

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Potensi Energi Air

Potensi energi air pada umumnya berbeda dengan pemanfaatan energi lainnya. Energi air merupakan salah satu bentuk energi yang mampu diperbaharui karena sumber air secara teratur mampu di bangkitkan kembali melalui adanya pemanasan sinar matahari. Walaupun energi yang dihasilkan relatif lebih kecil dibanding melalui energi yang berasal dari fosil namun penggunaan energi air dapat multiguna karena dapat digunakan pada berbagai aspek kehidupan diantaranya irigasi, pengendalian banjir, perikanan darat dan pariwisata.

Keuntungan dari pembangkit yang menggunakan energi air adalah pembangkit listrik tenaga air dilakukan tanpa ada perubahan suhu karena tidak ada proses pembakaran bahan bakar. Sehingga mesin turbin (*hydro*) mampu bertahan lebih lama dibanding mesin bahan bakar.

2.1.1 Sumber Air dan potensial.

2.1.1.1 Pegunungan dan hutan

Suatu daerah mempunyai potensi sumber daya air bila terlihat penuh dengan gunung, pegunungan dan hutan.

Hutan yang rimbun mempunyai potensi/sifat:

- Akar bersifat menyerap air hujan.
- Mendinginkan udara sehingga mampu mengkondensasikan uap air di udara.
- Menahan air tanah dan mengatur pengaliran di dalam tanah
- Mengatur kontinuitas aliran air permukaan DAS.
- Mengatur kontinuitas air dalam tanah



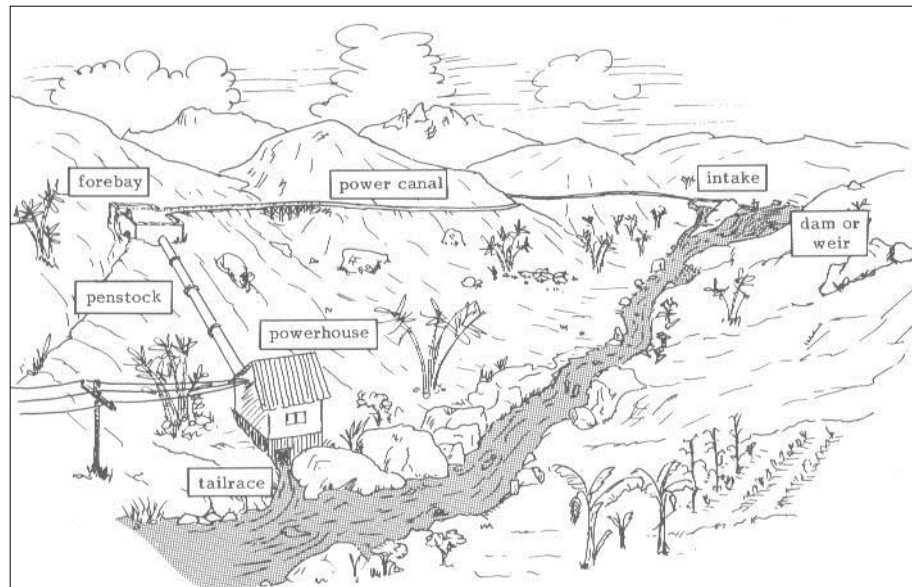
Gambar 2.1. Hutan, DAS dan potensi sumber air^[20].

Dengan potensi hutan di pegunungan yang lebat akan menghasilkan banyak sekali sumber air dan sungai (Gambar 2.1). Aliran sungai dari pegunungan ke bawah merupakan potensi energi yang dapat berupa air terjun dan (sebagian besar) air deras.

Potensi energi ini dapat dimanfaatkan bila mempunyai:

- Debit aliran yang dapat diandalkan (besar dan konstan).
- Kecepatan atau head cukup tinggi.

Gambar 2.2. menunjukkan pemanfaatan potensi energi air menjadi PLTMH. Energi potensial air merupakan potensi massa untuk jatuh, sehingga walaupun masa terletak diketinggian, namun bila tidak mempunyai kemungkinan jatuh maka massa tersebut tidak mempunyai potensi energi. Jadi ketinggian merupakan hal yang relatif, ketinggian NOL (datum) adalah dasar perhitungan dimana massa tidak mungkin jatuh^[20].



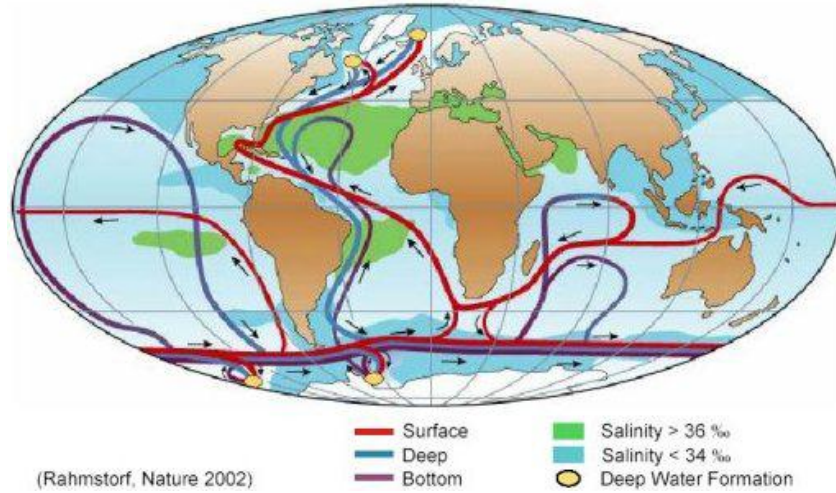
Gambar 2.2. DAS dan PLTMH^[20].

2.1.1.2 Perairan Laut

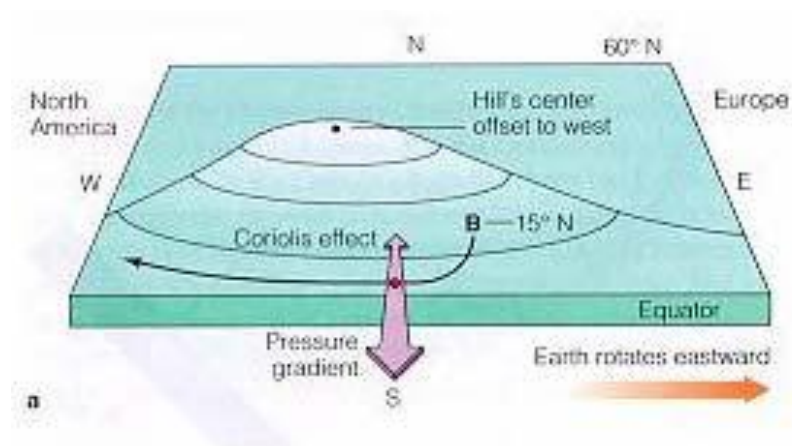
Gaya gravitasi antara bulan, matahari, dan bumi mengakibatkan ritme pasang surut dari perairan laut diseluruh dunia yang menghasilkan gelombang tidal. Bulan menghasilkan gaya yang lebih besar dari dua kali gaya yang dihasilkan matahari karena jaraknya yang lebih dekat dengan bumi. Akibatnya pasang surut air mengikuti fase bulan selama berotasi mengelilingi bumi.

Arus laut merupakan gerakan horizontal massa air laut. Secara umum arus dibagi menjadi 2 berdasarkan penyebab utamanya yaitu arus pasang surut dan arus non pasang surut (non pasut). Arus pasang surut seperti telah dijelaskan diatas merupakan arus yang timbul gravitasi bulan, sedangkan arus non pasang surut merupakan arus yang timbul akibat adanya gaya-gaya pembangkit selain pasang surut. Arus non pasang surut ini memiliki banyak gaya pendorong antara lain gaya gravitasi, gaya gesekan seperti angin, dan gradient densitas. Arus akibat pengaruh gaya gravitasi contohnya adalah arus geostropik. Arus yang dibangkitkan oleh gradien densitas misalnya adalah sirkulasi *termohaline*, sedangkan untuk arus yang dibangkitkan oleh gelombang adalah *longshore*

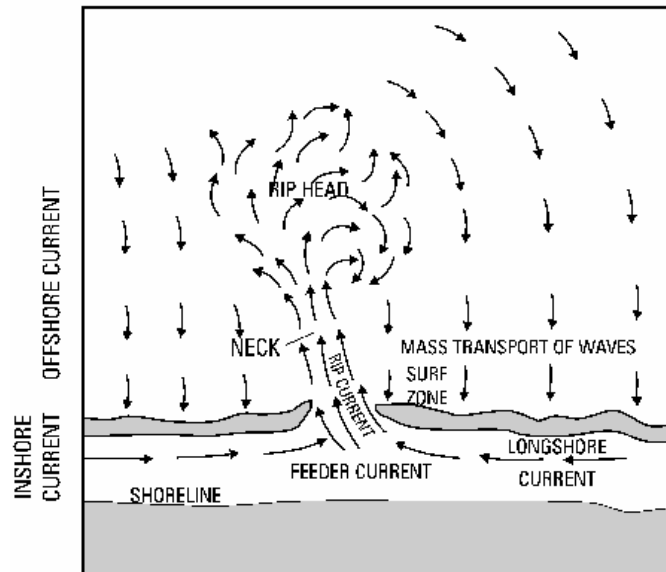
currents dan *rip currents* Dari sekian banyak jenis arus yang ada, pada permukaan laut gaya pendorongnya didominasi oleh angin dan pasang surut^[9].



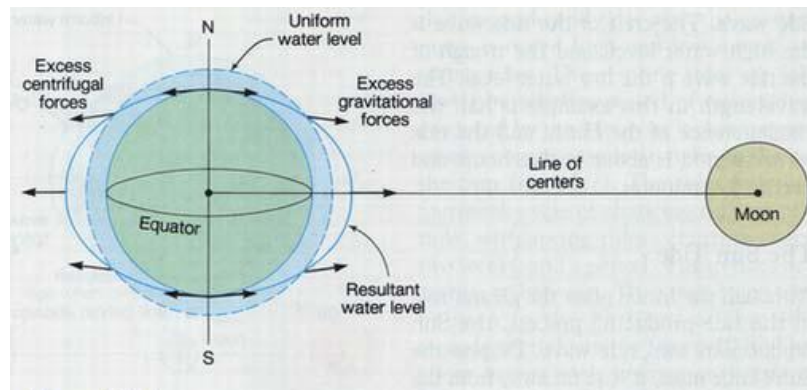
Gambar 2.3. Skema Sirkulasi Termohalin global ^[18].



Gambar 2.4. Skema proses pembentukan arus geostropik di BBU ^[23].



Gambar 2.5. Skema pembentukan rip currents [23].



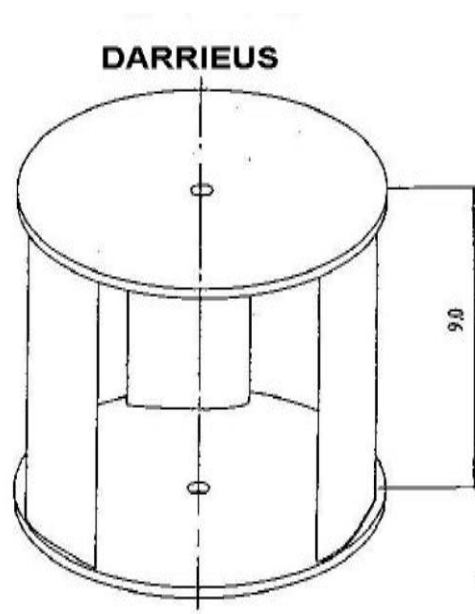
Gambar 2.6. Gaya-gaya pembangkit pasang surut [21].

2.2 Turbin Darrieus

Turbin Darrieus merupakan salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh seorang *aeronautical engineer* asal Prancis yang bernama Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1931. Pada awalnya turbin jenis ini dikembangkan sebagai turbin angin yaitu jenis VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) yang memiliki keunggulan dibanding jenis turbin HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) diantaranya tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuknya yang simetri, tekanan gravitasi tidak mampu balik pada bentuk sudunya, mampu beroperasi pada head dan kecepatan yang

rendah^[5], untuk aplikasi skala kecil, biaya rendah, kebisingan rendah, desain sudu sederhana^[2] sedangkan kelemahannya adalah ketidak mampuan melakukan *self-starting*, dan efisiensi yang rendah.

Dikarenakan di beberapa negara potensi energi air lebih besar dibanding angin terutama negara kepulauan seperti Indonesia maka dilakukan penelitian guna mengembangkan potensi turbin Darrieus pada energi air. Penggunaan turbin Darrieus sebagai turbin air juga diharapkan mampu mengurangi besarnya skala konstruksi jika digunakan sebagai turbin air karena besar massa jenis air jauh lebih besar dibanding angin.



Gambar 2.7. Turbin Darrieus^[8].

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^[24]. Gaya angkat (*lift*) dihasilkan karena bentuk airfoil dari sudu turbin. sudu-sudu ini memotong udara 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 ^[3].

2.3 Karakteristik Hidrodinamika

Hidrodinamika adalah ilmu yang mempelajari pengaruh aliran air terhadap benda kerja yang bergerak melewati aliran tersebut yang terjadi akibat gerak relatif antara fluida dan benda bersangkutan. Gaya apung dan gaya gravitasi yang dialami benda tidak termasuk karena gaya-gaya itu static dan tidak menimbulkan efek-efek dinamik serta kerjanya tidak bergantung pada gerak relatif fluida dan benda bersangkutan ^[17].

Untuk mendapatkan rancangan turbin Darrieus yang hidrodinamis, karakteristik hidrodinamika seperti bentuk geometri dan gaya-gaya yang bekerja sangatlah penting untuk mendapatkan laju percepatan dan gaya angkat yang optimum guna menentukan kualitas benda tersebut. Gaya-gaya yang terjadi adalah gaya diantara benda dengan fluida, oleh karena itu dalam bagian ini akan dijelaskan tentang geometri benda dan komponen-komponen gaya.

2.3.1 Konsep gaya angkat (*Lift*) dan Gaya hambat (*Drag*)

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-tegangan geser dinding, τ_w , akibat efek viskos dan tegangan normal akibat tekanan, p . Distribusi tegangan geser dan tekanan yang bisa ditunjukkan pada Gambar 2.8a dan 2.8b. Baik τ_w dan p bervariasi besar dan arahnya disepanjang permukaan.

Seringkali berguna jika kita mengetahui distribusi terperinci dari tegangan geser dan tekanan di seluruh permukaan benda, meskipun informasi serupa sulit untuk didapatkan. Namun demikian, seringkali yang diperlukan hanya efek resultan secara keseluruhan. 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 2.8c. Untuk beberapa benda tiga dimensi, mungkin juga terdapat sebuah gaya samping yang tegak lurus terhadap bidang yang memuat D dan L .

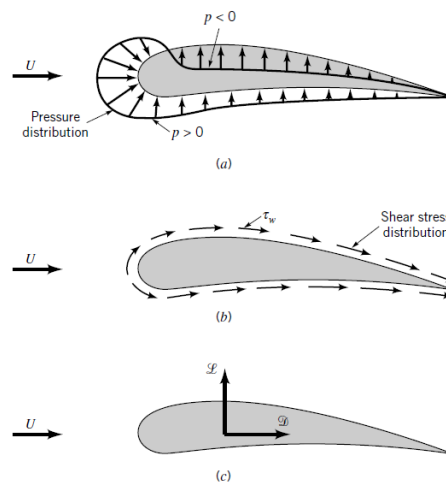
Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan dapat diperoleh dengan mengintegrasikan pengaruh-pengaruh dari kedua besaran ini pada permukaan benda seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Komponen x dan y dari gaya fluida pada elemen luas kecil sebesar dA adalah

$$dF_x = (p \, dA) \cos \theta + (\tau_w \, dA) \sin \theta \quad (2.1)$$

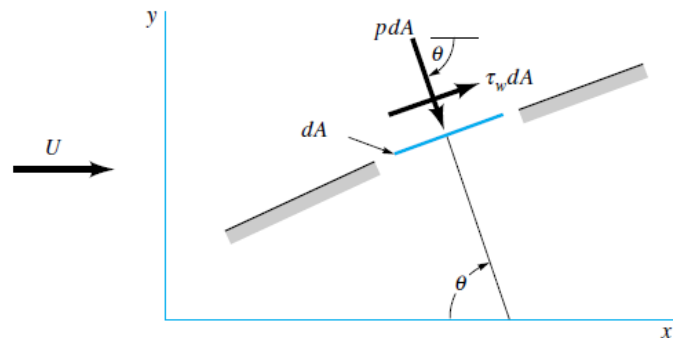
dan

$$dF_y = -(p \, dA) \sin \theta + (\tau_w \, dA) \cos \theta \quad (2.2)$$

Jadi, komponen x dan y netto dari gaya pada benda adalah



Gambar 2.8. Gaya-gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi: a. gaya tekanan, b. gaya viskos, c. gaya resultan (*lift* dan *drag*)^[16].



Gambar 2.9. Gaya tekanan dan gaya geser pada sebuah elemen kecil dari permukaan sebuah benda^[16].

$$D = \int dF_x = \int p \cos \theta dA + \int \tau_w \sin \theta dA \quad (2.3)$$

Dan

$$L = \int dF_y = -\int p \sin \theta dA + \int \tau_w \cos \theta dA \quad (2.4)$$

Tentu saja untuk melakukan pengintegralan dan menentukankan *lift* dan *drag*, kita harus mengetahui bentuk benda (yaitu, θ sebagai suatu fungsi dari lokasi di sepanjang benda) dan distribusi dari τ_w dan p di sepanjang permukaan. Distribusi-distribusi ini seringkali sangat sulit didapatkan, baik secara eksperimental maupun secara teoritis. Distribusi tekanan dapat diperoleh secara eksperimental tanpa banyak kesulitan dengan menggunakan srangkaian tap tekanan static sepanjang permukaan benda. Di sisi lain, biasanya sangat sulit untuk mengukur distribusi tegangan geser dinding.

Kelihatannya baik tegangan geser maupun tekanan sama-sama memiliki andil terhadap *lift* dan *drag*, karena untuk sembarang benda θ tidak nol ataupun 90° pada benda > pengecualian adalah pelat datar yang diatur baik sejajar terhadap aliran hulu ($\theta=90^\circ$) atau tegak lurus terhadap aliran hulu ($\theta=0$).

Meskipun persamaan dan berlaku untuk benda apapun, kesulitan dalam pemakaiannya terletak pada bagaimana mendapatkan distribusi tegangan geser dan

tekanan yang sesuai pada permukaan benda. Banyak sekali upaya telah dilakukan dalam menentukan besaran-besaran ini, tetapi karena berbagai kerumitan yang terlibat, informasi mengenai hal tersebut hanya tersedia untuk beberapa situasi sederhana.

Tanpa informasi terperinci yang berkaitan dengan distribusi tegangan geser dan tekanan pada benda, persamaan dan persamaan tidak dapat digunakan. Alternatif yang banyak digunakan adalah dengan mendefinisikan koefisien *lift* dan *drag* yang tak berdimensi dan menentukan nilai-nilai perkiraannya dengan cara-cara baik menggunakan analisis yang disederhanakan, atau dengan beberapa teknik numeric, atau eksperimen yang sesuai. *Koefisien lift*, C_L dan *koefisien drag*, C_D , didefinisikan sebagai^[16] :

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2 A} \quad (2.5)$$

dan

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2 A} \quad (2.6)$$

dimana :

- C_D = koefisien gaya hambat (*drag*)
- C_L = koefisien gaya angkat (*lift*)
- ρ = densitas fluida (kg/m^3)
- A = luasan acuan (m^2)
- c = panjang chord (m)
- V_∞ = kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s)^[7]

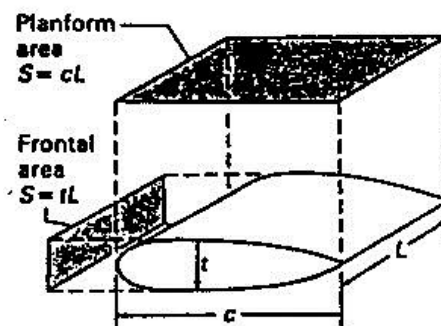
Berbagai definisi digunakan untuk luas, dua definisi yang paling umum digunakan adalah luas frontal (*frontal area*), yaitu luasan yang tampak jika kita

memandang benda dari arah datang aliran, dan luas planform (*planform area*), yaitu luasan benda yang tampak dari atas (Gambar 2.10). Dari analisa dimensional koefisien tahanan dan koefisien gaya angkat untuk suatu bentuk benda dalam aliran *incompressible steady* adalah fungsi dari parameter tak berdimensi,

$$C_D = C_D(\alpha, Re) \quad (2.7)$$

$$C_L = C_L(\alpha, Re) \quad (2.8)$$

dimana α dan Re masing-masing adalah sudut serang dan bilangan Reynolds^[7].



Gambar 2.10. Definisi luas planform dan luas frontal^[4].

2.4 Hydrofoil

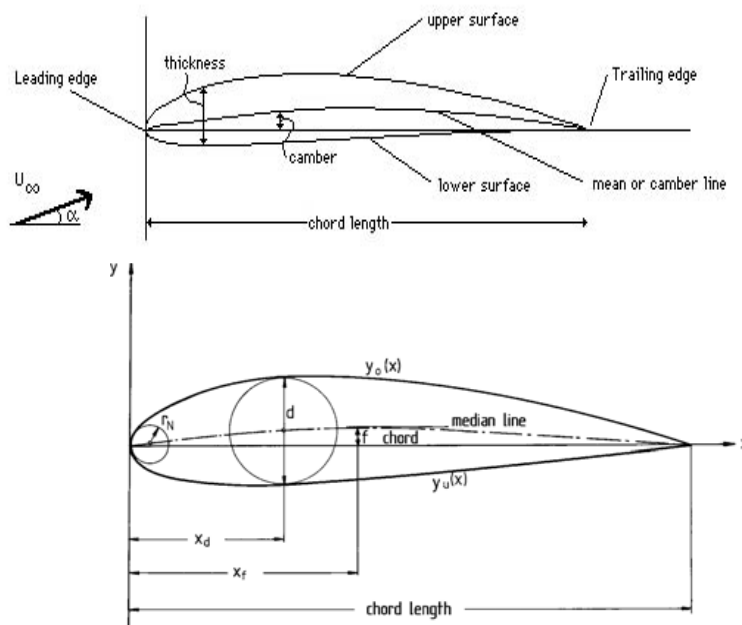
Hydrofoil merupakan suatu bentuk sayap atau sudu (dari rotor, baling-baling atau turbin) yang memiliki bentuk, sifat dan tujuan yang menyerupai airfoil. Yang membedakan antara hydrofoil dan airfoil hanyalah media kerjanya. Hydrofoil bekerja pada suatu aliran air sedangkan airfoil bekerja pada suatu aliran udara. Pembahasan selanjutnya adalah airfoil, dilihat dari karakteristik dan seri dari bentuk NACA airfoil.

2.4.1 NACA

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) airfoil adalah salah satu bentuk bodi hidrodinamika 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

hidrodinamika dengan parameter penting berupa C_L , dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan)^[15].

NACA merupakan salah satu referensi untuk pemilihan airfoil yang populer saat ini. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujiannya dilakukan pada berbagai nilai bilangan Reynold. Airfoil NACA mempunyai parameter-parameter dalam bentuknya. Gambar dibawah menunjukkan beberapa parameter yang terdapat pada airfoil NACA.



Gambar 2.11. Parameter geometris *airfoil* dari seri *airfoil* NACA ^[12].

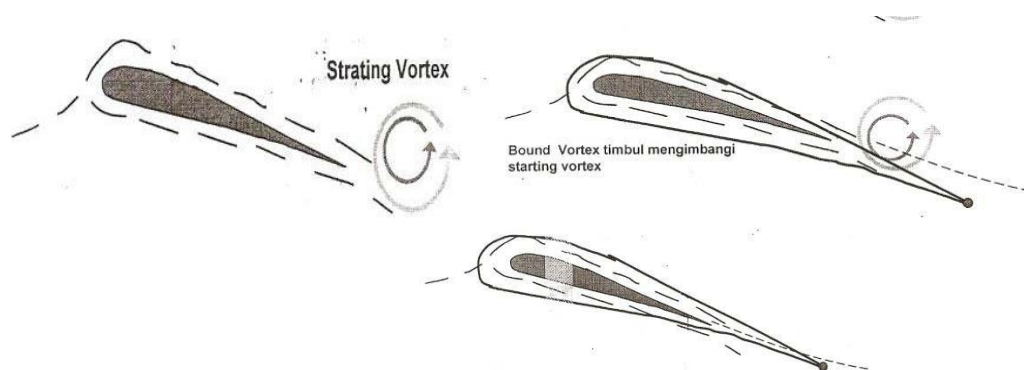
Dimana:

- c adalah panjang chord.
- f adalah maksimum camber, sedangkan f / c adalah rasio camber.
- x_f adalah posisi maksimum camber.
- d adalah ketebalan maksimum airfoil, sedangkan d / c adalah thickness-chord ratio.
- x_d adalah posisi ketebalan maksimum.
- r_N adalah nose radius^[12].

2.4.2 Karakteristik Airfoil

Gaya angkat pada airfoil bergantung pada koefisien gaya angkat yang dihasilkan oleh airfoil tersebut. Koefisien gaya angkat (C_L) dipengaruhi oleh disain bentuk camber dari airfoil. C_L yang dihasilkan oleh suatu airfoil bervariasi secara linear dengan sudut serang (α) tertentu. Kemiringan garis ditandai dengan a_0 yang disebut *lift slope*. Pada daerah ini aliran udara bergerak dengan mulus dan masih menempel pada hampir seluruh permukaan airfoil. Dengan bertambah besarnya α , aliran udara cenderung untuk separasi dari permukaan atas airfoil, membentuk ulakan besar “*dead air*” di belakang airfoil. Pada aliran separasi ini, aliran udara berputar dan sebagian aliran bergerak ke arah yang berlawanan dengan aliran freestream disebut juga *reversed flow*.

Aliran yang berpisah merupakan efek dari viskositas. Konsekuensi dari perpisahan aliran pada α tinggi adalah pengurangan gaya angkat dan bertambah besarnya gaya hambat akibat pressure *drag*, kondisi ini disebut kondisi stall. Harga maksimum dari C_L berada pada tepat sebelum kondisi stall yang dilambangkan dengan $\max C_L$. $\max C_L$ merupakan aspek paling penting dari performa airfoil, karena menentukan kecepatan stall pesawat udara khususnya saat fasa terbang kritis yaitu terbang tinggal landas dan mendarat.



Gambar 2.12. Proses terbentuknya gaya angkat^[15].

Berikut ini adalah proses terbentuknya gaya angkat:

- Aliran udara mengalir melalui airfoil terpecah dua menjadi aliran di atas dan bawah permukaan airfoil.
- Di *trailing edge* kedua aliran bersatu lagi. Namun karena perbedaan sudut arah datangnya kedua aliran tersebut, maka akan terbentuk suatu pusaran yang disebut *starting vortex*, dengan arah putaran berlawanan arah putar jarum jam.
- Karena momentum putar awal aliran adalah nol, maka menurut hukum kekekalan momentum, harus timbul pusaran yang melawan arah putar *starting vortex* ini. Pusaran ini berputar searah putaran jarum jam mengelilingi airfoil dan dinamakan *bound vortex*.
- *Starting vortex* akan bergeser ke belakang karena gerak maju .
- Akibat adanya *bound vortex* ini, aliran di atas permukaan akan mendapat tambahan kecepatan, dan aliran di bawah permukaan akan mendapat pengurangan kecepatan.
- Karena terjadi perbedaan kecepatan itulah, sesuai dengan hukum Bernoulli, timbul gaya yang arahnya ke atas dan disebut *lift* (gaya angkat) ^[15].

2.4.3 Seri-seri Digit NACA

- Seri empat digit

Untuk jenis NACA seri empat digit, pengertian angka-angkanya adalah:

1. Digit pertama menyatakan persen maksimum chamber terhadap chord.
2. Digit kedua menyatakan persepuluh posisi maksimum chamber pada chord dari leading edge.
3. Dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan airfoil terhadap chord.

Contoh dari penomoran ini adalah airfoil NACA 2412, ini berarti airfoil memiliki maksimum chamber 0.02 terletak pada 0.4c dari leading edge dan memiliki ketebalan maksimum 12% chord atau 0.12c.

- Seri lima digit

Garis kelengkungan rata-rata (mean chamber line) seri ini berbeda dibanding seri empat digit. Perubahan ini dilakukan dalam rangka menggeser maksimum chamber kedepan sehingga dapat meningkatkan C_L max. Untuk jenis NACA seri lima digit ini, pengertian angka-angkanya adalah:

1. Digit pertama dikalikan $3/2$ kemudian dibagi sepuluh memberikan nilai desain koefisien *lift*.
2. Dua digit berikutnya merupakan persen posisi maksimum chamber terhadap chord.
3. Dua digit terakhir merupakan persen ketebalan/thickness terhadap chord.

Contoh dari penomoran ini adalah airfoil NACA 23012, ini berarti airfoil memiliki C_L desain 0.3, posisi maksimum chamber pada 15% chord dari leading edge dan ketebalan atau thickness sebesar 12% chord.

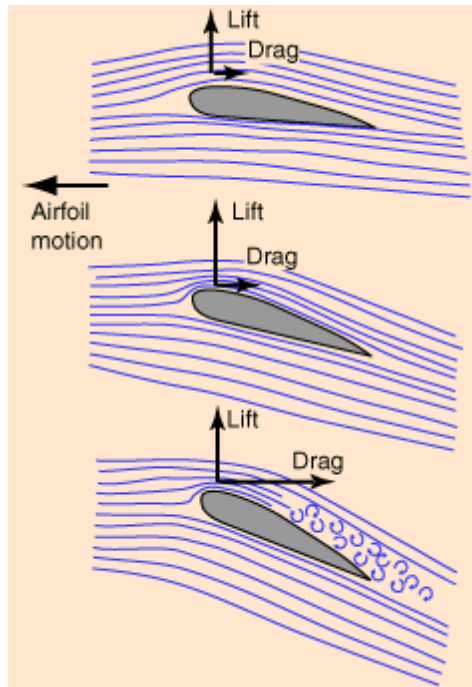
Selain seri empat digit dan lima digit NACA masih memiliki klasifikasi seri yang lain, yaitu NACA Seri-1 (Seri 16), NACA Seri 6, NACA Seri 7 dan NACA Seri 8. Masing-masing seri mempunyai kelebihan dan kekurangan. Tabel 2.1 di bawah menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing tipe airfoil. Selain bentuk geometri, bahan atau material sudu juga berpengaruh pada performa turbin. Sudu yang baik adalah sudu yang ringan tetapi kuat, sehingga mampu menahan beban atau tegangan yang terjadi karena putaran rotor. Saat ini banyak dikembangkan sudu yang menggunakan material serat karbon^[12].

Tabel 2.1 Perbandingan seri *Airfoil NACA* ^[24]

Seri	Kelebihan	Kekurangan
4-Digit	Memiliki karakteristik <i>stall</i> yang baik	Kebanyakan mempunyai koefisien <i>lift</i> yang rendah
	Pusat dari pergerakan tekanan kecil	Mempunyai gaya <i>drag</i> yang relatif tinggi
	Tidak terlalu terpengaruh oleh kekasaran	
	Memiliki koefisien maksimum yang tinggi	Momen <i>pitching</i> besar
5-Digit	Maksimum koefisien <i>lift</i> yang tinggi	Kelakuan <i>stall</i> yang buruk
	Momen <i>pitching</i> rendah	Mempunyai gaya <i>drag</i> yang relatif tinggi
	Tidak terlalu terpengaruh oleh kekasaran	
16-Digit	Menghindari terjadinya puncak tekanan rendah	Mempunyai gaya <i>lift</i> yang relatif kecil
	Gaya <i>drag</i> rendah pada kecepatan tinggi	
6-Digit	Maksimum koefisien <i>lift</i> yang tinggi	<i>Drag</i> sangat besar jika <i>airfoil</i> bekerja di luar daerah operasi
	<i>Drag</i> sangat rendah jika <i>airfoil</i> bekerja pada daerah operasi	Momen <i>pitching</i> besar
	Cocok untuk kecepatan angin tinggi	Sangat rentan oleh kekasaran
7-Digit	<i>Drag</i> sangat rendah jika <i>airfoil</i> bekerja pada daerah operasi	Pengurangan koefisien <i>lift</i> maksimum
	Momen <i>pitching</i> rendah	Kelakuan <i>stall</i> yang buruk

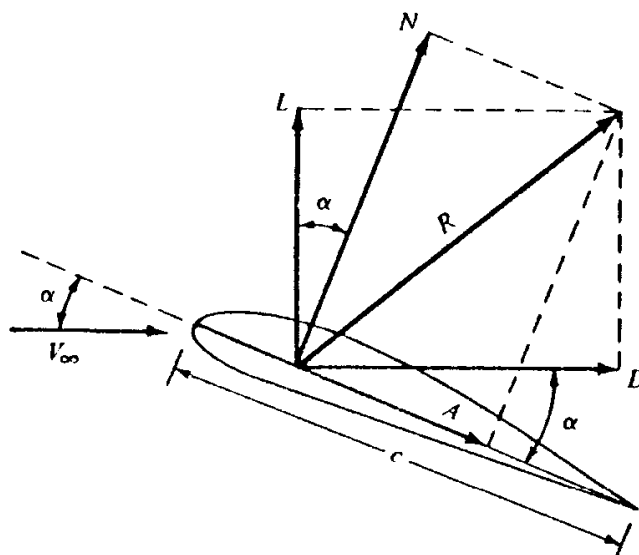
2.4.4 Sudut Serang

Peningkatan gaya *lift* pada turbin air juga dipengaruhi oleh besar sudut serang dari blade turbin. Sudut serang adalah sudut yang dibentuk oleh chord dengan arah datangnya fluida ^[11]. Gambar 2.13 memperlihatkan beberapa pengaturan sudut serang dan pengaruhnya terhadap pola aliran fluida.



Gambar 2.13. Pengaruh sudut serang terhadap pola aliran fluida^[14].

Jika dilihat pada gambar 2.14 maka Sudut serang (α) juga merupakan sudut antara gaya *lift* (L) dan gaya normal (N) dan gaya *drag* (D) dan gaya aksial (A)^[1].



Gambar 2.14. Resultan gaya aerodinamik pada hydrofoil^[1].

2.5 Konsep Dasar Sistem Konversi Energi Arus Air

Sistem konversi energi arus air merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk merubah energi potensial arus air menjadi energi mekanik poros oleh sudu turbin untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi kinetik yang dimiliki arus air menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke sudu turbin tergantung pada massa jenis air, luas area sudu dan kecepatan arus air. Hal ini selanjutnya akan dibahas melalui persamaan-persamaan. Energi kinetik untuk suatu massa air m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)} \quad (2. 9)$$

Dengan menganggap suatu penampang melintang A , dimana arus air dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume V sebagai ^[11].

$$V = vA \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2. 10)$$

Sedangkan aliran massa dengan kerapatan air ρ sebagai:

$$m = \rho vA \text{ (kg/s)} \quad (2. 11)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (2. 10) ke persamaan (2. 9) menjadi

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2. 12)$$

Dimana;

P = daya yang tersimpan pada fluida (W)

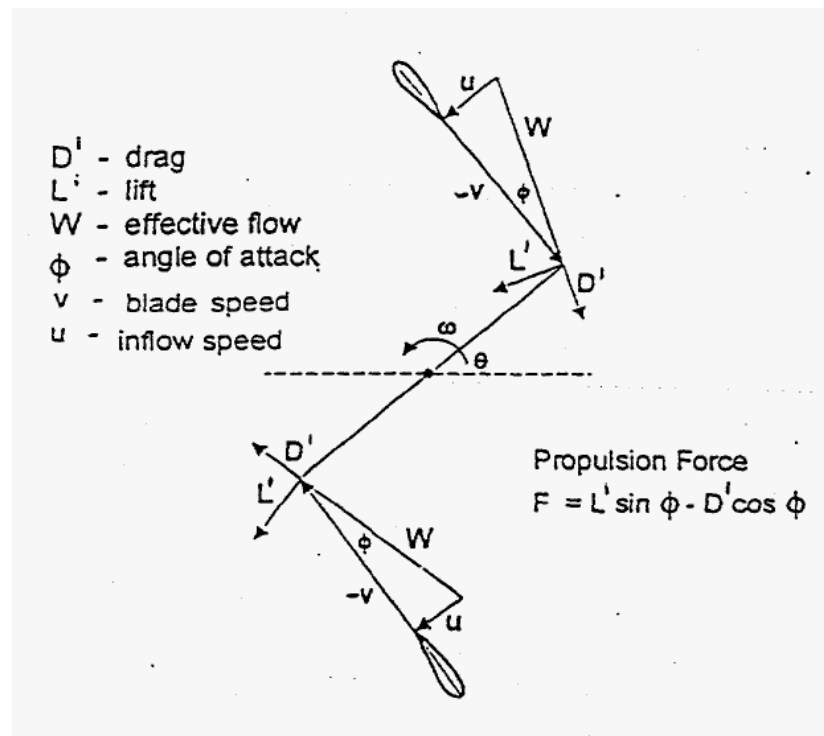
v = kecepatan arus air (m/s),

ρ = densitas air (kg/m³)

A = luas penampang fluida/luas daerah kontak efektif turbin (m^2)

2.6 Perhitungan Daya Turbin Darrieus

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 hydrofoilnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2.15. Vektor gaya dan kecepatan pada hydrofoil^[8].

Dari gambar 2.15 dapat diketahui bahwa sudut serang (α) merupakan sudut chord (c) dan kecepatan efektif aliran atau juga biasa disebut kecepatan relatif aliran (W). Kecepatan relatif aliran merupakan kecepatan yang berpengaruh langsung terhadap gaya-gaya pada hidrofoil dimana kecepatan ini tegak lurus terhadap arah gaya angkat (*lift*) dan sejajar terhadap arah gaya hambat (*drag*). Nilai kecepatan relatif dapat diperoleh melalui rumus berikut:

$$\vec{W} = U + (-\vec{\omega}R) \quad (2.13)$$

Dari diagram gaya yang terlihat pada gambar 2.15, dapat diketahui besar gaya dorong yang dihasilkan dari hydrofoil tersebut.

$$F = L \sin \alpha - D \cos \alpha \quad (2.14)$$

Yang mana nilai gaya dorong jika dikalikan dengan radius dari turbin akan menghasilkan nilai torsi turbin Darrieus yang dinyatakan dengan:

$$T = F \times R \quad (2.15)$$

Dimana:

T = torsi turbin (N.m)

R = radius turbin (m)

F = gaya dorong (N)

Sehingga besar daya yang dimiliki oleh turbin Darrieus dapat dinyatakan dengan^[13]:

$$P_T = T \times \omega \quad (2.16)$$

Dimana:

P_T = daya turbin (watt)

T = torsi turbin (N.m)

ω = kecepatan sudut turbin (rad/s)

Efisiensi turbin merupakan perbandingan antara daya turbin yang dihasilkan dengan daya yang dimiliki oleh aliran air^[8]. Hubungan ini dinyatakan dalam persamaan:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_H} \quad (2.17)$$