

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Dalam penulisan tugas akhir ini dibutuhkan beberapa studi literatur terlebih dahulu ada banyak tinjauan pustaka yang melandasi munculnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis karena adanya dorongan untuk mencari metode dan pembahasan baru sehingga dapat membantu dalam penyusunan laporan ini. Ada banyak jurnal penelitian yang mengangkat tentang materi yang disajikan, yang diharapkan dapat menghasilkan teori ataupun rumusan sehingga tujuan dan manfaat dari pada penelitian ini dapat tercapai.

Homzah, O.F dkk (2021), pada penelitiannya menyatakan tentang pembuatan Prototipe Turbin Angin Savonius Kecil, didapatkan hasil pada pengujian dengan menggunakan *reducer* dengan tiga sudu turbin, bahwa kecepatan rotasi meningkat secara dramatis dari 20% menjadi 90% mencapai kurang dari 60 detik. Daya bersih yang diekstraksi dengan menggunakan dua kali kelengkungan sudut maksimum mencapai 13% hingga 36% dari daya turbin (Watt). Dengan hasil ini tentunya bisa dijadikan sebagai prototipe sederhana di masa depan, hal ini juga memungkinkan untuk diterapkan sebagai solusi alternatif dalam industri energi hijau.

Ching, Jwo Song dkk (2013), pada penelitiannya menyatakan bahwa mesin pendingin ruangan tipe terpisah (AC Split) ini memiliki potensi energi besar yang dapat dimanfaatkan yaitu kecepatan udara buang pada unit *outdoor* yang mencapai 2-6 m/s. Tentunya berdasarkan tersebut dengan perancangan turbin angin dengan memanfaatkan potensi kecepatan udara kering yang dihasilkan oleh unit *outdoor* berpotensi dalam penerapan konservasi energi menjadi energi listrik.

Dharma, U.S, Masherni (2016), pada penelitiannya menyatakan tentang pengaruh desain sudu turbin angin terhadap unjuk kerja *prototype* turbin angin

vertical axis savonius didapatkan hasil bahwa, dari ketiga variasi sudu berdasarkan pengujian dengan beda kecepatan angin maka didapatkan hasil desain terbaik yang menghasilkan daya turbin dan daya generator pada penelitian ini yaitu dimiliki oleh desain sudu h/L 7/16 dengan luas plat  $0,144\text{m}^2$  dengan kecepatan angin yang paling tinggi 6,1 m/s dapat menghasilkan daya turbin angin sebesar 6,125 Watt dan daya generatornya dapat menghasilkan daya sebesar 4,391 Watt.

Canra, Delffika dkk (2018), pada penelitiannya menyatakan tentang Analisa Busur Sudu Turbin Angin Savonius Tipe-U Menggunakan Perangkat Lunak Solidwork bahwa dari hasil simulasi radius dan lebar penampang membuktikan ada pengaruh geometri dalam peningkatan daya turbin berturut-turut sebesar 7,78 % dan 19,76 %. Serta variasi sudu yang menghasilkan daya terbesar terdapat pada variasi sudu dengan radius 75 dan luas penampang 130 pada kecepatan angin 4,8 m/s.

Ridwan, dkk (2018), pada penelitiannya menyatakan tentang Pengaruh Jumlah Sudu dan Jumlah *Fin* pada Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tipe U dari penelitiannya didapatkan hasil bahwa distribusi tekanan yang terjadi pada rotor dipengaruhi oleh jumlah sudu dan jumlah *fin* yang ditambahkan pada sudu. Pada kecepatan angin yang sama, distribusi tekanan maksimum terjadi pada rotor dengan jumlah *blade* tiga yang ditambahkan 1 *fin* yaitu 101329.92 Pa, distribusi tekanan paling rendah terjadi pada rotor dua *blade* tanpa penambahan *fin* yaitu 101316.84 Pa.

Distribusi kecepatan terlihat merata dan luas terjadi pada penambahan *fin* baik untuk rotor dua sudu (*blade*), maupun pada rotor tiga sudu. Distribusi kecepatan tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu dengan penambahan 1 *fin* dibanding sudu tanpa *fin* serta sudu dua *fin*. Pada jumlah sudu yang sama penambahan *fin* memberikan distribusi kecepatan yang lebih tinggi dan merata dibanding sudu tanpa *fin*.

Eko Susetyo Yulianto (2018), pada penelitiannya menyatakan tentang Desain dan Simulasi Sudu Turbin Angin Model Savonius Tipe U Menggunakan *Software* Solidwork 2018 didapatkanlah hasil bahwa hasil

analisa aliran menggunakan *software* Solidwork 2018 diketahui bahwa distribusi kecepatan angin pada sudu turbin angin model Savonius tipe U dengan diameter x panjang yaitu 824mm x 1200mm terlihat merata pada setiap sudu dan berpotensi untuk memberikan dorongan pada sudu sehingga pada akhirnya akan memberikan kecepatan putar pada rotor turbin.

Jamal (2019), di dalam penelitiannya menyatakan tentang Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius didapatkan hasil penelitian bahwa turbin 2 sudu menghasilkan putaran yang lebih besar dibandingkan turbin 3 dan 4 sudu, tetapi turbin 2 sudu memiliki momen torsi yang rendah dibandingkan turbin 3 dan 4 sudu, hal ini terlihat pada rendahnya efisiensi turbin 2 sudu pada kecepatan angin rendah dengan pembebanan tinggi.

Pada kecepatan angin 3,5 m/s turbin 2 sudu memiliki efisiensi yang cenderung sama dengan turbin 3 dan 4 sudu hingga beban 0,5 N tetapi pada beban 0,6–1,2 N turbin 2 sudu memiliki efisiensi yang lebih rendah, sedangkan pada kecepatan angin 4,5–6,5 m/s turbin 2 sudu memiliki efisiensi yang lebih besar dari turbin 3 dan 4 sudu hingga beban 1,2 N tetapi jika beban ditambah maka efisiensi turbin 2 sudu dapat lebih kecil dari efisiensi 3 dan 4 sudu.

Luthfi Hakim dan Achmad Rijanto (2018), pada penelitiannya menyatakan tentang Studi Experimental Kinerja Turbin Angin Darrieus dan Savonius (DS) Pada Kecepatan Angin Rendah didapatkan hasil penelitian yang menyatakan bahwa pada uji experimental yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin yang dapat dikonversi menjadi *energy* maka daya yang di hasilkan juga semakin besar. Turbin angin desain telah mampu melakukan start-up pada kecepatan 8 m/s dan mampu menghasilkan daya maksimal sebesar 48.2 Watt

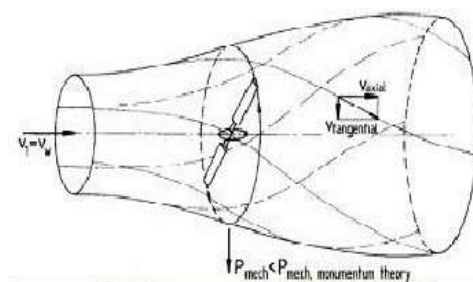
Farel H. Napitupulu, Fritz Mauritz (2016), pada penelitiannya menyatakan tentang Uji Eksperimental Dan Analisis pengaruh Variasi Kecepatan dan Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Putaran Turbin Angin *Vertical Axis* Savonius Dengan Menggunakan Sudu Pengarah didapatkanlah hasil bahwa kecepatan putar turbin angin savonius akan semakin cepat seiring dengan penambahan jumlah sudu dan kecepatan angin. Daya yang dihasilkan

turbin angin berbanding lurus dengan kecepatan putar turbin. Semakin cepat putaran turbin maka daya yang dihasilkan turbin akan semakin cepat putaran maksimum pada turbin angin savonius ini adalah 62,63 rpm pada kecepatan angin 7,61 m/s dan jumlah sudu turbin angin delapan.

## 2.2 Energi Angin

Energi angin adalah energi kinetik dari pergerakan sejumlah massa udara diseluruh permukaan bumi. Sudu dari turbin angin akan menerima energi kinetik tersebut dan merubahnya menjadi energi mekanik atau energi listrik tergantung dari kebutuhan. Secara sederhana energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutarakan sudu-sudu yang terdapat pada kincir angin, dimana sudu ini terhubung dengan poros dan memutarakan poros yang telah terhubung dengan generator dan menimbulkan arus listrik. Kincir yang besar dapat digabungkan secara bersama-sama sebagai energi tenaga angin, dimana akan memberikan daya kedalam sistem transmisi kelistrikan.

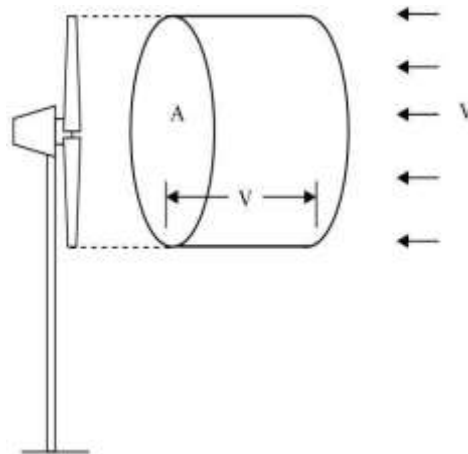
Model sederhana dari turbin angin mengambil dasar teori dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki performa sayap atau *propeller*. Dalam model sederhana, ini memungkinkan *Newtonian mechanics* digunakan, aliran diasumsikan *steady* dan mendatar, udara diasumsikan *incompressible* dan *inviscid* serta aliran *downstream* (aliran setelah melalui rotor) diasumsikan konstan disekeliling bagian *streamtube* dengan tidak ada diskonuitas tekanan diseberang perbatasan *streamtube*.



**Gambar 2.1** Teori Momentum Dengan Mempertimbangkan Bangun Rotor Berputar (Sumber: Aryanto, Firman. dkk, 2013)

Energi kinetik pada aliran udara dengan massa  $m$  dan bergerak dengan kecepatan  $V$  dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (2.1)$$



**Gambar 2.2** Aliran udara yang melewati bilah turbin angin  
(Sumber: Wikantyoso, M.F, 2017)

Energi kinetik yang tersedia dari aliran udara pada turbin dapat dirumuskan :

$$E = \frac{1}{2} \rho_a v V^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana  $\rho_a$  adalah densitas udara, dan  $v$  adalah volume udara yang terdapat pada rotor. Aliran udara yang bersentuhan dengan rotor per satuan waktu memiliki luas penampang yang sama dengan luas penampang rotor tersebut ( $A_T$ ) dan ketebalannya sama dengan kecepatan angin ( $V$ ), maka energi per satuan waktu atau daya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} \rho_a A_T V^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

## 2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mempermudah para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*. Berdasarkan arah sumbu rotasi, turbin angin diklasifikasikan menjadi dua bagian utama yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).

### 1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

*Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) memiliki rotor yang terhubung dengan *shaft* secara *horizontal*. Generator dan *gearbox* juga terhubung dengan *shaft* secara *horizontal*. Sehingga rotor, generator, dan *gearbox* terhubung dalam satu *shaft* secara *horizontal*. Kelebihan HAWT adalah turbin mulai menghasilkan energi pada saat kecepatan yang lebih rendah dan efisiensi yang tinggi. Kekurangan dari HAWT adalah biaya perawatan yang tinggi, dan *rotor* tidak dapat menangkap angin dalam berbagai arah.



**Gambar 2.3** Turbin Angin *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)  
(Sumber: Wikantyoso, M.F, 2017)

## 2. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

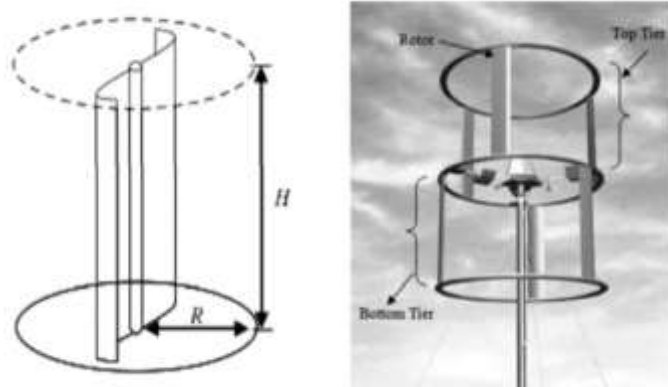
*Vertical axis wind turbine (VAWT)* merupakan turbin angin yang rotor dan *gearbox* terhubung dengan *shaft* secara vertikal sehingga sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Kelebihan dari VAWT adalah mampu dioperasikan di daerah dengan kecepatan angin rendah dan bervariasi, konstruksi sederhana dan perawatannya lebih mudah. Sedangkan kekurangan VAWT adalah energi yang dihasilkan rendah dan mudah mengalami stall ketika kecepatan angin sangat tinggi.

Turbin angin sumbu vertikal atau tegak (TASV) memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus dengan sudu turbin. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu menggunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Ada beberapa kelebihan yang dimiliki oleh kincir sumbu vertikal, antara lain: aman, mudah dibangunnya, bisa dipasang tidak jauh dari tanah, dan lebih baik dalam menangani turbulensi angin. Generator dan *gearbox* bisa ditempatkan tidak jauh dari permukaan tanah. Hal ini meringankan beban tower dan memudahkan perawatan. Kincir sumbu vertikal yang lazim digunakan adalah Savonius dan Darrieus.

1. Savonius merupakan jenis kincir angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer. Kincir Savonius dapat berputar karena adanya gaya tarik (*drag*). Efisiensi yang bisa dicapai turbin angin jenis ini sekitar 30%.
2. Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudut bilah diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan Savonius, Darrieus

memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.



**Gambar 2.4** Turbin angin *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)  
(Sumber: Wikantyoso, M.F, 2017)

#### 2.4 Teori Momentum Elementer Betz

Menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energy yang maksimum dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 dari energi yang tersedia. Sedangkan hal tersebut juga dapat dicapai dengan daun turbin yang dirancang dengan sangat baik serta dengan kecepatan keliling daun pada puncak daun sebesar 6 kali kecepatan angin.

Teori Momentum Elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Walaupun Teori Elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya.



Teori Momentum Elementer Betz digunakan untuk menganalisis besarnya energi aliran udara yang diserap. Walaupun Teori Elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, teori ini cukup baik dalam menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversi menjadi energi lainnya.

Dengan menganggap bahwa kecepatan udara yang melalui penampang  $A$  adalah sebesar  $v$ , maka aliran volume udara yang melalui penampang rotor pada setiap satuan waktu sebagai berikut:

$$V = vA \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

$V$  = Laju volume udara ( $m^3/s$ )

$v$  = Kecepatan angin ( $m/s$ )

$A$  = Luas area sapuan rotor ( $m^2$ )

Maka laju aliran masa udara dapat dituliskan sebagai berikut:

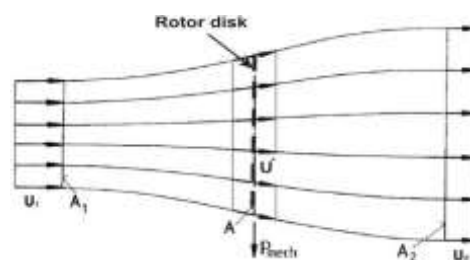
$$m = \rho vA \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$m$  = Laju aliran massa udara ( $kg/s$ )

$\rho$  = Massa jenis udara ( $kg/m^3$ )

Dalam sistem konversi energi angin, energi mekanik pada turbin hanya dapat diperoleh dari energi kinetik yang terdapat pada angin, berarti jika aliran massa udara tidak mengalami perubahan, kecepatan angin pada bagian belakang turbin mengalami penurunan, dan luas penampang aliran udara pada bagian belakang rotor menjadi lebih besar seperti pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.5** Profil Kecepatan Angin Melewati Rotor  
(Sumber: Aryanto, Firman. dkk, 2013)

Jika  $v_1$  = kecepatan angin bagian depan rotor,  $v_2$  = kecepatan angin bagian belakang rotor dan  $v'$  = kecepatan angin pada saat melalui rotor berdasarkan persamaan kontinuitas maka dapat dirumuskan:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Persamaan yang menyatakan besarnya energi kinetik yang melewati penampang rotor pada setiap satuan waktu tertentu, dinyatakan sebagai daya yang melewati penampang rotor adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

P = Daya mekanik (Watt)

Energi kinetik dapat diambil dari angin dengan mengurangi kecepatannya. Artinya kecepatan udara di belakang rotor akan lebih rendah daripada kecepatan udara di depan rotor. Energi mekanik yang diambil dari angin setiap satuan waktu didasarkan pada perubahan kecepatannya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

P = Daya yang diekstraks (Watt)

$A_1$  = Luas penampang udara sebelum melalui rotor ( $m^2$ )

$A_2$  = Luas penampang udara setelah melalui rotor ( $m^2$ )

$v_1$  = Kecepatan aliran udara sebelum melalui rotor (m/s)

$v_2$  = Kecepatan aliran udara setelah melalui rotor (m/s)

$\rho$  = Massa jenis udara ( $kg/m^3$ )

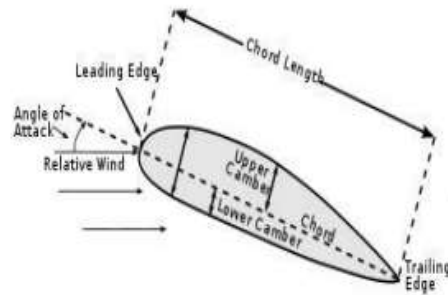
## 2.5 Sudu (*Blade*)

Sudu merupakan suatu penampang yang menampung bentuk aliran udarayang dibuat untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada saat

tertentu yang dimanfaatkan oleh turbin angin. Gaya dorong yang dihasilkan oleh sudu inilah yang kemudian dimanfaatkan menghasilkan torsi. Besar kecilnya gaya angkat yang terjadi akan berubah-ubah tergantung desain sudu dan kondisi operasinya. Pada pesawat terbang, gaya angkat pada sayap utama digunakan sebagai gaya pelawan, gaya berat pesawat yang memungkinkan pesawat terbang dapat lepas landas dan tetap melayang di angkasa, selain itu gaya angkat pada sayap-sayap pembeloknya digunakan untuk manuver pesawat ketika berada di udara dengan cara mengubah ubah sudut serangnya sehingga gaya angkat yang dihasilkan dapat diatur sedemikian rupa untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan: vertikal, horisontal, atau pun putar terhadap sumbu aksial gaya dorong yang dihasilkan pada sudu-sudu turbin angin dimanfaatkan untuk memutar generator listrik yang terhubung dengan poros turbin angin.

Agar generator listrik dapat bekerja dengan baik dan aman maka putaran harus selalu dijaga pada kisaran tertentu. Sudu dapat menghasilkan gaya dorong yang dibutuhkan untuk mempertahankan turbin angin supaya tetap berputar. Untuk menghasilkan gaya dorong ini maka sudu tersebut perlu terus berputar. Bentuk dari suatu sayap atau sudu yang dapat menghasilkan gaya dorong ketika ditumbok oleh suatu bentuk aliran udara (*Airfoil*). Rotor kincir angin terdiri dari satu atau lebih sudu-sudu yang melekat pada poros turbin (pusat dari sudu).

Gaya dorong yaitu gaya yang dialami oleh objek didalam aliran udara yang searah dengan aliran udara, sedangkan gaya angkat merupakan gaya yang dialami objek dalam aliran udara yang tegak lurus arah aliran udara tersebut. Sudut yang dibentuk oleh objek terdapat arah aliran yang diukur terhadap suatu garis referensi pada objek disebut *angle of attack* ( $\alpha$ ), garis referensi pada penampang *airfoil* biasa disebut *chord line*. *Airfoil* merupakan penampang objek yang dirancang untuk meminimalisasi gaya dorong. Bentuknya bulat pada bagian hidung (*leading edge*) dan lancip pada bagian ekornya (*trailing edge*). Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



**Gambar2.6** Bagian penampang *Airfoil*  
 (Sumber: Dharma, U.S dan Masherni, 2016)

Setiap permukaan *Airfoil* yang mengalir udara terdapat dua gaya yang bekerja yaitu gaya hambat dan gaya angkat. Gaya hambat adalah gaya yang diukur sejajar dengan aliran udara yang menabrak kincir, gaya ini umumnya diperkecil dalam perancangan kincir.

Gaya angkat merupakan gaya yang diukur tegak lurus dari aliran udara yang menabrak kincir. Besarnya gaya dorong dan gaya angkat tergantung oleh sudut serang ( $\alpha$ ). Dalam perancangan *airfoil* yang terpenting adalah rasio koefisien gaya dorong dan koefisien gaya angkat harus diminimalisasikan agar didapat efek aerodinamika yang seefisien mungkin.

**Menentukan Luas Plat Yang Digunakan Sebagai Bahan Sudu**

Dalam menentukan luas plat yang akan digunakan untuk membuat sudu dapat diketahui dengan mencari sudut ( $\alpha$ ) atau sudut yang dibentuk oleh kedua ujung plat setelah proses pembentukan sudu. Adapun persamaan untuk menentukan sudut ( $\alpha$ ) yaitu sebagai berikut ini:

$$h = \frac{L}{2} \tan \frac{\alpha}{4} \dots\dots\dots (2.9)$$

Maka,

$$\frac{2h}{L} \tan \frac{\alpha}{4} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

h = tinggi lengkungan sudu (m)

L = lebar sudu (m)

Setelah diketahui sudut ( $\alpha$ ), maka untuk menentukan jari-jari sudu dapat digunakan persamaan berikut:

$$L = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Maka,

$$r = \frac{L}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

$L$  = Lebar sudu (m)

$r$  = Jari-jari sudu (m)

Setelah jari-jari sudah diketahui maka untuk menentukan lebar plat yang akan digunakan dapat diperoleh dengan persamaan:

$$b = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

$b$  = lebar sudu setelah dilengkungkan (m)

$d$  = Diameter sudu (m)

Maka luas plat yang akan digunakan sebagai bahan sudu dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$A = t \cdot b \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$A$  = Luas penampang sudu dilengkungkan = luas penampang sapuan ( $m^2$ )

$t$  = panjang sudu (m)

$b$  = lebar setelah dilengkungkan (m)

## 2.6 *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

*Computational fluid dynamics (CFD)* adalah ilmu yang digunakan untuk menentukan solusi numerik dari persamaan yang mengatur aliran fluida dengan bantuan komputasi komputer. Prinsipnya adalah suatu ruang berisi fluida yang akan dilakukan perhitungan dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Sel merupakan sebuah kontrol perhitungan yang akan dilakukan oleh suatu aplikasi. Pada setiap sel akan dilakukan perhitungan dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Secara umum proses perhitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama yaitu:

### 1. *Pre-processing*

*Pre-processing* adalah langkah awal dalam menganalisa sebuah model CFD. Sebelum sebuah model dianalisa, geometri model harus di definisikan terlebih dahulu menjadi *domain* komputasi. Kemudian membuat *meshing* yang sesuai dengan geometri dan analisa yang akan dilakukan. Terakhir mendefinisikan kondisi batas dan sifat dari fluida yang akan digunakan.

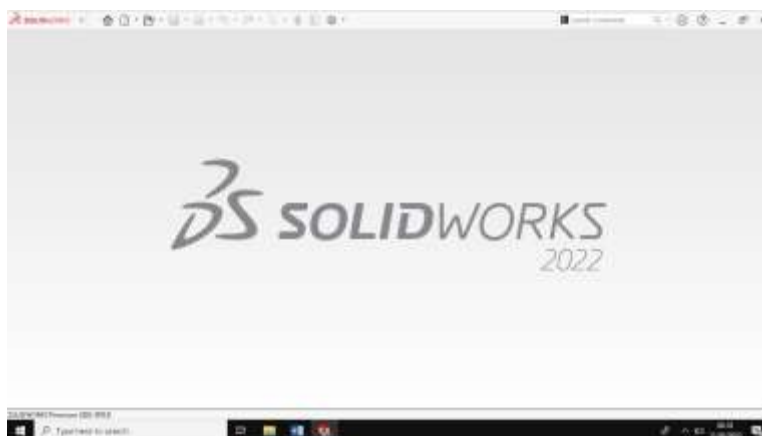
### 2. *Solving*

*Solving CFD* merupakan proses pengolahan dan perhitungan dari kondisi yang telah di tetapkan saat *pre-processing*. Pada tahapan ini dilakukan proses komputasi numerik dengan menggunakan metode numerik berupa pendekatan variabel yang diketahui menjadi fungsi yang lebih sederhana, diskritisasi dengan substitusi pendekatan kedalam persamaan yang mengatur aliran, serta solusi dari persamaan aljabar.

### 3. *Post-processing*

*Post-processing* merupakan tahap akhir dalam analisis CFD. Pada tahapan ini hasil dari komputasi numerik yang telah dilakukan dibuat visualisasikan dan didokumentasikan dalam bentuk gambar, kurva, dan animasi.

## 2.7 Solidwork



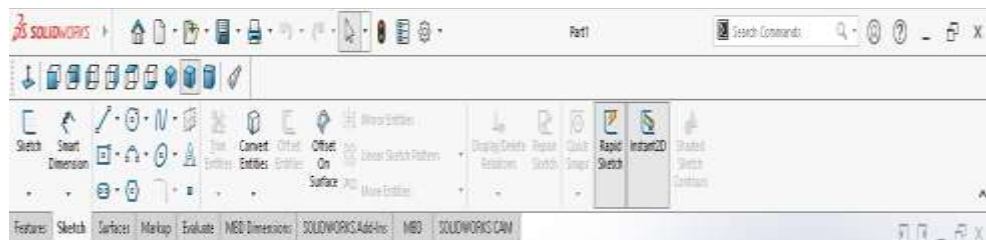
**Gambar 2.7** Tampilan layar awal Solidwork 2022

Solidworks adalah salah satu CAD software yang dibuat oleh *Dassault Systems*. *Software* Solidwork digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum *real part*-nya dibuat atau tampilan 2D (*drawing*) untuk gambar proses permesinan. Solidwork pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai pesaing untuk program CAD seperti Pro-Engineer, NX Siemens, I-Deas, Unigraphics, Autodesk Inventor, Autodeks Autocad dan Catia. Saat ini banyak industri manufaktur yang sudah memakai *software* Solidwork.

Solidwork saat ini digunakan oleh lebih dari 3/4 juta insinyur dan desainer di lebih dari 80.000 perusahaan di seluruh dunia. Dahulu di Indonesia orang familiar dengan Autocad untuk desain perancangan gambar teknik, tapi sekarang dengan mengenal Solidwork, Autocad sudah jarang digunakan untuk menggambar bentuk 3D. Untuk pemodelan pada industri pengecoran logam dalam hal pembuatan *pattern* (pola/model), program 3D yang terdapat pada *software* Solidwork sangat membantu dalam pekerjaan, sebab akan memudahkan operator *pattern* untuk menterjemahkan gambar menjadi *pattern*/model *casting* pengecoran logam dan tentunya akan mengurangi kesalahan pembacaan gambar yang bisa mengakibatkan kesalahan pada produk yang dihasilkan.

### 2.7.1 Menggambar 2D dengan *Basic Sketch*

Sketch merupakan dasar dalam pembuatan sebuah objek dasar pada solidworks. Pada menu *sketch* terdapat berbagai perintah dasar seperti *line*, *circle*, *arc*, *polygon* dan lain-lain. Baris *command* (perintah) pada *menu sketch* dikategorikan menjadi dua bagian pokok yaitu *command draw* dan *command modify*. Perintah (*command*) pada *menu sketch* ditunjukkan pada gambar 2.10

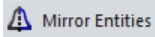



**Gambar 2.8** Perintah *Sketch*

#### 1. *Command Modify*

*Command modify* digunakan untuk membuat objek dengan cara memodifikasi *sketch* yang sudah ada. Beberapa perintah pokok yang dikategorikan dalam *command modify* dapat dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Perintah pokok pada menu *modify* Solidwork



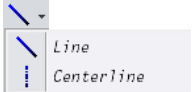
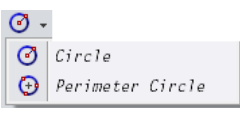
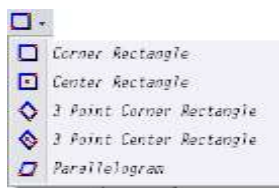
No	Toolbar	Command	Fungsi
1		<i>Mirror Entities</i>	Membuat bentuk geometri yang dicerminkan dari bentuk yang dipilih dengan menentukan garis pencerminan
2		<i>Offset Entities</i>	Membuat bentuk geometri yang sebangun dengan bentuk objek yang dipilih dengan menentukan jarak tertentu dari objek aslinya

#### 2. *Command Draw*

*Command draw* digunakan untuk membuat objek gambar pada *sketch*. Beberapa perintah pokok pada *menu draw* dapat dilihat pada tabel 2.2



Tabel 2.2 Perintah pokok pada menu *draw* Solidwork



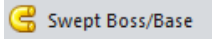
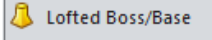
No	Toolbar	Command	Fungsi
1		<i>Sketch</i>	Membuat 2D <i>sketch</i>
		<i>3D Sketch</i>	Membuat 3D <i>sketch</i>
2		<i>Smart Dimension</i>	Memberikan ukuran dasar suatu <i>sketch</i>
3		<i>Line</i>	Membuat garis lurus
		<i>Centerline</i>	Membuat garis tengah
4		<i>Circle</i>	Membuat bentuk lingkaran
		<i>Perameter Circle</i>	Membuat lingkaran berdasarkan titik acuan
5		<i>Corner Rectangle</i>	Membuat segi empat dengan dua titik diagonal
		<i>Center Rectangle</i>	Membuat segi empat berdasarkan titik pusat acuan
		<i>3 Point Corner Rectangle</i>	Membuat segi empat berdasarkan diagonal dengan 3 titik acuan
		<i>3 Point Center Rectangle</i>	Membuat segi empat berdasarkan pusat bangun dan 2 titik acuan
		<i>Parallelogram</i>	Membuat bangun jajar genjang berdasarkan 3 titik acuan

### 2.7.2 Pembuatan Gambar Komponen 3D dengan *Part Modeling*

*Part* merupakan ruang gambar pemodelan 3D komponen suatu objek gambar. Dasar pembuatan *part* adalah gambar *sketch*. Setelah proses pembuatan *sketch* selesai, *menu sketch* secara otomatis akan beralih ke *menu*

*features*. Beberapa *command* yang terdapat pada *menu features* dapat dilihat pada tabel 2.3:

**Tabel 2.3** Beberapa *command* pada *menu features* Solidwork

No	Toolbar	Command	Fungsi
1	<i>Extrude</i> 	<i>Extrude Boss/Base</i>	Memberikan tinggi, tebal, atau kedalaman dari sebuah profil tertutup dengan ukuran tertentu
2	<i>Revolve</i> 	<i>Revolve Boss/Base</i>	Membuat bentuk silindris dengan cara memutar suatu bentuk profil terhadap sumbu yang ditentukan
3	<i>Swept</i> 	<i>Swept Boss/Base</i>	Membuat objek yang terbentuk dari <i>sketch</i> atau profil melalui garis edar
4	<i>Loft</i> 	<i>Loft Boss/Base</i>	Membuat objek dengan perpaduan beberapa bentuk atau potongan yang berbeda

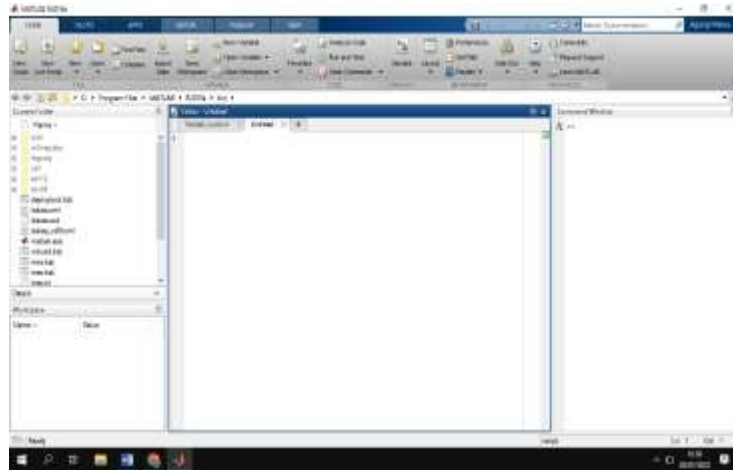
### 2.7.3 Proses Solidwork Simulation

Solidwork *simulation* adalah salah satu toolbar Solidwork yang berfungsi meragakan benda kerja yang telah dirancang dalam Solidwork yang bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik benda kerja seperti kekuatan benda kerja, tegangan benda kerja, ketangguhan benda kerja, kekuatan luluh benda kerja, kekerasan benda kerja, dan faktor keamanan (*safety factor*) benda kerja. Solidwork *simulation* selain dapat mengetahui sifat mekanik benda kerja, Solidwork *simulation* juga dapat mengetahui aliran fluida (*flow effect*) dan perpindahan panas (*thermal effect*) benda kerja. Perintah *solidwork simulation* pada menu *office products* ditunjukkan pada gambar 2.9



**Gambar 2.9** Perintah Solidwork Simulation

## 2.8 Matlab



**Gambar 2.10** Tampilan Awal Aplikasi Matlab

Pertama dirilis di tahun 1970 oleh MathWorks, MATLAB adalah salah satu platform yang paling banyak digunakan untuk mengolah angka dan bahasa pemrograman. Ada banyak sekali hal yang kamu bisa lakukan dengan MATLAB, khususnya yang terkait dengan rumpun ilmu di bidang teknik, matematika, dan sains. Matlab adalah platform pemrograman yang menggunakan bahasa berbasis matriks sehingga umumnya digunakan untuk menganalisis data, membuat algoritma, serta menciptakan pemodelan dan aplikasi. Aplikasi ini juga sering dimanfaatkan untuk mengembangkan *deep learning*, *machine learning*, dan hal-hal terkait lainnya. Siapa saja bisa menggunakan MATLAB, mulai dari pelajar hingga profesional.

### 2.8.1 Fungsi dan Bagian sistem Matlab

Fungsi aplikasi Matlab yang sering digunakan, antara lain sebagai berikut:

#### 1. Menyelesaikan masalah *engineering*

Matematika adalah bagian besar dari ilmu teknik, oleh karena itu Matlab sangat bermanfaat untuk menyelesaikan berbagai masalah yang dihadapi para *engineer*. Dengan Matlab yang mampu mengolah angka dan model rumit, solusi dapat dirancang, dicoba, dan terus dikembangkan dengan lebih cepat.

## 2. Mengolah permasalahan aljabar linear

Aljabar linear tak hanya dibutuhkan untuk menyelesaikan soal di bangku sekolah. Dalam dunia kerja, aljabar linear salah satunya digunakan untuk menghitung *Return On Investment* (ROI). Selain itu, rumus ini juga bisa bermanfaat untuk:

- Memprediksi jumlah *turn over* perusahaan
- *Inventory control*
- Menyusun rencana finansial
- Membuat keputusan bisnis yang tepat

Karena angka yang diolah biasanya dalam jumlah besar, tentunya penggunaan Matlab bisa sangat membantu prosesnya.

## 3. Analisis numerik

Analisis numerik adalah bagian dari ilmu statistika yang sering berguna untuk membuat keputusan di berbagai bidang ilmu keteknikan, seperti arsitektur, teknik sipil, dan bahkan teknik industri. Dengan Matlab, pengolahan datanya jadi lebih mudah.

## 4. Mengolah data riset

Matlab adalah program yang dapat digunakan untuk memvalidasi hasil riset dengan berbagai metode. Selain itu, hasil riset juga bisa divisualisasikan dengan jelas.

## 5. Simulasi

Di Matlab, kita bisa membuat suatu pemodelan ataupun algoritma untuk menyelesaikan masalah. Program ini bisa menguji keberhasilan model atau algoritma tersebut dengan menyimulasikan hasil akhirnya.

Bagian-bagian dari sistem matlab adalah sebagai berikut:

### 1. Matlab *language*

Matlab menggunakan *high-level matrix* atau *array language* yang bisa mengolah berbagai program atau fungsi yang kompleks.

## 2. *Working environment*

Matlab *working environment* adalah kumpulan *tool* dan fasilitas yang tersedia untuk bekerja di platform ini. Dengan *tool* dan fasilitas tersebut, kamu bisa mengelola variabel yang digunakan serta mengimpor dan mengekspor data. Tidak itu saja, masih ada banyak fungsi lain yang digunakan untuk mengembangkan apa saja yang kamu butuhkan dengan Matlab.

## 3. Sistem grafis

Sistem grafis Matlab adalah bagian yang digunakan untuk memproses gambar, visualisasi data, membuat animasi, dan mempresentasikan grafis.

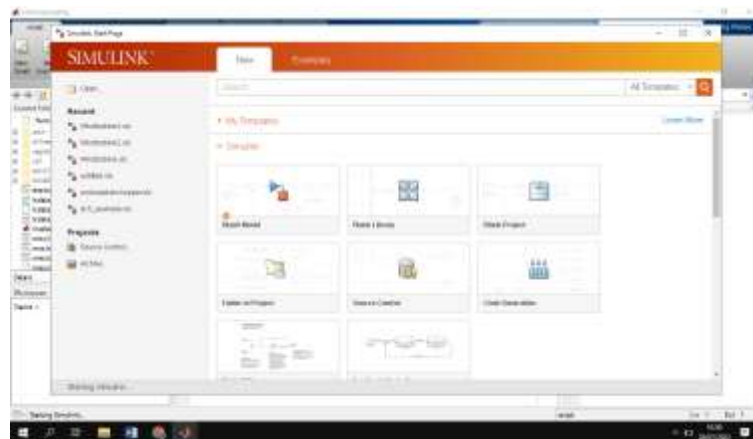
## 4. *Mathematical function library*

Di Matlab, tentunya salah satu bagian yang paling penting adalah fungsi matematisnya. Matlab sudah dilengkapi dengan kumpulan algoritma komputasional dari yang sederhana hingga sangat kompleks. Semua ini bisa diproses dalam kecepatan yang tinggi, asal perangkat kerasnya mendukung.

## 5. *Application Program Interface (API)*

API di Matlab adalah fitur yang memberi akses pada para penggunanya untuk menulis program C dan Fortran.

### 2.8.2 Simulink Matlab



**Gambar 2.11** Tampilan awal Simulink Matlab

Simulink merupakan salah satu komponen dari Matlab yang berperan sebagai pemrograman grafis. Kegunaan utama dari Simulink adalah untuk membuat dan menjalankan simulasi sistem dinamik. Proses simulasi dilanjut menggunakan diagram fungsional yang meliputi blok yang terhubung dengan fungsinya masing-masing secara ekuivalen. Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka pengguna grafis. Simulink terdiri dari beberapa kumpulan kotak perkakas yang dapat digunakan untuk analisis sistem *linier* dan *non-linier*. Beberapa pustaka yang sering digunakan dalam sistem kontrol antara lain *math*, *sinks*, dan *sources*.