



## **BAB II LANDASAN TEORI**



### **II.1. Pandangan Umum Angin**

Angin adalah massa udara yang bergerak. Angin dapat bergerak secara horisontal maupun secara vertikal dengan kecepatan bervariasi dan berfluktuasi secara dinamis. Faktor pendorong Bergeraknya massa udara adalah perbedaan tekanan udara antara satu tempat dengan tempat yang lain. Angin selalu bertiup dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan yang lebih rendah. Jika tidak ada gaya lain mempengaruhi, maka angin akan bergeser secara langsung dari udara bertekanan tinggi ke udara bertekanan rendah. Akan tetapi, perputaran bumi pada sumbunya, akan menimbulkan gaya yang akan mempengaruhi arah pergerakan angin.



#### **II.1.1 Fungsi Angin**

Ada 3 sifat angin yang dapat dirasakan orang awam yaitu:

1. Angin menyebabkan tekanan terhadap permukaan yang menentang arah angin tersebut.
2. Angin mempercepat pendinginan dari benda yang panas.
3. Kecepatan angin sangat beragam dari tempat ke tempat dan dari waktu ke waktu.



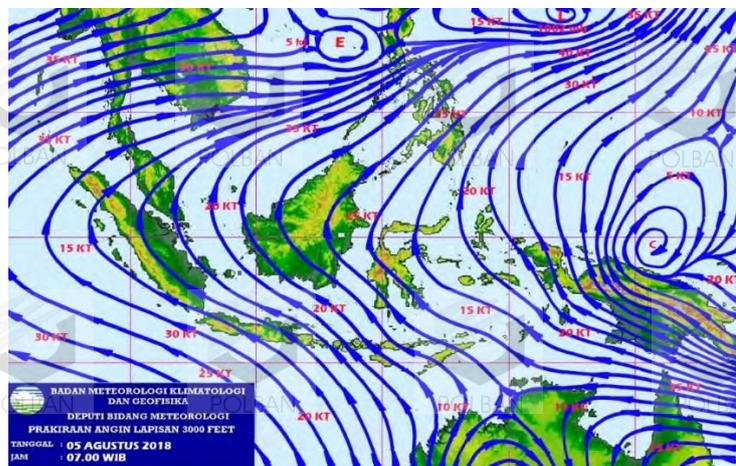
Sesungguhnya angin mempunyai fungsi lain yang sangat penting namun terkadang tidak disadari yakni adalah mencampur lapisan udara antara udara antara udara panas dengan antara dingin, antara udara lembab dengan udara dingin, antara udara yang kaya karbon dengan udara yang kandungan karbondioksidanya rendah. (Kandary, 2011).



#### **II.1.2 Potensi Angin di Indonesia**

Angin adalah adalah suatu objek yang transparan tercipta akibat pancaran radiasi matahari pada permukaan bumi yang menyebabkan terjadi perubahan temperatur, rapatannya massa dan perbedaan tekanan diantara dua tempat atau lebih. Energi yang tersedia pada angin berupa fungsi dari kecepatan angin. Energi

tersebut mengakibatkan energi kinetik. Berikut ini merupakan potensi kecepatan angin di Indonesia yang ditunjukkan pada Gambar II.1.



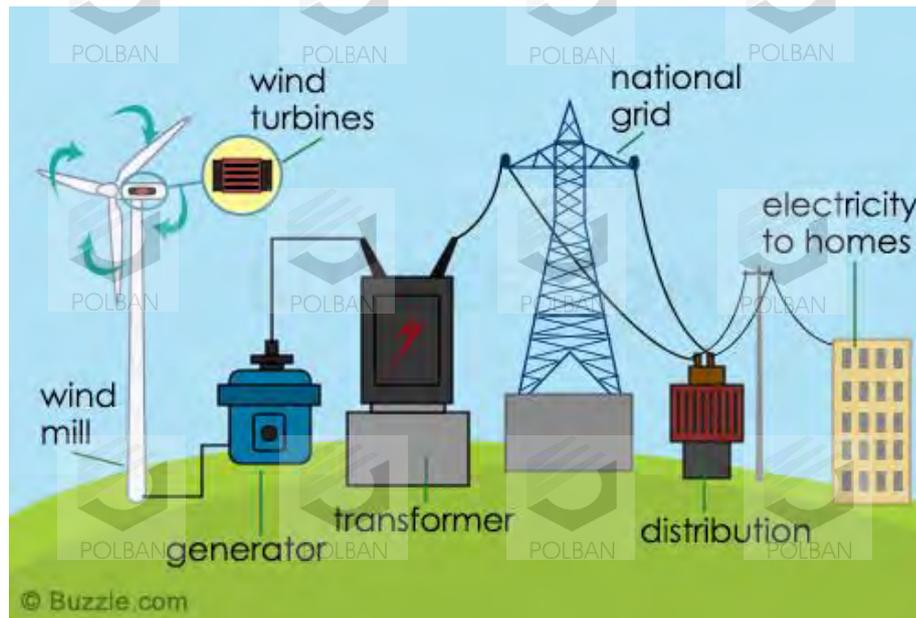
Gambar 0-1 Perkiraan Angin di Indonesia

(Sumber : [bmgk.go.id](http://bmgk.go.id))

Berdasarkan sumber BMKG bahwa angin bergerak dari arah timur menuju barat di wilayah Kepulauan Riau memiliki kecepatan angin 20 knot atau setara dengan 10,288 m/s untuk kondisi maksimum. Dengan data perkiraan tersebut dapat disimpulkan Kepulauan Riau memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan dengan memanfaatkan energi angin.

## II.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi agar dapat menghasilkan sebuah energi listrik. Pembangkit ini bekerja dengan mengkonversi energi kinetik menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin sebagai *prime mover* nya. Pembangkit listrik tenaga bayu ini adalah salah satu energi alternatif atau EBT (Energi baru terbarukan) yang sedang berkembang di Indonesia, karena angin merupakan energi yang tidak terbatas. Energi angin ini akan menghasilkan listrik dengan memutar sudu turbin lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator.



Gambar 0-2 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

(Sumber: <http://infostudikimia.blogspot.com/2017/02/teknologi-hijau-pembangkit-listrik.html>)

### II.3. Turbin Angin

#### II.1.1 Aerodinamis *Wind Turbine*

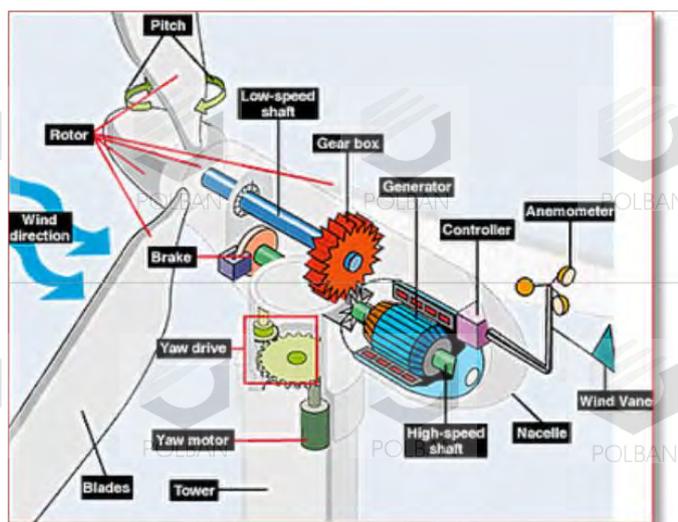
Turbin angin dapat merubah energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk mengoperasikan generator listrik.

Wilayah operasi *wind turbine* terdapat tiga titik yang berbeda :

1. *Cut-in wind speed*: kecepatan angin terendah dimana turbin angin mulai menghasilkan daya listrik.
2. *Rated wind speed*: kecepatan angin pada saat turbin angin menghasilkan daya listrik , yang biasanya merupakan daya maksimum dari turbin angin.
3. *Cut-out wind speed*: kecepatan angin yang dapat menghentikan dan mematikan turbin angin agar terlindung dari kerusakan mekanik.

## II.1.2 Komponen Turbin Angin Horizontal

Turbin angin berfungsi untuk merubah energi kinetik dari hembusan angin menjadi energi mekanis atau gerak. Pada artikel ini akan dijelaskan secara umum mengenai turbin angin sebagai pembangkit listrik. Bagan atau skema turbin angin dapat dilihat pada Gambar II.3 berikut:



Gambar 0-3 Komponen sistem turbin angin sumbu horizontal

(Sumber : *Introduction of Renewable Energy Lessin Modules At the Technical Schools In Indonesia*)

### a. Anemometer

Anemometer adalah sebuah alat pengukur kecepatan angin yang digunakan meteorologi dan geofisika stasiun prakiraan cuaca serta di gunakan pada turbin angin. Selain mengukur kecepatan angin, alat ini juga mengukur besarnya tekanan angin tersebut.

### b. *Blades/Sudu-sudu*

Perubahan energi kinetik menjadi mekanis terjadi pada bagian ini. Angin yang berhembus akan menggerakkan sudu-sudu sehingga memutar poros utama. Sudut serang dari sudu-sudu ini dapat diatur secara otomatis berdasarkan kecepatan angin, hal ini bertujuan untuk menjaga kecepatan putar dari poros utama agar tidak terlalu lambat atau terlalu cepat.

**c. Brake/Rem**

Rem bertipe cakram atau piringan yang berfungsi untuk menjaga putaran pada poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu di pasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Dampak dari putaran berlebih diantaranya: *overheat, rotor breakdown*, kawat pada generator putus akibat tidak dapat menahan arus cukup besar.

**d. Controller/Unit Pengendali**

Unit pengendali berfungsi untuk mengatur kerja dari turbin berdasarkan informasi berupa data kecepatan angin yang diterima dari anemometer. Unit pengendali akan memerintahkan turbin untuk bekerja ketika angin berhembus dengan kecepatan rendah antara 13 km/jam - 26 km/jam. Sebaliknya akan menghentikan kerja turbin bila angin berhembus dengan kecepatan diatas 86 km/jam, karena dapat merusak turbin.

**e. Gearbox/Roda Gigi**

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi meningkatkan putaran dari poros utama menjadi 1000-1800 putaran per menit yaitu kecepatan putar yang dibutuhkan bagi generator untuk membangkitkan listrik. Pada dasarnya *gearbox* yang di gunakan sekitar 1:60.

**f. Generator**

Generator adalah salah satu komponen yang terpenting dalam pembuatan turbin angin. Fungsi generator ini adalah mengubah energi mekanik putaran menjadi energi listrik. Arus yang dihasilkan adalah arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz.

**g. High-speed Shaft**

Poros yang berputar dengan kecepatan 1500 RPM kemudian membangkitkan ke generator. Elemen ini dilengkapi dengan *mechanical disk brake* yang digunakan untuk mengatasi kegagalan pengereman aerodinamis atau pada saat turbin sedang diperbaiki.

#### **h. Low-speed Shaft**

Disebut juga poros utama, yang terhubung dengan sudu-sudu dan berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar sudu-sudu. Kecepatan putar poros ini antara 30-60 putaran per menit.

#### **i. Nacelle**

*Nacelle* merupakan elemen utama karena berfungsi sebagai melindungi elemen-elemen vital seperti generator, *gear box*, poros, unit pengontrol, dan rem. Dapat dikatakan *nacelle* ini sebagai badan pembungkusnya. Di depan *nacelle* terdapat turbin, rotor *blade*, dan hub.

#### **j. Pitch**

*Pitch* adalah pengaturan kemiringan sudu-sudu terhadap arah hembusan angin yaitu untuk mengatur besaran sudut serang dari sudu-sudu. Jika kecepatan angin rendah, maka sudut serang dibuat lebih besar agar mampu memutar sudu-sudu lebih cepat. Sebaliknya jika hembusan angin lebih kencang maka sudut serang dibuat lebih kecil sehingga kecepatan putar sudu-sudu tidak terlalu tinggi. Jika kecepatan putar terlalu tinggi, akan menyebabkan listrik yang dibangkitkan terlalu besar serta dapat merusak sistem.

#### **k. Rotor**

Rotor merupakan elemen yang berfungsi untuk menangkap energi angin dan energi yang diperoleh akan di transfer melalui hub. Sudu-sudu dan poros yang terhubung disebut rotor/bagian yang berputar. Untuk kincir angin modern dengan kapasitas daya >600 KW, panjang rotor *blade* mencapai 20 meter (66 feet) dan umumnya di desain seperti desain sayap pesawat terbang.

#### **l. Tower**

*Tower* atau tiang pancang dibuat dari baja berbentuk pipa, beton, atau baja profil. Semakin tinggi tiang pancang maka energi yang dapat ditangkap semakin besar, karena kecepatan angin akan semakin besar di ketinggian.

#### **m. Wind vane/sirip**

Sirip ini berfungsi untuk mengetahui arah angin, dan memberikan informasi kepada unit pengendali agar memberikan perintah memutar arah turbin berlawanan dengan datangnya angin untuk mendapatkan energi yang

maksimal. Kincir akan berputar jika kecepatan angin paling tidak 5 m/s atau 10 knots dan akan berhenti secara otomatis paada kecepatan 25 m/s atau 50 knots. Ini dilakukan untuk melindungi turbin dan lingkungan sekitar.

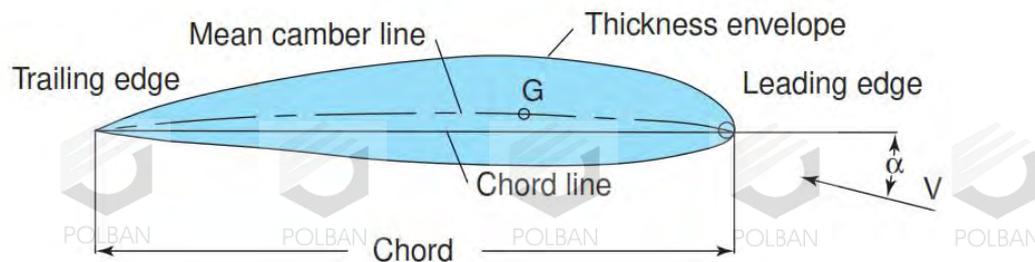
#### n. *Yaw drive dan Yaw motor*

*Yaw drive* adalah komponen penting pada turbin angin sumbu horisontal. Untuk memastikan turbin angin menghasilkan jumlah energi listrik maksimal setiap saat. *Yaw drive* digunakan untuk menjaga rotor menghadap angin saat arah angin berubah. Dan *Yaw motor* adalah komponen motor listrik untuk menggerakkan *Yaw drive*.

### II.1.3 Blade Turbin Angin

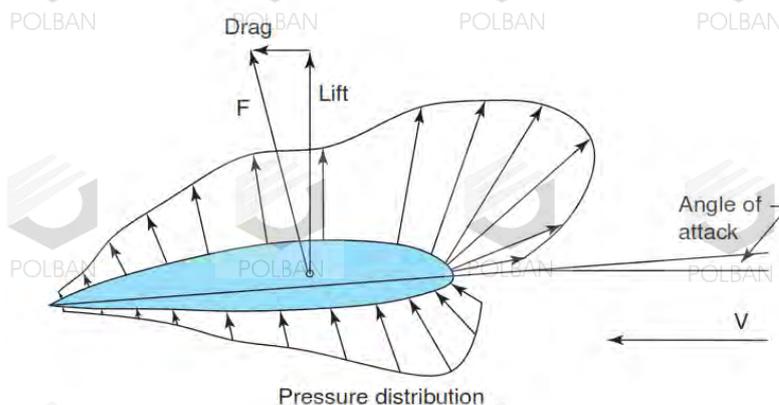
*Blade* turbin angin merupakan komponen paling utama dalam turbin angin yang berfungsi untuk menangkap energi angin untuk dikonversikan menjadi energi mekanik dan listrik. *Blade* turbin angin dibedakan menjadi bentuk dan variasi yaitu : bahan, ukuran, jenis *blade*, dan jumlah *blade*. Syarat penting pada turbin angin sumbu horizontal adalah jari – jari *blade*, jumlah *blade*, sudut *blade*, panjang *chord*, jenis *airfoil*, dan bahan baku. Ketika angin dari arah depan dan mengenai *blade* yang *aerodinamis*, maka *blade* akan menghasilkan vektor daya atau *lift* (L) atau daya angkat dan *drag* (D) atau daya dorong. Perubahan daya – daya tersebut dipengaruhi oleh bentuk geometri dari *blade*, kecepatan dan arah angin terhadap garis utama *blade*. Akibat dari perubahan gaya angkat dan gaya dorong ini akan menimbulkan perbedaan kecepatan sudut dan nilai torsi pada poros turbin. Oleh karena itu posisi kemiringan dari sudut *blade* turbin sangat berpengaruh terhadap hembusan angin. Dengan perubahan sudut *blade* tersebut maka akan mempengaruhi kecepatan sudut turbin anign yang nilainya berbanding lurus dengan nilai produksi energi angin, maka dari itu pelurusan posisi sudut *blade* turbin angin menjadi penting.

Penentuan sudut *blade* turbin angin adalah mengacu pada sudut serang *blade* terhadap aliran fluida yang melintas. Pada turbin angin pengaturan sudut *pitch* dilakukan untuk menyesuaikan daya maksimum yang dapat dihasilkan terhadap kecepatan angin yang berfluktuasi.



Gambar 0-4 Airfoil

Sumber: (Hemami, 2012)



Gambar 0-5 Pitch Control

Sumber: (Hemami, 2012)

#### II.1.4 Metoda Pengoprasian Turbin Angin

Ada tiga mode untuk mengontrol *variable-speed pitch* pada *wind turbine*. Pemilihan mode operasi tergantung pada kecepatan angin yang tersedia dan jumlah daya yang dibutuhkan untuk mensuplai beban.

Tiga mode tersebut adalah :

1. *Maximum Power Point Tracking*: mode yang digunakan untuk mengkonversikan daya maksimum dari angin, pada saat kecepatan angin rendah akan mengikuti nilai koefisien daya.
2. *Power Regulation*: semakin banyaknya daya angin yang masuk pada sistem. Pada pengoperasian wind turbine tidak mungkin untuk menjaga agar daya yang dihasilkan konstan. Oleh karena itu, pengaturan tegangan dan frekuensi diperlukan, agar daya listrik yang dihasilkan sesuai dengan permintaan beban.

3. *Pitch Control*: mode ini dioperasikan ketika kecepatan angin diluar dari nilai rata-rata, dalam situasi ini torsi elektromagnetik tidak cukup untuk mengontrol kecepatan rotor dengan demikian generator akan overload. Untuk menghindari hal ini, konversi daya turbin angin harus dibatasi dan ini dapat dilakukan dengan mengurangi koefisien daya ( $C_p$ ) dari turbin angin. Koefisien daya dapat dimanipulasi dengan menggunakan *pitch angle* ( $\beta$ ).

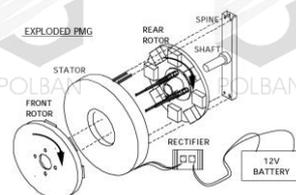
## II.4. Generator

### II.4.1 Generator Magnet Permanen

Desain dari generator magnet permanen sendiri dirancang secara khusus karena mempertimbangkan energi utama yang dikonversi adalah energi angin.

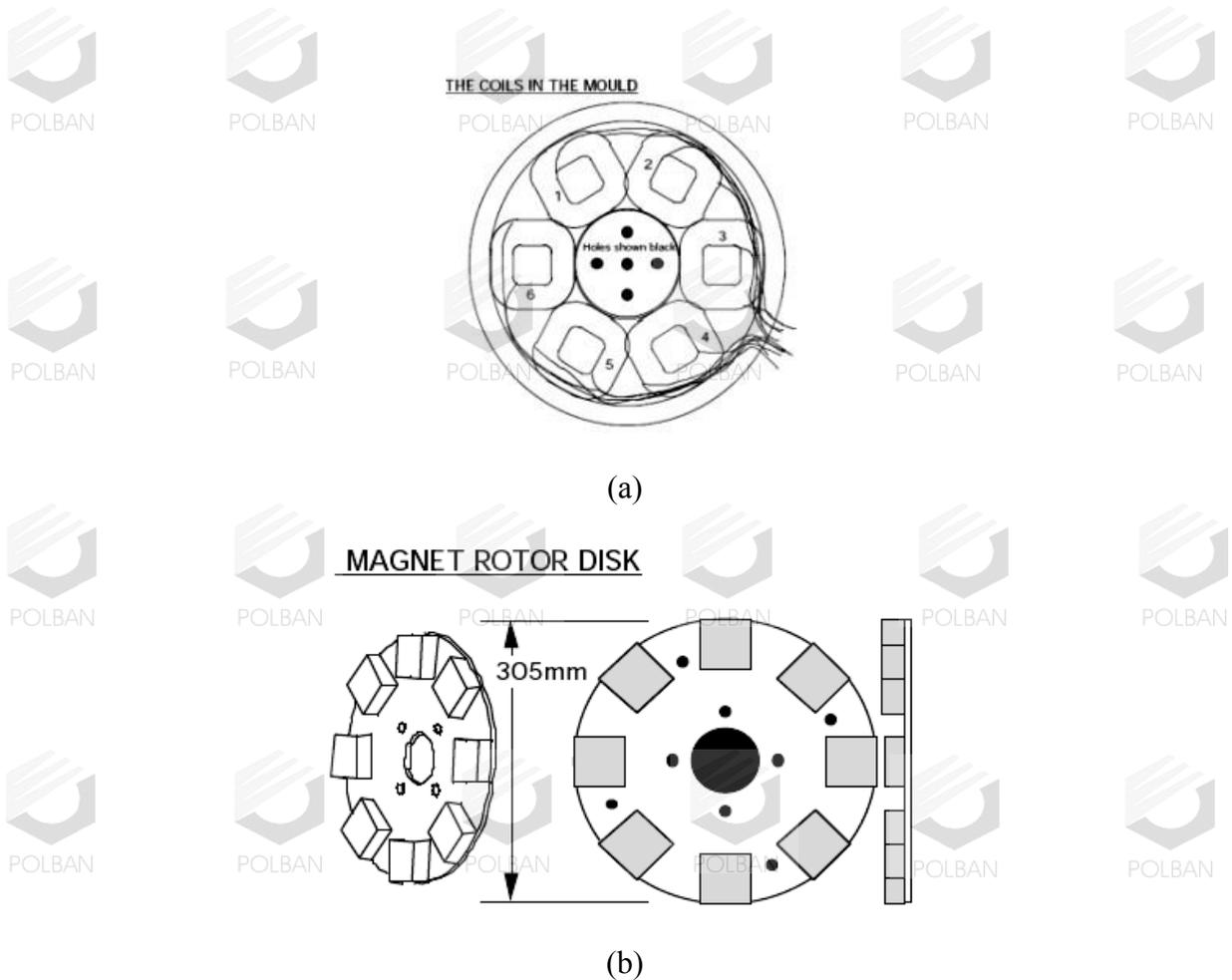
Dibutuhkan rpm rendah untuk memutar generator magnet permanen supaya menghasilkan listrik.

Fluksi magnet yang dibutuhkan untuk pembangkitan energi listrik didapat dari magnet permanen, maka generator tidak memerlukan proses *excitasi* pembangkitan sehingga efisiensi penggunaan energi listrik untuk dimanfaatkan sebagai suplai beban sangat baik.



Gambar 0-6 Konstruksi dari generator magnet permanen

Sumber: (Nakhoda & Saleh, 2016)



Gambar 0-7 Konstruksi (a) stator dan (b) rotor generator magnet permanen

Sumber: (Nakhoda & Saleh, 2016)

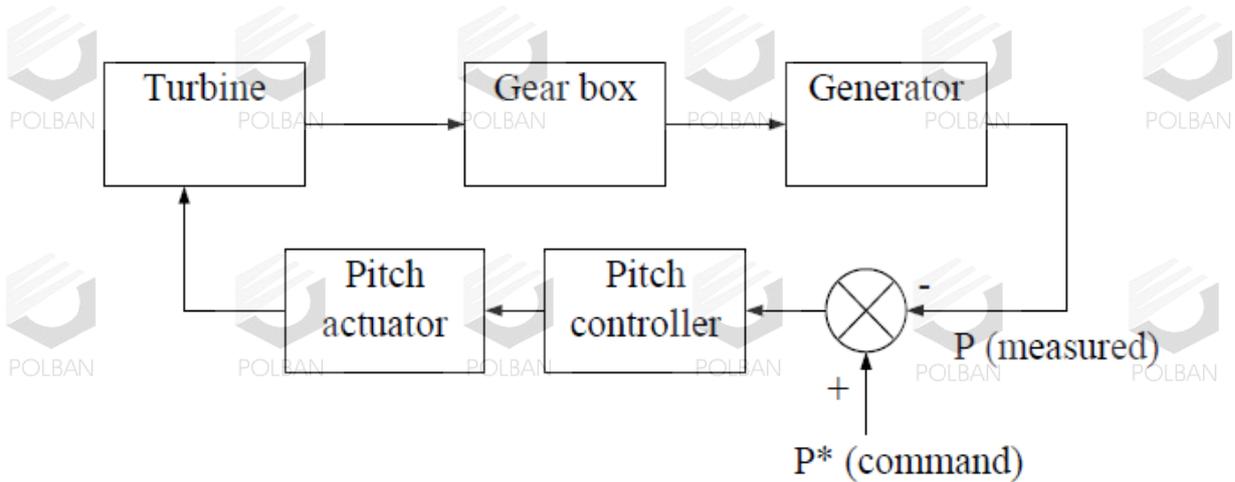
*Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* merupakan generator sinkron yang mempunyai magnet permanen. PMSG ini akan dikopel dengan turbin angin agar menghasilkan energi listrik, sehingga dengan adanya PMSG dapat mengurangi biaya pengeluaran yang mahal. PMSG mempunyai efisiensi yang kurang optimal untuk menghasilkan daya listrik. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin, pitch angle, dan lain-lain. Oleh karena itu, PMSG perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal.

## II.5. *Pitch Angle Control*

*Pitch Angle Control* merupakan kendali untuk mengatur sudut pada *blade* turbin angin agar kecepatan putar tidak melebihi kecepatan nominalnya. Hal ini

tidak berlaku pada kecepatan angin dibawah nilai nominalnya, dikarenakan *Pitch Angle Control* tidak dapat menaikkan kecepatan putar pada turbin angin.

Cara kerja *Pitch Angle Control* adalah dengan merubah sudut serang *blade* turbin angin terhadap arah kecepatan angin yang dimana sensor membaca kecepatan angin untuk membandingkan nilai daya yang dibangkitkan dengan daya yang dibutuhkan lalu aktuator akan bekerja untuk mengubah sudut dari *pitch* ketika nilai kecepatan angin lebih besar dari nilai nominal kecepatan turbin.



Gambar 0-8 Blok Diagram *Pitch Angle Control*

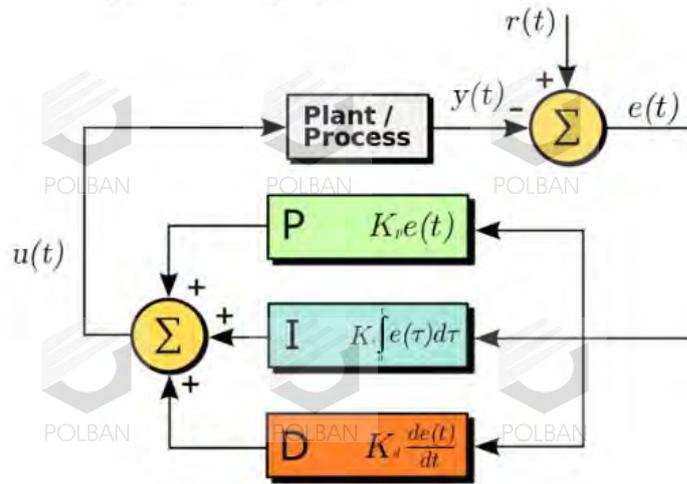
## II.6. Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkaian harga (*range*) tertentu. Pada sistem kontrol ini otomatisasi sangat membantu dalam hal kelancaran operasional, keamanan (investasi, lingkungan), ekonomi (biaya produksi), mutu produk, dll.

Suatu sistem kontrol otomatis dalam suatu proses kerja berfungsi mengendalikan tanpa adanya proses campur tangan manusia. Ada dua sistem kontrol pada sistem kendali/kontrol otomatis yaitu:

**II.6.1 PID (Proportional – Integral – Derivative)**

PID merupakan kontroler untuk mendapatkan ketepatan dalam suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik umpan balik pada sistem tersebut. PID adalah kendali konvensional yang banyak dipakai dalam berbagai industri.



Gambar 0-9 Blok diagram kendali PID

(Sumber : <https://putraekapermana.wordpress.com/2013/11/21/pid/>)

Persamaan kendali PID :

$$mv(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \tag{1}$$

Persamaan (1) dapat juga dituliskan sebagai :

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2}$$

Dengan :

$$K_i = K_p \times \frac{1}{T_i} \text{ dan } K_d = K_p \times T_d \tag{3}$$

Agar memaksimalkan kerja kendali maka dibutuhkan nilai minimum dan maksimum yang akan membatasi nilai output dari kendali PID.

## 1. Kontrol Proporsional

Kontrol  $P = K_p$  adalah konstanta proporsional,  $K_p$  berlaku sebagai *gain* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamika pada kinerja kendali. Kegunaan kontrol  $K_p$  memiliki keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini, namun kontrol  $K_p$  ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*. Kontrol  $K_p$  memiliki output yang sebanding dengan besarnya sinyal *error*.

Ciri – ciri kontrol proporsional

- a) Jika nilai  $K_p$  kecil, kontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, maka menghasilkan respon sistem yang lambat / menambah *rise time*.
- b) Jika nilai  $K_p$  dinaikan, respon sistem akan semakin cepat mencapai keadaan *steadynya* (mengurangi *rise time*).
- c) Jika nilai  $K_p$  diperbesar hingga melebihi harga, maka akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.

## 2. Kontrol Integral

Pengontrol integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki *error steady state* = 0. Jika suatu kendali tidak memiliki unsur integrator, kendali proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan *error steady state* = 0.

Kontrol I dapat memperbaiki dan menghilangkan respon *steady state* namun pemilihan kontrol I yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan pada sistem. Kontrol I merupakan hasil penjumlahan terus menerus dari perubahan masuknya. Jika sinyanya *error* tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadi perubahan masuknya.

Ciri – ciri pengontrol integral :

- a) Output pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon
- b) Ketika sinyal *error* bernilai nol, maka keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.

- c) Jika sinyal *error* tidak bernilai nol, maka output akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besar sinyal *error*.
- d) Konstanta Integral yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*, namun semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kendali.

### 3. Kontrol Derivatif

Pengontrol derivatif memiliki sifat jika ada perubahan mendadak pada input pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika input tidak mengalami perubahan, maka output pengontrol juga tidak mengalami perubahan. Sedangkan apabila sinyal input berubah naik mendadak (berbentuk fungsi *step*), output menghasilkan sinyal berbentuk *impuls*. Jika sinyal input berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*) akan mempengaruhi kepada kecepatan outputnya.

Ciri – ciri pengontrol derivatif :

- a) Pengontrol tidak dapat menghasilkan output jika ada perubahan pada inputannya (berupa perubahan sinyal *error*).
- b) Jika sinyal *error* berubah terhadap waktu, maka output yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai  $K_d$  dan laju perubahan sinyal *error*.
- c) Pengontrol derivatif memiliki sifat untuk mendahului, sehingga pengontrol dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum nilai *error* sangat besar.
- d) Dengan meningkatkan nilai  $K_d$  dapat meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi *overshoot*.

Berdasarkan karakteristik pengontrol diverensial ini umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, namun pengontrol diverensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya.

Efek dari setiap pengontrol pada sistem *close loop* :

Tabel 0.1 Pemilihan jenis kontrol

Respon Lup Tertutup	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady-State Error
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan kecil;	Menurunkan/Mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Mengeliminasi
Derivatif	Perubahan kecil	Menurunkan	Menurunkan	Perubahan kecil;

Sumber: (Permana, 2013)

### II.6.2 Close Loop (Loop Tertutup)

Suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (*feedback*), lalu diumpankan pada komponen pengendalian (*controller*) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran sistem semakin mendekati harga yang diinginkan.

Sistem pengendalian pada turbin angin terus dikembangkan agar mendapatkan energi yang maksimal. Salah satunya untuk memaksimalkan sudut kerja *blade* turbin angin. Besar daya mekanik ( $P_m$ ) yang dihasilkan oleh turbin angin didefinisikan dalam Persamaan 1.

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V_w^3 \tag{4}$$

Sedangkan, koefisien performansi,  $C_p$ , dinyatakan sebagai perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh turbin angin dan tanpa turbin angin. Besar nilai  $C_p$  tergantung pada *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) dan sudut *pitch angle blade* ( $\beta$ ) dengan persamaan (5) dan (6).

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( \frac{C_2}{\lambda_i} C_3 \beta C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 \lambda^3 \tag{5}$$

Dimana

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda_i^{0.88\beta}} \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \tag{6}$$

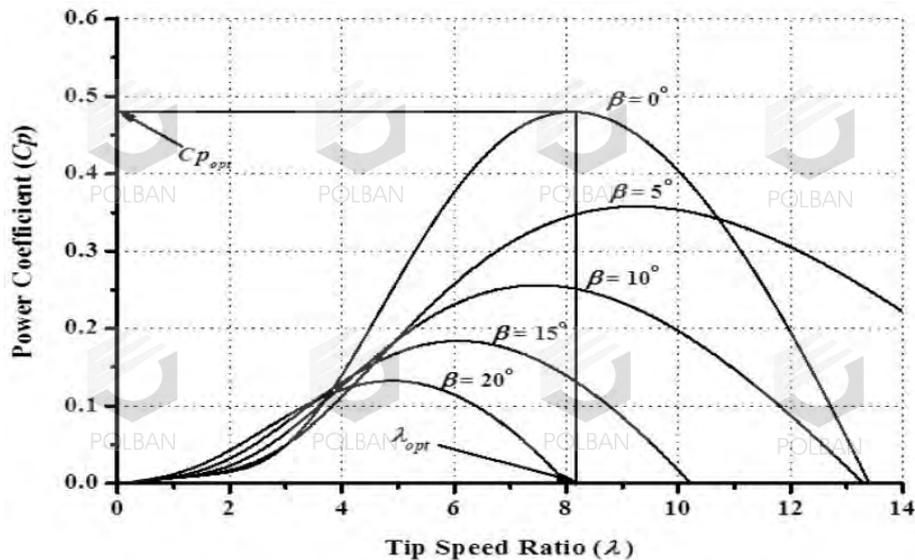
Besar koefisien  $C_1$  hingga  $C_6$  menunjukkan koefisien karakteristik turbin angin.

$$(C_1 = 0.5176, C_2 = 116, C_3 = 0.4, C_4 = 5, C_5 = 21, C_6 = 0.0068). \tag{7}$$

*Tip speed ratio*,  $\lambda$ , adalah rasio perbandingan antara kecepatan pada ujung baling – baling turbin angin dan kecepatan angin yang dapat dituliskan secara matematis pada persamaan 8.

$$\lambda = \frac{v_{ujung}}{v_{angin}} = \frac{\omega \cdot R}{v} \tag{8}$$

Dengan menggunakan simulasi MATLAB, maka besaran *tip speed ratio* akan konstan dengan besar 8,1. Hubungan antara koefisien performa ( $C_p$ ) dan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) dapat dinyatakan dengan kurva pada Gambar II.9.



Gambar 0-10 Grafik hubungan antara koefisien performa dan tip speed ratio

(Sumber: [https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda\\_ensikom/article/viewFile/12104/6524](https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda_ensikom/article/viewFile/12104/6524))

Melalui persamaan besaran daya mekanik ( $P_m$ ), daya yang didapatkan dari angin adalah fungsi kubik dari kecepatan angin. Hal ini berarti ketika kecepatan angin menjadi dua kali lipat lebih besar, maka daya yang akan dihasilkan menjadi

delapan kali lebih besar. Sehingga turbin angin didesain agar mampu menahan beban angin yang lebih tinggi dibandingkan besaran daya yang bisa dibangkitkan untuk menghindari kerusakan.

Baling – baling pada turbin angin yang memiliki *pitch control* dapat berubah posisi menjauh atau mendekati arah datangnya angin saat daya keluaran sangat tinggi ataupun sangat rendah. *Pitch control* bekerja relatif cepat dan dapat digunakan untuk membatasi kecepatan rotor dengan mengatur aerodinamika aliran daya. Pada saat kecepatan angin rendah atau sedang maka sudut baling – baling diatur agar turbin angin bekerja pada kondisi maksimal. Sedangkan saat kecepatan sedang tinggi, sudut baling – baling akan dinaikan agar daya aerodinamika berkurang maka kecepatan rotor bertahan pada kecepatan *rating*. Manfaat yang dapat diambil dengan menggunakan kontrol sudut baling – baling ini adalah peningkatan daya tangkapan turbin angin. Dengan demikian, maka efisiensi kerja turbin angin dapat ditingkatkan dan menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Penambahan kontrol sudut ini juga dapat menghindari daya masukan dari angin yang melebihi kemampuan kerja dari turbin angin dimana hal tersebut dapat menyebabkan perangkat mekanik dan elektronik pada turbin mengalami beban berlebih yang berpotensi menyebabkan kerusakan.

Aplikasi kontrol ini memungkinkan energi yang ditangkap turbin menjadi maksimal saat kecepatan angin rendah dengan memanfaatkan efek *tip speed ratio* yang konstan akibat penambahan kontrol tersebut. Sedangkan pada saat kecepatan angin tinggi maka, torsi dan daya akan di batasi yang memiliki besaran konstan.

## II.7. MATLAB

Matlab adalah singkatan dari *MATrix LABoratory*, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc. yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, *Basic* maupun C++. Matlab merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan.

MATLAB biasanya di gunakan dalam :

1. Pengembangan Algoritma matematika dan komputasi
2. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan prototype dari penerimaan data
3. Analisa, eksplorasi, dan visualisasi data
4. Scientific dan engineering
5. Pengembangan aplikasi berbasis grafik dan pembuatan *Graphical User Interface (GUI)*

Software MATLAB memiliki pengaplikasian yang berbeda – beda khususnya dalam pengaplikasian yang membutuhkan perhitungan secara matematis. Penting untuk mengetahui bahwa matlab melakukan seluruh perhitungan matematis dalam bentuk matriks. Semua operasi matematika dalam MATLAB adalah operasi matriks.

### II.7.1 SIMULINK

Simulink adalah platform didalam MATLAB yang digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik secara realtime. Didalam simulink terdapat berbagai macam toolbox yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik. Toolbox yang kami gunakan adalah toolbox SimMechanics. Toolbox ini berisi part-part yang digunakan untuk mensimulasikan sistem mekanik. Cara penggunaan SimMechanics adalah dengan menghubungkan-hubungkan block block yang ada sesuai dengan desain mekanik yang diinginkan dan mensimulasikannya dengan parameter tertentu.

