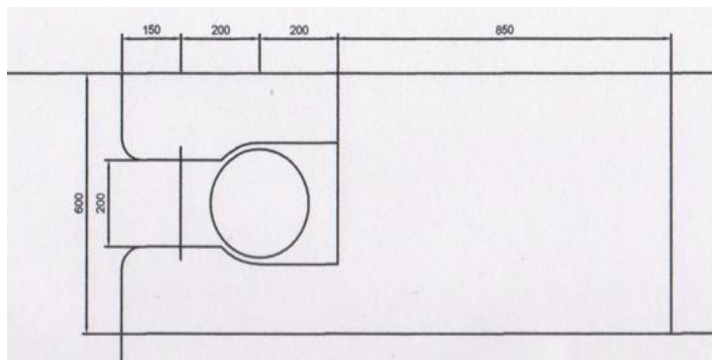
efisien pendukung lengan. Dalam percobaan ini, dilakukan pada kondisi operasi normal dengan head ketinggian air 4,6 cm.

Setelah hal tersebut diatas tercapai maka dapat dilakukan pengujian. Putaran poros diukur dengan sensor putaran dan gaya torsi poros diukur dengan menggunakan *load cell*. Percobaan yang dilakukan dengan variasi beban-beban torsi dengan laju aliran air yang konstan. Tinggi tekan air atau head ketinggian air hilir dikendalikan oleh pintu air. *Runner* ditempatkan di bawah permukaan air sedalam 30 cm untuk mendapatkan kondisi operasi yang lebih baik

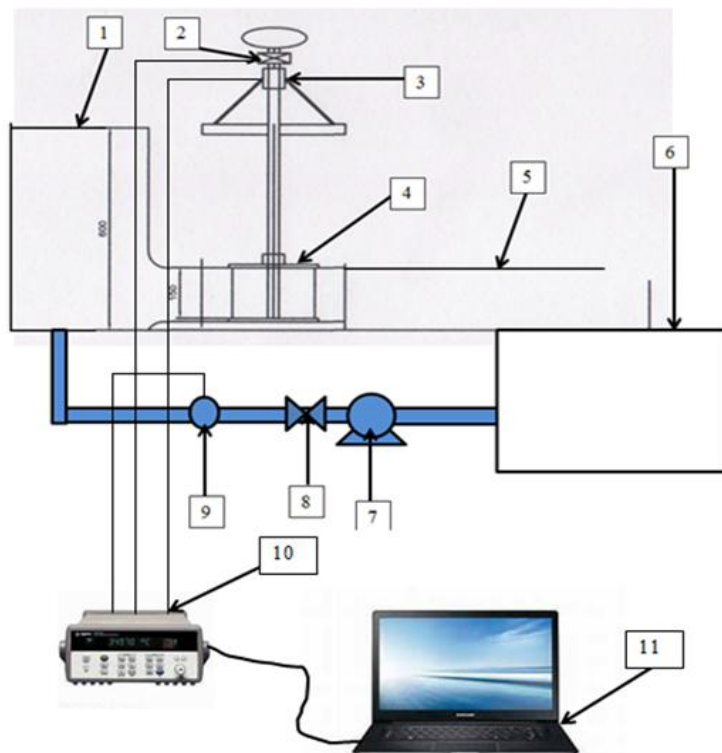
Penelitian ini mengkaji pengaruh jumlah sudu terhadap putaran dan performa (efisiensi) turbin Darrieus tipe H. Turbin yang digunakan memiliki spesifikasi dengan Sudu yang berseri NACA 0015, berdiameter $d = 300$ mm dan panjang

$L = 300$ mm yang mempunyai $B = 3$ dan 4 sudu. Pengukuran dilakukan dalam saluran kanal dengan laju kapasitas aliran berkisar 1,43 liter perdetik dengan kecepatan aliran 2,16 m/s. Untuk melihat kondisi optimal dari jumlah sudu, dilakukan variasi sudut serang pada kecepatan aliran $V1 = 1,43$ m/s turbin 3.

Dalam penelitian ini terdapat tiga variable, yaitu variable bebas variable kecepatan aliran air. Variable terikat yaitu Daya poros, Torsi dan efisiensi yang dihasilkan turbin. Sedang variable terkontrol adalah jumlah sudu tiga buah.



Gambar 3.6 Rancangan model kanal



Gambar 3.7 Rancangan model dari aliran sungai

Keterangan Gambar

- | | | | |
|---|--------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Bak Penampungan Air Hulu | 6 | Bak Penampungan Air Hilir |
| 2 | Sensor Gaya | 7 | Pompa Sirkulasi |
| 3 | Sensor Putaran | 8 | Katup Pengontrol |
| 4 | Turbin Darrieus | 9 | Data Aquisisi |
| 5 | Kanal | 10 | Laptop |

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

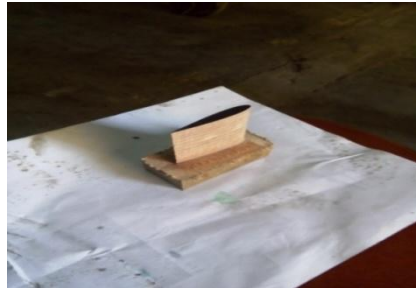
Untuk metode pembuatan sudu dilakukan dengan beberapa tahapan. Dimulai dari tahap pembuatan cetakan, perencanaan ukuran seperti pada gambar 7 hingga inspeksi ukuran dari hasil penuangan yang dilakukan. Berikut tahapan - tahapan yang dilakukan dalam melakukan proses pembuatan.

4.1 Tahapan Persiapan atau Perencanaan Awal.

Pekerjaan yang merencanakan seluruh kegiatan baik perencanaan teknik (perencanaan bentuk, ukuran cetakan, perhitungan biaya produksi dan lain-lain) maupun perencanaan waktu.

A. Pembuatan Pola

Pola yang berfungsi sebagai media atau alat untuk membuat rongga cetak pada cetakan. adapun dalam proses ini menggunakan pola yang terbuat dari kayu dikarenakan jumlah produk yang dihasilkan dalam jumlah kecil. Pola ini dibentuk dengan menggunakan mesin CNC dengan ukuran panjang sudu 50 mm, tinggi 51 mm dan tebal 8mm seperti pada Gambar 8



Gambar 4.1 Pola cetakan yang terbuat dari kayu

B. Proses Pembuatan Wadah Cetakan.

Wadah cetakan berfungsi sebagai penampungan cairan ketika dituang. Bentuk wadah berbentuk persegi empat yang mengikuti bentuk pola agar rongga dari cetakan dapat terbentuk sesuai pola seperti pada Gambar 9



Gambar 4.2 Proses pembuatan wadah cetakan

C. Proses Penuangan Cetakan

Proses penuangan ini adalah proses memasukan cairan *silicone* kedalam rongga yang terdapat pada wadah. Proses ini dilakukan dengan cepat agar cairan tidak mengental. Untuk menjamin bentuk cetakan yang pas, penuangan dilakukan dengan pelan dan perlahan-lahan seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Proses penuangan *silicone*

D. Proses Pembongkaran

Setelah proses penuangan selesai, cetakan didiamkan selama 20 - 30 menit sampai cairan *silicone* mengeras dan dingin. Selanjutnya wadah tersebut dipecah untuk mendapatkan atau memisahkan *silicone* yang sudah mengeras dari wadahnya. Ukuran cetakan *silicone* ini memiliki panjang 69 mm, tinggi 64 mm dan tebal cetakan 35 mm seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Proses pembongkaran cetakan

E. Proses Pelapisan.

Selanjutnya setelah proses pembongkaran, cetakan di diamkan selama 15 menit dan kemudian melakukan Pelapisan dengan *mirror* pada cetakan yang bertujuan untuk melicinkan cetakan agar cetakan tidak menyatu atau lengket pada cairan yang akan dituang. Saat melakukan pelapisan *mirror* harus di oleskan secara merata dan melakukan pengelapan agar bahan yang di cetak tidak kasar atau bergelembung seperti pada Gambar 5.



Gambar 4.5 Proses pelapisan mirror

F. Proses Pencampuran Resin

Pencampuran ini sangatlah penting dalam proses pembuatan sudu turbin. Oleh karena itu, pada proses pencampuran ini harus memilih wadah yang bersih dan ukuran yang pas. Perbandingan pencampuran antara resin dan katalis yaitu 1 : 1/40, jika resin nya 2 liter maka katalis nya 50 cc seperti pada Gambar 13.



Gambar 4.6. Proses pencampuran resin dan katalis

G. Proses penuangan resin

Penuangan adalah proses memasukan cairan resin kedalam rongga cetak yang terdapat pada cetakan. penuangan harus dilakukan ditempat yang rata agar hasil cetak sesuai dengan cetakan seperti pada Gambar 14



Gambar 4.7. Proses penuangan kedalam cetakan

H. Proses Pembongkaran Resin

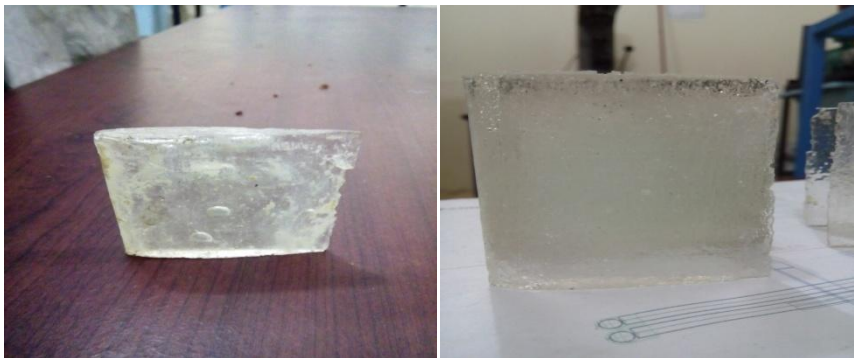
Setelah proses penuangan selesai, pembongkaran antara resin dan cetakan dilakukan kembali, cetakan didiamkan selama 20 - 30 menit sampai cairan mengeras dan mendingin. Selanjutnya cetakan tersebut ditekan bagian bawahnya agar cairan yang sudah mengeras dapat ditarik dan dilakukan penjemuran lagi agar cairan benar - benar keras seperti pada Gambar 48.



Gambar 4.8. Pembongkaran resin

4.2 Pembersihan hasil cetak resin

Dalam proses ini resin yang sudah mengeras dibersihkan dari lapisan *mirror* yang masih melekat pada resin dengan menggunakan bensin dan kuas sampai bersih sehingga terlihat jelas akhir dari bentuk resin yang kita hasilkan. Resin yang sudah mengeras inilah yang akan digunakan sebagai sudu turbin *darrieus* dengan panjang sudu 50 mm, tebal sudu 51 mm dan tinggi sudu 51 mm seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Proses pembersihan resin dan hasil resin

Inspeksi atau Pemeriksaan

Setelah melalui tahapan – tahapan tersebut selanjutnya resin yang sudah dihasilkan diperiksa untuk memastikan apakah resin tersebut benar – benar sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan meliputi ukuran, bentuk, dan cacat yang terjadi pada resin.

Proses *Finishing* pada Resin

Setelah resin benar – benar dingin dan bersih selanjutnya resin dapat dilakukan finishing. Proses finishing sendiri berfungsi untuk merapikan dan mempertegas bentuk asli cetak resin tersebut. Proses finishing ini dilakukan secara berganda. Tahap awal dilakukan proses pengamplasan pada bagian permukaan yang kasar. Setelah proses pengamplasan selesai, dilanjutkan dengan proses pengecatan dengan *poxi* agar permukaan yang berpori tertutupi dan mendapatkan hasil yang mulus.

4.3 Tahap Perakitan Turbin

A. Tahap pemasangan *bearing* dengan poros

Langkah pertama dalam perakitan turbin ini adalah merangkai pemasangan bearing dengan poros pipa stainless seperti pada Gambar 17. Diameter ukuran poros 17 mm dengan bearing seri 6203 yang berdiameter luar 40 mm dan tebal bearing 12 mm

B. Pemasangan dudukan kayu

Pemasangan dudukan kayu pada *bearing* seperti pada Gambar 18 dimulai dengan langkah pertama yaitu pengeboran dan pembubutan kayu sesuai dengan ukuran *bearing* nya. Ukuran diameter lubang dudukan

bearing 40 mm, diameter lubang dalam 20 mm, diameter kedalaman dudukan bearing 15 mm, lebar dudukan *kanal* 24 mm dan kedalaman dudukan *kanal* 22 mm.



Gambar 4.11. Pemasangan bearing pada dudukan

C.Dudukan sudu.

Bahan yang digunakan untuk dudukan sudu adalah akrilik seperti pada Gambar 19 . Akrilik ini dibentuk melingkar dengan ukuran diameter 140 mm, tebal akrilik 3 mm dan lubang poros pada akrilik berukuran 17 mm.



Gambar 4.12. Dudukan sudu

D.Perangkaian Sudu Dengan DudukanSudu

Setelah dudukan sudu telah dibentuk, selanjutnya pemasangan sudu ke dudukan dilakukan dengan menggunakan lem G seperti pada Gambar 20



Gambar 4.13 Perangkaian Sudu

E.Pemasangan Poros dengan Sudu Turbin

Setelah sudu selesai dirangkai, selanjutnya pemasangan poros dengan dudukan sudu yang sudah dirangkai. Proses ini dapat dilihat pada gambar 21



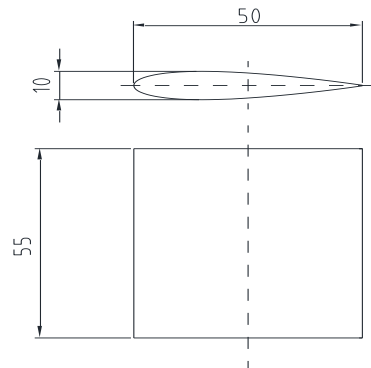
Gambar 4.14 Pemasangan Poros Ke Dudukan Sudu

F.Hasil Akhir Pembuatan

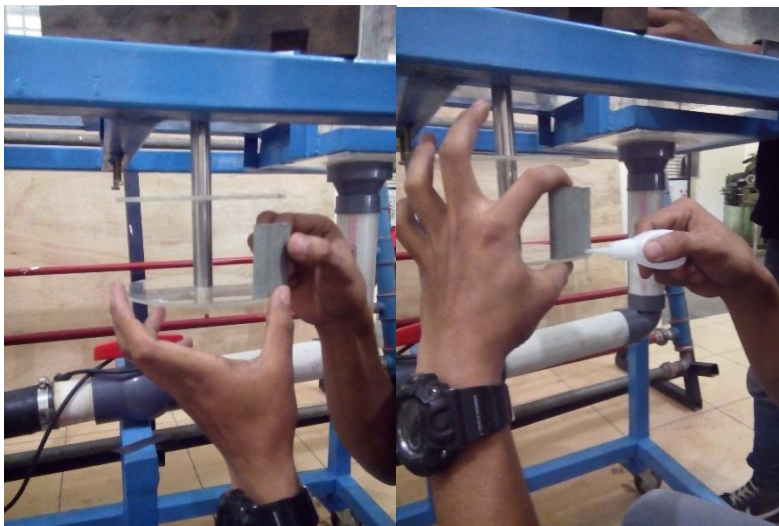
Berikut ini adalah hasil akhir turbin *darrieus* seperti pada Gambar 22



Gambar 4.15 Turbin *darrieus*



Memasang sudu - sudu pada akrilik yang sudah di pasang ke poros.
Pemasangan sudu-sudu pada akrilik sesuai letak pola lalu mengelompoknya menggunakan lem G (*altiko*) seperti pada Gambar 4.17



Gambar 4.17 Pemasangan sudu-sudu.
Hasil dari perakitan turbin *darrieus* NACA 0020.



Gambar. 4.18 Turbin darrieus NACA 0020.

4.3 Pembuatan Instrumen alat ukur torsi dan putaran

A. Loadcell

Load cell seperti pada Gambar 26 adalah komponen utama pada sistem timbangan digital. Tingkat keakurasian timbangan bergantung dari jenis *load cell* yang dipakai. Sensor *load cell* apabila diberi beban pada inti besi maka nilai resistansi di strain gauganya akan berubah yang dikeluarkan melalui empat buah kabel. Dua kabel sebagai eksitasi dan dua kabel lainnya sebagai sinyal keluaran ke kontrolnya. Sebuah *load cell* terdiri dari konduktor, *strain gauge*, dan *wheatstone bridge*.

Keluaran dari sensor *load cell* terdiri dari empat kabel yang berwarna merah, hitam, biru, dan putih. Kabel merah merupakan input tegangan sensor dan kabel hitam merupakan *input ground* pada sensor. Tegangan input dari sensor ini maksimal sebesar 18 volt. Kabel warna biru / hijau merupakan output positif dari sensor dan kabel putih adalah *output ground* dari sensor. *Output sensor load cell* berupa tegangan. Nilai tegangan output dari sensor ini sekitar 1 mV.



Gambar 4.19 Load Cell

B. Photoelectric Counter Module

Photoelectric Counter Module seperti pada Gambar 27 adalah sensor yang bekerja dengan prinsip seperti transistor sebagai saklar. Energi cahaya akan diubah menjadi suatu sinyal listrik. Adanya suatu *reflector* yang berfungsi untuk memantulkan cahaya yang dipancarkan oleh *photoelectric*



Gambar 4.20 Photoelectric counter module

C. Arduino Uno

Mikrokontroler merupakan keseluruhan sistem komputer yang dikemas menjadi *chip* yang di dalamnya sudah terdapat mikroprosesor, I/O, memori bahkan ADC.

Arduino uno seperti pada Gambar 28 adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai *output PWM* dan 6 *pin input analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi *usb*, *jack power*, *ICSP header*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board arduino uno* ke computer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang ke *adaptor -DC* atau baterai untuk menjalankannya.



Gambar 4.21 Arduino Uno

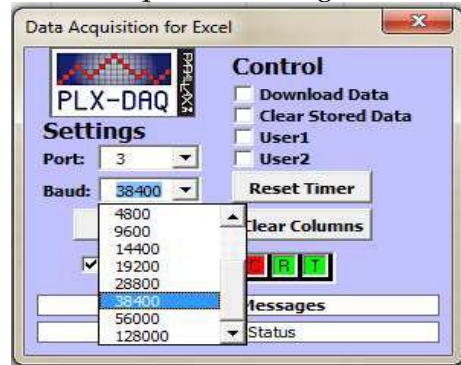
- 14 *pin input/output digital* (0-13), berfungsi sebagai input atau *output* dapat diatur oleh program.

- USB berfungsi untuk memuat program dari computer kedalam papan serta dapat pula digunakan untuk komunikasi serial antara papan dan komputer.
- Q1 - Kristal (*Quartz Crystal Oscillator*) , jika sebuah mikrokontroller dianggap sebagai sebuah otak , maka Kristal adalah jantungnya karena komponen ini menghasilkan detak - detak yang dikirim kepada mikrokontroller agar melakukan sebuah operasi untuk setiap detaknya.
- Tombol Reset S1 berfungsi untuk me-reset papan sehingga program akan mulai lagi dari awal , namun tombol reset ini tidak dapat digunakan untuk fungsi menghapus program atau mengosongkan mikrokontroller.
- IC 1 - Mikrokontroller Atmega 328 yaitu komponen utama dari papan arduino uno yang didalamnya terdapat CPU, ROM dan RAM.
- X1 - Sumber Daya Eksternal berfungsi untuk memberikan daya eksternal dengan sumber tegangan 9 -12V DC.
- 6 Pin Input Analog, Pin ini sangat berguna untuk membaca tegangan yang dihasilkan oleh sensor analog, seperti sensor suhu. Program dapat membaca nilai sebuah pin input antara 0 - 1023 , dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 -5V.

4.4 Sistem Akuisisi Data

Pada instrument ini sistem akuisisi seperti pada Gambar 29 dan 30 data menggunakan aplikasi yang bernama *PLX-DAQ*, *PLX-DAQ* adalah *free software* yang digunakan penulis untuk mencatat *dataserial* yang dikirim oleh *arduino uno* ke komputer (Parallax, 2012). Berikut contoh format *data serial* yang dikirimkan agar *PLX-DAQ* mencatat *data* di *microsoft excel* sesuai keinginan. Untuk memakainya pertama-tama harus menentukan *baudrate* yang akan digunakan, *baudrate* ini harus dicocokkan dengan *baudrate* pada *program PLX-DAQ*, sebagai contoh jika pada *arduino uno* dikonfigurasi *baudrate* dengan nilai 38400, maka pada *software PLX-DAQ* juga harus menggunakan *baudrate* yang sama. Label digunakan untuk menentukan *header* pada kolom, untuk pindah ke Kolom selanjutnya digunakan tanda koma (,) sebagai contoh ketika ingin menulis waktu pada kolom pertama dan sensor berat pada kolom kedua dan sensor suhu di kolom

Serial.println ("LABEL, waktu, sensor berat, sensor suhu, RPM meter"); dari kode tersebut maka akan didapat hasil sebagai berikut

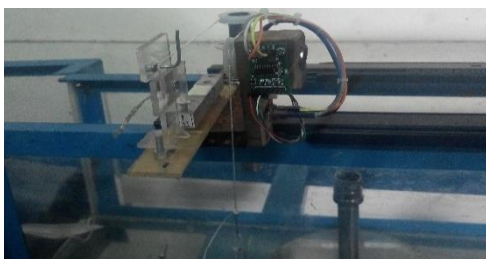


Gambar 4.22 Parallax PLX-DAQ

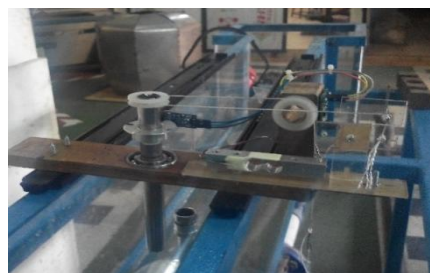
Untuk penulisan data, digunakan *DATA*, *TIME*, setelah itu dilanjutkan dengan *print serial data* yang diinginkan sesuai dengan *headernya*. Waktu akan selalu muncul didepan, barulah setelah itu *data-data* yang lainnya, sebagai contoh jika menggunakan *label* seperti diatas sebagai contoh, kita menggunakan *header* diatas, maka penulisan kodenya adalah sebagai berikut:

```
Serial.print("DATA,TIME,");  
Serial.print (berat); serial.print (" , " ) ;  
Serial.print (suhu); serial.print (" , " ) ;  
Serial.println (rpm) ;
```

Tanda (,) digunakan untuk pindah ke kolom selanjutnya pada baris yang sama, sedangkan *Serial.println* digunakan sebagai penanda bahwa baris tersebut cukup sampai disitu dan pindah ke baris selanjutnya. Untuk melanjutkan penulisan *data* yang dikirim digunakan kode 'row++;'



(a)

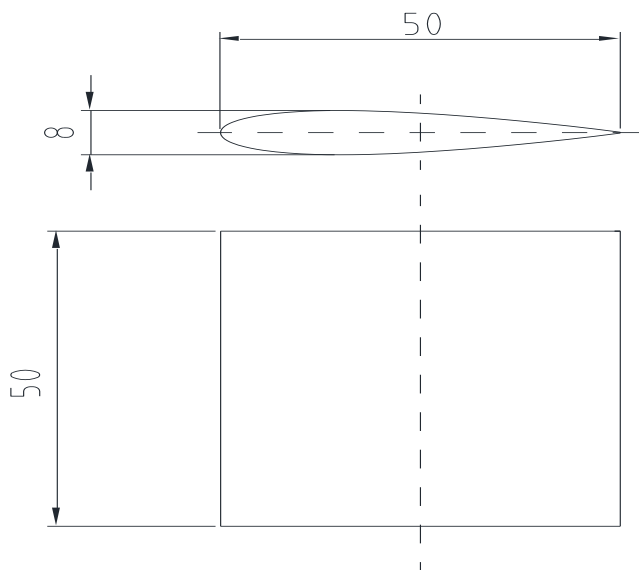


(b)

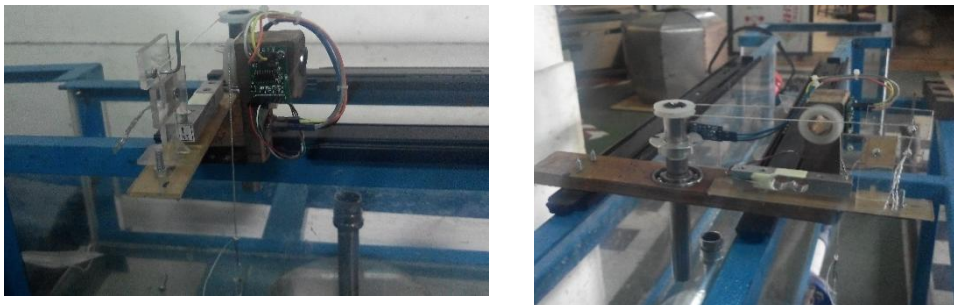
Gambar 4.23 Pemasangan Instrumen alat ukur torsi dan putaran



Gambar 4.24 Pemasangan Instrumen alat ukur kapasitas aliran aliran



Gambar 4.25. Design sudu turbin *darrieus*



Gambar 4.26. Hasil Design sudu turbin *darrieus*



Gambar 4.27 Pemasangan Instrumen alat ukur kapasitas aliran aliran

5. KESIMPULAN

Pembuatan alat pengujian model turbin Darrieous telah selesai dibangun. Model ini dilengkapi dengan Alat Data akuisisi menggunakan arduino UNO dengan DAQ PLX yang bekerja sesuai dengan rencana . dalam pengambilan data penelitian

6. DAFTAR PUSTAKA

- Dominy R,Lunt P,Bickerdyke A, Dominy J,2007,Self-starting capability of a Darrieus turbine. Proc Inst Mech Eng (IMEchE) ePart A: J Power Energy ;221: 111-120
- Kaprawi, 2011, Pengaruh Geometri Sudu Dari Turbin Air Darrieus TerhadapKinerjanya, Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Palembang
- Mc.Adam. R.,A., G.T.Houlsby, M.L.G.Oldfield and M.D. McCulloch 2009,Experimental testing of the transverse horizontal axis water turbine, Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Sweden.
- M.A. Singh, A. Biswas, , R.D. Misra, 2015,Investigation of self-starting and high rotorsolidity on the performance of a three S1210 blade H-type Darrieus rotor, Renewable Energy, 76, 381-387
- Muhammad Irsyad, 2010, Kinerja Turbin Air Tipe Darrieus Dengan Sudu HydrofoilStandar Naca 6512,DINAMIKAJurnal Ilmiah Teknik MesinVol. 1, No. 2

Sylvain Antheaume, Thierry Marêtre, Jean-Luc Achard, 2008, Hydraulic Darrieusturbines efficiency for free fluid flow conditions versus power farms conditions, *Renewable Energy* 33 (2008) 2186–2198.

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