

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Ada beberapa penelitian yang dilakukan untuk jenis turbin air yaitu turbin Darrieus, dengan mengubah bagian-bagian tertentu dari turbin Darrieus guna memfokuskan penelitian untuk mendapatkan nilai efisiensi yang maksimum dari turbin, berikut ini beberapa penelitian yang membahas turbin air Darrieus dengan berbagai variasi.

Sudargana dan R. Guruh (2012) telah melakukan simulasi tentang analisa perancangan turbin Darrieus pada hydrofoil NACA 0015 dari karakteristik C_L dan C_D dengan variasi sudut serang 0° sampai dengan 360° dan variasi kecepatan aliran 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s, dengan hasil efisiensi maksimum pada kecepatan 4 m/s sebesar 25,833 %.

Muhammad Irsyad (2010) telah melakukan penelitian tentang kinerja turbin air tipe Darrieus dengan sudu hydrofoil standar NACA 6512, dengan variasi laju aliran air 0,5229 m/s, 0,6807 m/s, dan 0,858 m/s serta variasi diameter turbin yaitu ; 28 cm, 32 cm, 36 cm, dan 40 cm, dengan hasil torsi terbesar yaitu 0,7618 Nm pada diameter 40 cm dan laju aliran 0,858 m/s serta hasil efisiensi maksimum 14,7 % pada diameter 40 cm dan laju aliran 0,858 m/s juga.

Dari penelitian Sudargana dan R. Guruh diatas dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai laju aliran atau kecepatan maka efisiensi yang dihasilkan akan besar pula dikarenakan gaya pembebanan pada turbin akan bertambah seiring bertambahnya kecepatan aliran, maka efisiensi akan meningkat juga. Hasil penelitian dari Muhammad Irsyad menunjukkan bahwa semakin besar diameter turbin maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar pula.

2.2 Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang dapat mengalir dimana dapat dibedakan berdasarkan jenis zatnya yaitu cair dan gas, zat padat tidak dapat dikatakan sebagai fluida dikarenakan karakteristik zat padat yang mampu menahan deformasi (reaksi deformasi) dari gaya geser selama masih dalam batas elastisitasnya sedangkan fluida tidak mampu menahan gaya geser (Ridwan, 1999, p.1)

Setiap hari kita selalu berhubungan dengan fluida hampir tanpa sadar. Salah satu fluida yang mempunyai peran dalam kehidupan kita adalah air, dimana air mempunyai banyak fungsi untuk menunjang kehidupan manusia, tanpa adanya air semua makhluk yang hidup akan mati dan kemungkinan akan punah, maka dari itu sebagai makhluk yang berakal hendaknya manusia mampu menggunakan air secara bijak dalam kehidupannya, untuk menjaga kelestarian alam semesta ini.

Ada berbagai macam jenis fluida berdasarkan karakteristiknya masing-masing, berdasarkan mampu mampatnya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Berdasarkan sifat alirannya fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, transisi dan turbulen. Berdasarkan gaya yang bekerja pada fluida dan gerakannya, fluida dibagi 2 yaitu fluida statis dan dinamis.

2.3 Potensi Tenaga Air

Energi tenaga air adalah sumber energi ramah lingkungan yang telah digunakan sejak berabad-abad lalu, sebagai negara yang memiliki wilayah perairan yang luas Indonesia mempunyai potensi tenaga air yang sangat melimpah. Potensi tenaga air tersebut dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan, energi terbarukan inilah yang nantinya akan menggantikan atau bahkan bisa menghilangkan ketergantungan akan energi dari bahan bakar fosil, dalam potensinya tenaga air memiliki salah satu fungsi yaitu untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit listrik tenaga air. Memanfaatkan energi kinetik dari air yang nantinya akan menggerakkan turbin sehingga akan berputar (rotasi mekanik) kemudian dihubungkan dengan generator dan menghasilkan energi listrik.

Dalam sebuah buku panduan program nasional pemberdayaan masyarakat yang berjudul Energi yang Terbarukan yang disusun oleh tim *Contained Energy Indonesia* pada tahun 2015 menyebutkan “mengapa harus menggunakan potensi tenaga air untuk pembangkit listrik?” dan alasannya adalah sebagai berikut :

- Pembangkit Mini-hidro dapat mengurangi emisi bahan bakar fosil CO₂ sekitar 4.000 ton per tahun
- Sumber daya energi terbarukan yang bersih
- Tidak ada limbah atau emisi
- Masyarakat akan mendapatkan keuntungan dari peningkatan stabilitas jaringan listrik
- Sistem Mikro hidro dapat menyuplai listrik tanpa mempengaruhi habitat, dan tanpa mengubah rute atau aliran sungai

- Sistem mikro hidro dapat dikombinasikan dengan sistem energi surya untuk menghasilkan energi pada musim dingin, dimana banyak liran air minimumnya energi surya.

Dari uraian diatas dapat diketahui mengapa kita harus memanfaatkan potensi energi air, kesadaran mengenai pemanfaatan energi air menjadi pandangan yang seharusnya sudah ditanamkan sejak dini, dengan harapan setiap individu nantinya bisa mengelola potensi energi air tersebut demi kesejahteraan dalam lingkungan hidupnya.

Dalam sebuah sumber air dapat didefinisikan besarnya energi yang tersimpan bergantung pada head dan debit air. Yang mana head merupakan beda ketinggian antara permukaan air pada reservoir (bendungan) dengan muka air keluar dari turbin air. Sedangkan debit adalah banyaknya jumlah air dalam volume per satuan waktu. Total energi yang dimiliki oleh air karena adanya kecepatan aliran dapat dihitung dengan cara :

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

dengan :

v = kecepatan aliran air (m/s^2)

Hubungan energi kinetik dengan daya yang dihasilkan dituliskan sebagai berikut :

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

Hal ini sesuai dengan persamaan hukum kontinuitas $Q = A \cdot v$; maka :

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

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

dengan :

A = luas penampang aliran air (m^2)

2.4 Turbin Air

Turbin air adalah tubin dengan media kerja air. Secara umum, turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap atau *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros, berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau

rotary blade, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan (Paryatmo, 2007, p.1).

Teori turbin air bertujuan terutama untuk mendapatkan unjuk kerja optimum dalam pemanfaatan energi air pada suatu kondisi tertentu. Formula yang digunakan kebanyakan diperoleh secara empiris, berdasarkan pengalaman, eksperimen atau analisa dimensi.

Dasar kerja turbin air sangat sederhana yaitu mengubah energi potensial maupun kinetik menjadi energi mekanik. Teknologi ini merupakan perkembangan dari kincir air. Perbedaan utamanya antara kincir air dan turbin air adalah bahwa kincir air hanya mengubah kecepatan aliran, sedangkan turbin air mengubah arah dan kecepatan aliran.

2.5 Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanis, turbin dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin Impuls dan turbin Reaksi. Sebelum berkembang menjadi turbin Impuls dan turbin Reaksi seperti yang banyak ditemukan saat sekarang, beberapa jenis turbin dengan konstruksi yang *relative* sederhana telah mengawalinya disamping itu juga telah dilakukan upaya penyempurnaan dan pengembangan dengan memodifikasi rancangan dari turbin-turbin yang sudah ada.

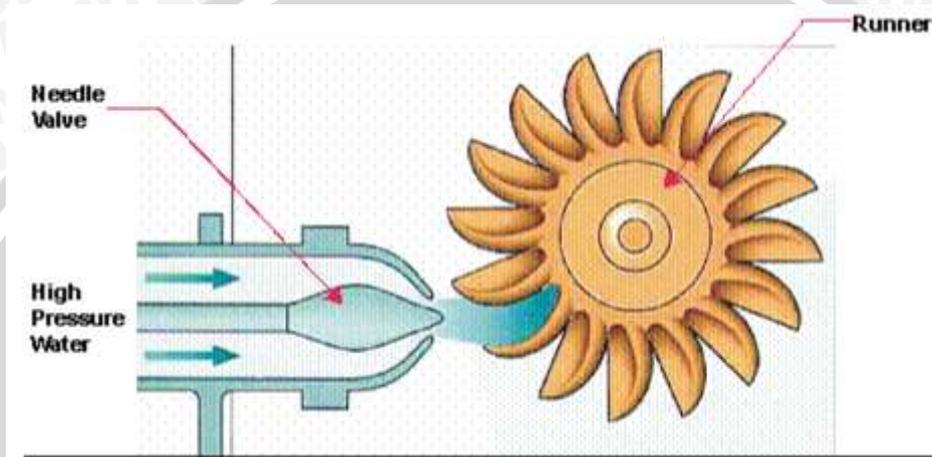
2.5.1 Turbin Impuls

Ciri utama dari turbin jenis impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap dan tidak terjadi pada sudu berputar. Pada turbin air jenis impuls, misalkan turbin pelton, air tidak memenuhi saluran. Oleh karena itu persamaan kontinuitas tidak dapat diterapkan. Energi fluida masuk sudu gerak dalam bentuk energi kinetik pancaran air yang dihasilkan oleh nosel. Pada *bucket*, energi air diubah menjadi energi mekanis putaran poros dan sebagian hilang antara lain karena perubahan arah aliran, gesekan serta sisa kecepatan yang keluar *bucket* dan tidak dapat dimanfaatkan (Paryatmo, 2007, p.79).

Turbin impuls disebut turbin tak bertekanan karena sudu gerak beroperasi pada tekanan atmosfer. Banyak turbin air jenis impuls yang pernah dibuat, namun yang masih banyak ditemukan pada saat ini adalah turbin pelton dengan bentuk *bucket* yang terbelah ditengah. Posisi poros dapat dibuat tegak (vertikal) atau mendatar (horisontal).

2.5.1.1 Turbin Pelton

Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih nosel. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris, sudu dibentuk sedemikian rupa sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi mekanis.



Gambar 2.1 Turbin Pelton
Sumber :Al-Shemmeri (2012,p.124)

2.5.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara bekerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir. Hampir semua dari jenis turbin ini beroperasi di dalam air, oleh karena itu pada bagian masuk dan keluar turbin mempunyai tekanan yang lebih besar dari tekanan udara luar.

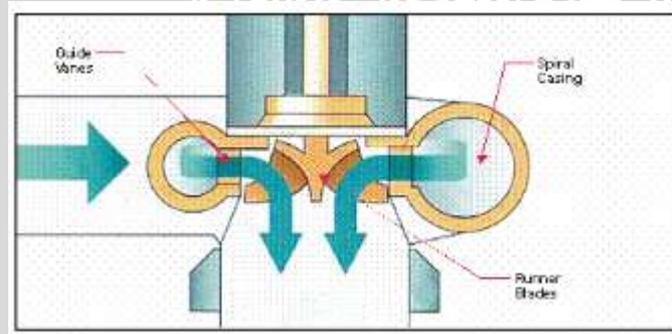
Ciri turbin reaksi pada semua jenis turbin baik turbin uap, turbin gas, maupun turbin air adalah bahwa sebagian tekanan air jatuh pada sudu tetap dan sebagian lagi pada sudu berputar. Persamaan kontinuitas dapat digunakan pada perhitungan aliran melalui sudu berputar, karena seluruh fluida kerja memenuhi seluruh saluran sudu. Karena fluida masuk sudu berputar melalui seluruh tepi seksi masuk, maka untuk daya dan putaran yang sama, diameter nominalnya relatif lebih kecil dibandingkan dengan turbin impuls.

Arah aliran masuk *runner* dapat diatur oleh sudu pengatur dan disebut juga sebagai sudu pengarah atau *stationaryblade* untuk memperoleh arah yang sebaik-baiknya untuk menghasilkan efisiensi yang maksimal.

2.5.2.1 Turbin Francis

Turbin Francis memiliki *runner* dengan baling-baling tetap, biasanya berjumlah 9 atau lebih. Air dimasukkan tepat diatas *runner* dan mengelilinginyadan jatuh melalui runner dan memutarnya. Selain runner komponen lainnya adalah *scroll case*, *wicket gate* dan *draft tube*. Turbin Francis merupakan salahsatu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagianmasuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial.

Turbin Francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Pada waktu air masuk ke roda jalan, sebagian dari energi tinggi jatuh telah bekerja di dalam sudu pengarah diubah sebagai kecepatan air masuk. Sisa energi tinggi jatuh dimanfaatkan dalam sudu jalan, dengan adanya pipa hisap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja di sudu jalan dengan semaksimal mungkin. Turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam dalam air. Air yang masuk kedalam turbin dialirkan melalui pengisian air dari atas turbin atau melalui sebuah rumah yang berbentuk spiral (rumah keong). Semua roda jalan selalu bekerja.



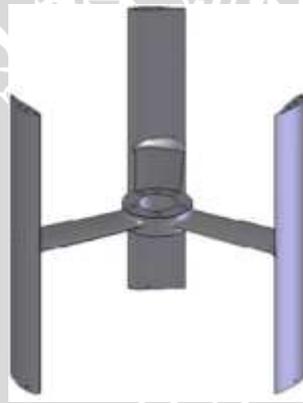
Gambar 2.2 Turbin Francis
Sumber :Al-Shemmeri (2012,p.125)

2.6 Turbin Darrieus

Dalam upaya pemanfaatan energi arus pasang-surut (*tidal energy*) telah dikembangkan berbagai jenis turbin dan efisiensi kerja yang dihasilkan (gambar 2.3). Dikenal 2 macam jenis turbin yaitu : 1) *propeller turbine* dan 2) *cross flow turbine*. *Propeller turbine* dengan sifat yang *non-reversible* sangat sulit untuk berputar terhadap perubahan arah aliran (pasang-surut) namun sebaliknya pada jenis *cross flow turbine* dapat menyesuaikan kondisi tersebut dengan cepat, disamping itu turbin tipe aliran silang (*cross flow turbine*) memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding *propeller turbine*, salah satu contoh *cross flow turbine* adalah turbin Darrieus. (Gorban, 2001).

Turbin Darrieus merupakan salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh seorang *aeronautical engineer* asal Prancis yang bernama Georges JeanMarie Darrieus pada tahun 1931. Maksud asli dari turbin Darrieus ini adalah mengekstraksi energi angin, jadi karena sumbu rotasi diposisikan vertikal, dalam literatur sering dianggap sebagai Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT), dalam beberapa tahun terakhir turbin Darrieus telah diadaptasi untuk mengekstraksi energi air, dimana sumbunya dapat diposisikan secara vertikal maupun horisontal, kedua posisi tersebut mempunyai keuntungan masing-masing, pada posisi vertikal generator listrik dapat dipasang diatas permukaan air, sedangkan pada posisi horisontal kemungkinan hanya memiliki satu generator yang ditempatkan untuk seluruh lebar saluran. Karena penampang persegi panjang pada rotornya, turbin Darrieus dapat memenuhi penampang yang besar dalam air yang dangkal dari sumbu horisontal dengan penampang melingkar (Matjas Fleisinger *et al*, 2014).

Turbin Darrieus ini memiliki keunggulan diantaranya tidak teralut oleh arah aliran karena bentuknya yang simetri, tekanan gravitasi tidak mampu balik pada bentuk sudunya, mampu beroperasi pada head dan kecepatan yang rendah, sedangkan kelemahannya adalah ketidakmampuan melakukan *self-starting*, dan getaran yang tinggi.



Gambar 2.3 Turbin Darrieus
Sumber :T. Maitreet *al* (2013)

2.6.1 Prinsip Kerja Turbin Darrieus

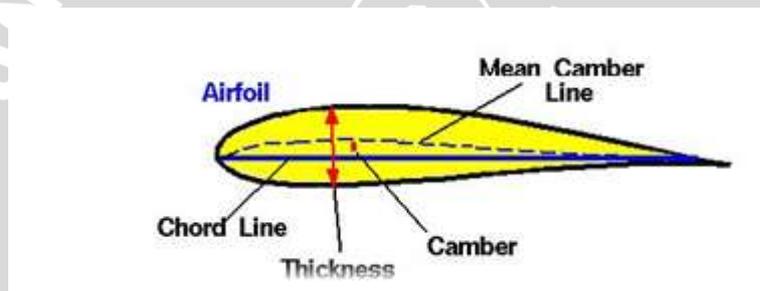
Prinsip kerja turbin Darrieus adalah akibat kecepatan aliran air maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya hidrodinamis.

Gaya angkat (*lift*) dihasilkan karena bentuk airfoil dari sudu turbin, sudu-sudu ini membelah aliran air dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang mengakibatkan gaya angkat, yang mana mendorong sudu

bergerak ke depan untuk mendorong turbin, torsi yang disebabkan oleh gaya angkat harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) sehingga menghasilkan torsi netto.

2.7 Airfoil

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan lift (gaya angkat yang dihasilkan) (Mulyadi, 2010).



Gambar 2.4 NACA Airfoil Geometry
Sumber : Benson (2010)

Hingga sekitar Perang Dunia II, *airfoil* yang banyak digunakan adalah hasil riset Gottingen. Selama periode ini banyak pengujian *airfoil* dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset NACA lah yang paling terkemuka. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau *thickness* serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hal ini sering dirangkum oleh beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, maksimum bentuk melengkung, posisi maksimal ketebalan, posisi maksimal bentuk melengkung, dan hidung jari-jari. Seperti terlihat pada gambar 2.4 suatu *airfoil* terdiri dari (Mulyadi, 2010):

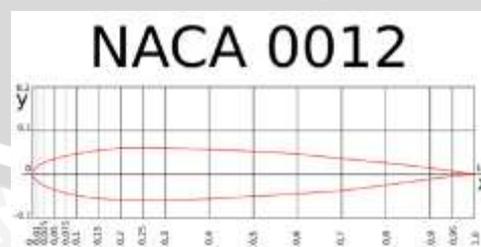
- Permukaan atas (*Upper Surface*)
- Permukaan bawah (*Lowerer Surface*)
- *Mean camber line* adalah tempat kedudukan titik-titik antara permukaan atas dan bawah *airfoil* yang diukur tegak lurus terhadap *mean camber line* itu sendiri.

- *Leading edge* adalah titik paling depan pada *mean camber line*, biasanya berbentuk lingkaran dengan jari-jari mendekati $0,02c$.
- *Trailing edge* adalah titik paling belakang pada *mean camber line*
- *Camber* adalah jarak maksimum antara *mean camber line* dan garis *chord* yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.
- Ketebalan (*thickness*) adalah jarak antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.

2.7.1 Seri Digit NACA

A. NACA seri 4 digit

Sekitar tahun 1932, NACA melakukan pengujian beberapa bentuk *airfoil* yang dikenal dengan NACA seri 4 digit seperti pada gambar 2.5. Distribusi kelengkungan dan ketebalan NACA seri empat ini diberikan berdasarkan suatu persamaan. Distribusi ini tidak dipilih berdasarkan teori, tetapi diformulasikan berdasarkan pendekatan bentuk sayap yang efektif yang digunakan saat itu, seperti yang dikenal adalah *airfoil* Clark Y. Pada *airfoil* NACA seri empat, digit pertama menyatakan persen maksimum *camber* terhadap *chord*. Digit kedua menyatakan persepuluh posisi maksimum *camber* pada *chord* dari *leading edge*. Sedangkan dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan *airfoil* terhadap *chord*. Contoh : *airfoil* NACA 2412 memiliki maksimum *camber* $0,02$ terletak pada $0,4c$ dari *leading edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% *chord* atau $0,12c$. *Airfoil* yang tidak memiliki kelengkungan, dengan *camber line* dan *chord* berhimpit disebut *airfoil* simetrik. Contohnya adalah NACA 0012 yang merupakan *airfoil* simetrik dengan ketebalan maksimum $0,12c$ (Mulyadi, 2010).



Gambar 2.5 Contoh NACA Seri 4 Digit
Sumber : Suseno (2010)

B. NACA seri 5 digit

Pengembangan *airfoil* NACA 5 digit dilakukan sekitar tahun 1935 dengan menggunakan distribusi ketebalan yang sama dengan seri 4 digit. Garis kelengkungan rata-rata (*mean camber line*) seri ini berbeda dibanding seri empat digit. Perubahan ini dilakukan dalam rangka menggeser maksimum *camber* kedepan sehingga dapat meningkatkan CL maksimum. Jika dibandingkan ketebalan (*thickness*) dan *camber*, seri ini memiliki nilai CL maksimum 0,1 hingga 0,2 lebih tinggi dibanding seri empat digit. Sistem penomoran seri lima digit ini berbeda dengan seri empat digit. Pada seri ini, digit pertama dikalikan $\frac{3}{2}$ kemudian dibagi sepuluh memberikan nilai desain koefisien *lift*. Setengah dari dua digit berikutnya merupakan persen posisi maksimum *camber* terhadap *chord*. Dua digit terakhir merupakan persen ketebalan terhadap *chord*. Contohnya, *airfoil* 23012 memiliki CL desain 0,3, posisi maksimum *camber* pada 15% *chord* dari *leading edge* dan ketebalan sebesar 12% *chord* (Mulyadi, 2010).

C. NACA seri digit 6

Airfoil NACA seri 6 didesain untuk mendapatkan kombinasi *drag*, kompresibilitas, dan performa CL maksimum yang sesuai keinginan. Beberapa persyaratan ini saling kontradiktif satu dan lainnya, sehingga tujuan utama desain *airfoil* ini adalah mendapatkan *drag* sekecil mungkin. Geometri seri 6 ini diturunkan dengan menggunakan metode teoritik yang telah dikembangkan dengan menggunakan matematika lanjut guna mendapatkan bentuk geometri yang dapat menghasilkan distribusi tekanan sesuai keinginan. Tujuan pendekatan desain ini adalah memperoleh kombinasi *thickness* dan *camber* yang dapat memaksimalkan daerah aliran laminar. Dengan demikian maka *drag* pada daerah CL rendah dapat dikurangi.

Aturan penamaan seri 6 cukup membingungkan dibanding seri lain, diantaranya karena adanya banyak perbedaan variasi yang ada. Contoh yang 10 umum digunakan misalnya NACA 641-212, $a = 0,6$. Angka 6 di digit pertama menunjukkan seri 6 dan menyatakan *family* ini didesain untuk aliran laminar yang lebih besar dibanding seri 4 digit maupun 5 digit. Angka 4 menunjukkan lokasi tekanan minimum dalam persepuluh terhadap *chord* ($0,4c$). Subskrip 1 mengindikasikan bahwa *range drag* minimum dicapai pada 0,1 diatas dan dibawah CL desain yaitu 2 dilihat angka 2 setelah tanda hubung. Dua angka terakhir merupakan persen *thickness* terhadap *chord*, yaitu 12% atau 0,12. Sedangkan $a = 0,6$ mengindikasikan persen *chord airfoil* dengan distribusi tekanannya seragam, dalam contoh ini adalah 60% *chord* (Mulyadi, 2010).

D. NACA seri digit 7

Seri 7 merupakan usaha lebih lanjut untuk memaksimalkan daerah aliran lamina di atas suatu *airfoil* dengan perbedaan lokasi tekanan minimum dipermukaan atas dan bawah. Contohnya adalah NACA 747A315. Angka 7 menunjukkan seri. Angka 4 menunjukkan lokasi tekanan minimum di permukaan atas dalam persepuluh (yaitu 0,4c) dan angka 7 pada digit ketiga menunjukkan lokasi tekanan minimum di permukaan bawah *airfoil* dalam persepuluh (0,7c). A, sebuah huruf pada digit keempat menunjukkan suatu format distribusi ketebalan dan *mean line* yang standardisasinya dari NACA seri awal. Angka 3 pada digit kelima menunjukkan CL desain dalam persepuluh (yaitu 0,3) dan dua angka terakhir menunjukkan persen ketebalan maksimum terhadap *chord*, yaitu 15% atau 0,15 (Mulyadi, 2010).

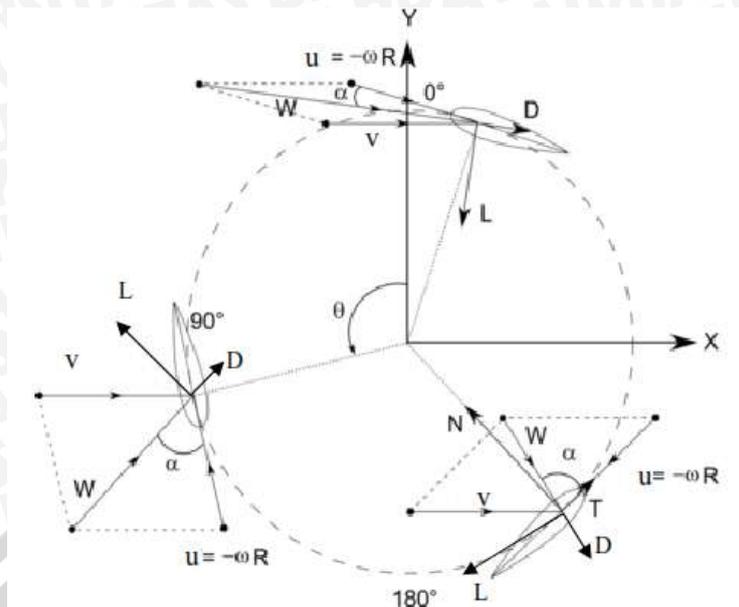
E. NACA seri 8 digit

Airfoil NACA seri 8 didesain untuk penerbangan dengan kecepatan *supercritical*. Seperti halnya seri sebelumnya, seri ini didesain dengan tujuan memaksimalkan daerah aliran lamina di permukaan atas permukaan bawah secara independen. Sistem penamaannya sama dengan seri 7, hanya saja digit pertamanya adalah 8 yang menunjukkan serinya. Contohnya adalah NACA 835A216 adalah *airfoil* NACA seri 8 dengan lokasi tekanan minimum di permukaan atas ada pada 0,3c, lokasi tekanan minimum di permukaan bawah ada pada 0,5c, memiliki CL desain 2 dan ketebalan atau *thickness* maksimum 0,16c (Mulyadi, 2010).

2.8 Diagram Kecepatan

Diagram kecepatan yang digunakan pada turbin air sumbu vertikal merupakan pendekatan dari turbin udara sumbu vertikal seperti yang terlihat pada gambar 2.6, dimana resultan vektor kecepatan (\vec{W}) merupakan jumlah dari vektor kecepatan (\vec{v}) fluida dan vektor kecepatan sudu (\vec{u}) (M. Irsyad 2010).

$$\vec{W} = \vec{v} + (-\vec{\omega} \times \vec{r}) \quad (2-5)$$



Gambar 2.6 Diagram Kecepatan
Sumber : Muhammad Irsyad (2010)

Dari gambar diagram kecepatan pada gambar 1 tersebut dihasilkan kecepatan yang bervariasi yaitu kecepatan maksimum pada $\theta = 0^\circ$ kecepatan minimum pada $\theta = 180^\circ$, dimana θ adalah posisi orbital sudu.

Angle of attack (sudut serang sudu) adalah sudut antara resultan vektor kecepatan (W), dan vektor kecepatan sudu. Pertimbangan-pertimbangan geometris, resultan kecepatan vektor dan *angle of attack* dihitung sebagai berikut :

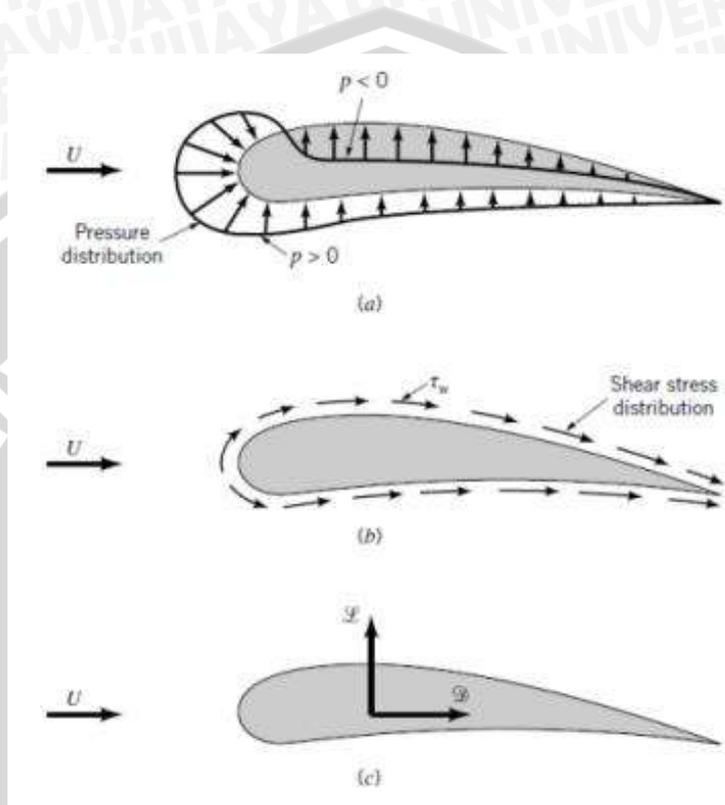
$$W = v\sqrt{1 + 2\alpha \cos \theta + \alpha^2} \quad (2-6)$$

Dari gambar diagram kecepatan tersebut mempunyai beberapa parameter diantaranya :

- Kecepatan aliran fluida (v) yang digambarkan mempunyai arah dari kiri.
- Kecepatan tangensial turbin (u), yang dapat dihitung dengan rumus $(\omega \cdot r)$.
- Resultan kecepatan (W) yang merupakan hasil dari penjumlahan vektor kecepatan (v) dan vektor kecepatan (u).
- Sudut rotasi sudu (θ) yang merupakan posisi derajat putar sudu.
- Sudut serang (*angle of attack*) (α).
- Gaya angkat (*lift*) (L) dan gaya hambat (*drag*) (D) yang merupakan hasil dari penguraian resultan vektor kecepatan (W).

2.9 Gaya Hambat dan Gaya Angkat

Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi; efek ini dapat digambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar-muka fluida benda. Hal ini dapat digambarkan dalam tegangan geser dinding, t , akibat efek viskos dan tegangan normal akibat tekanan, p .



Gambar 2.7 Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan (*lift* dan *drag*)
Sumber : Munson (2006, p.486)

Gaya resultan dengan arah yang sama (sejajar) kecepatan hulu disebut sebagai gaya hambat (*drag*), D , dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*), L , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, dimana dapat dilihat untuk persamaan *drag* dan *lift* :

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2-7)$$

$$F_L = C_L \frac{\rho(u_s)^2}{2} A \quad (2-8)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2-9)$$

$$F_D = C_D \frac{\rho(u_s)^2}{2} A \quad (2-10)$$

Dengan :

C_L = koefisien gaya angkat

C_D = koefisien gaya hambat

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

$P(u_s)^2/2$ = Tekanan dinamik arus bebas (N/m^2)

A = luas acuan (m^2)

V = kecepatan fluida relatif terhadap objek (m/s)

2.10 Unjuk Kerja Turbin Air

Pada pengujian kincir air ini parameter-parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kinerja turbin air antara lain : *Water Horse Power* (WHP), *Brake Horse Power* (BHP), Rasio U/V_s , dan Efisiensi turbin air.

2.10.1 *Water Horse Power* (WHP)

Water Horse Power (WHP) merupakan daya yang dimiliki oleh air dalam bentuk *velocity head* (head turbin) yang nantinya akan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin air.

Aliran air memiliki komponen kecepatan, sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus energi mekanik. Daya itu sendiri merupakan hasil dari energi per satuan waktu sehingga rumus yang digunakan adalah :

$$E = \frac{1}{2} m (Vs)^2 \quad (2-11)$$

$$\frac{E}{t} = \frac{\frac{1}{2} m (Vs)^2}{t} \quad (2-12)$$

$$WHP = \frac{1}{2} \rho Q (Vs)^2 (\text{watt}) \quad (2-13)$$

dengan :

WHP = *Water Horse Power* (watt)

Q = Debit air pada pompa (m^3/s)

Vs^2 = Kecepatan aliran air (m/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

2.10.2 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power (BHP) merupakan daya yang diterima oleh poros turbin air dari aliran fluida yang melalui atau menumbuk sudu-sudu turbin air. *Brake Horse Power* (BHP) dapat diketahui dengan caramengukur Torsi pada poros turbin air dengan pembebanan.

$$BHP = T\omega \quad (2-14)$$

$$BHp = Fl\omega \text{ (watt)} \quad (2-15)$$

dengan :

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

T = Torsi (Nm)

F = Gaya tangensial (N)

ω = Kecepatan sudut $\frac{2\pi n}{60}$ (rad/s)

l = Lengan torsi (m)

2.10.3 Rasio U/Vs

Rasio U/Vs merupakan perbandingan antara kecepatan keliling atau kecepatan tangensial dari turbin air (U) terhadap kecepatan aliran air (Vs) pada saluran air. Rasio U/Vs ini digunakan untuk melihat kemampuan maksimum suatu turbin pada nilai berapa.

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\omega R}{V_s} \quad (2-16)$$

dengan :

U = kecepatan keliling turbin air (m/s)

Vs = Kecepatan aliran air (m/s)

R = Radian turbin (m)

ω = Kecepatan sudut $\frac{2\pi n}{60}$ (rad/s)

2.10.4 Efisiensi Turbin Air

Efisiensi turbin air merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan pada poros turbin air (BHP) dengan daya yang diberikan oleh fluida air (WHP). Efisiensi turbin air menunjukkan kemampuan dari turbin air dalam mengubah energi yang dimiliki air dalam bentuk *velocity head* menjadi energi mekanik pada putaran poros turbin. Efisiensi turbin air dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{BrakeHorsePower (BHP)}}{\text{WaterHorsePower (WHP)}} (\%) \quad (2-17)$$

$$\eta = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho Q (V_s)^2} (\%) \quad (2-18)$$

dengan :

BHP = Brake Horse Power (Watt)

WHP = Water Horse Power (watt)

2.11 Hipotesa

Semakin besar diameter turbin maka akan semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan, dikarenakan seiring bertambahnya diameter turbin torsi yang dihasilkan akan semakin besar sehingga daya turbin yang dihasilkan akan besar pula.

