

## BAB II

### TANJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Turbin Angin

Komponen utama dari pembangkit listrik tenaga bayu ialah turbin angin, yang dimana turbin ini mengkonversi dari kecepatan angin menjadi energi listrik. Sebagian energi angin dirubah menjadi energi putar oleh rotor. Tidak menggunakan, gerak rotor tersebut dimanfaatkan untuk menggerakkan generator yang bakal menimbulkan listrik. Hal ini dapat dilakukan dengan metode MPPT dan Kontrol ANFIS cukup akurat dalam mencapai titik daya maksimum dan merespon dengan baik terhadap perubahan kecepatan angin MPPT digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran yang dihasilkan oleh putaran rotor pada *generator DC*. [6]

Turbin angin terdapat beberapa komponen utama yang memungkinkan untuk menggerakkan poros generator dan mengubah menjadi energi listrik. Komponen utama terdiri dari *rotor, transmisi daya, generator*. Rotor paling banyak untuk menggunakan rotor arus hulu dengan tiga sudut. Transmisi daya untuk memindahkan daya poros ke generator, turbin angin yang mempunyai kapasitas besar biasanya didalam sistem transmisi terdapat gearbox. Gearbox ini untuk meningkatkan kecepatan poros sebelum masuk kegenerator. Karakteristik dari turbin ini sendiri bisa terlihat dari grafik dengan daya dibangkitkan ( $\omega r - P$  serta kecepatann rotor ( $\omega r$ ) serta kurva hubungan antara angin dan daya.

Ada 2 tahap untuk menjadikan kecepatan angin menjadi listrik yang dimana tahapan ini angin yang menggerakkan rotor disebutkan kinetik kemudian putaran rotor tersebut akan menghasilkan energi listrik. Dan ada banyak faktor yang mempengaruhi besaran listrik yang dihasilkan oleh pembangkit, sebagai berikut :

- a. Besaran ukuran rotor. Semakin besar ukuran rotor maka akan semakin besar pula listrik yang dihasilkan.
- b. Besar kecilnya kecepatan putaran turbin dipengaruhi oleh kecepatan angin untuk menggerakkan turbin tersebut.

- c. Ada beberapa karakteristik yang dimiliki oleh generator yang mempengaruhi outputan listrik yang dihasilkan. Generator yang sesuai untuk pengoptimalan outputan listrik yang dihasilkan yaitu pada saat putaran yang rendah.

Proses kinetik ialah pada saat diperlukannya turbin yang dapat menjadikan sumber angin menjadi mekanik yang diteruskan ke generator sehingga mendapatkan listrik yang diinginkan. Kecepatan angin serta luas baling-baling merupakan factor utama untuk menghasilkan outputan daya listrik yang diinginkan. Di gambarkan sebagai berikut :

$P_{wt}$  = Daya inputan turbin angin, merupakan daya mekanik (Watt)

$R$  = Jari – jari (m)

$\rho$  = Kerapatan udarai(kg/m<sup>2</sup>)

$V$  = Kecepatan udarai(m/s)

Terdapat 2 parameter data yang digunakan sebagai efisiensi dari turbin. Data parameter yang ke1 ialah koefisien daya( $C_p$ ) dimana data ini sebagai perbandingan daya outputan dari turbin( $P_m$ )dengan daya inputan turbin( $P_{wt}$ ). Dapat dituliskan ke persamaan matematis sebagai berikut :

$$C_p = C_1$$

Dimana

$C_p$  = Koefisien daya

$\beta$  = Sudut baling- baling

$C_1$ - $c_6$  = koefisiensi turbin

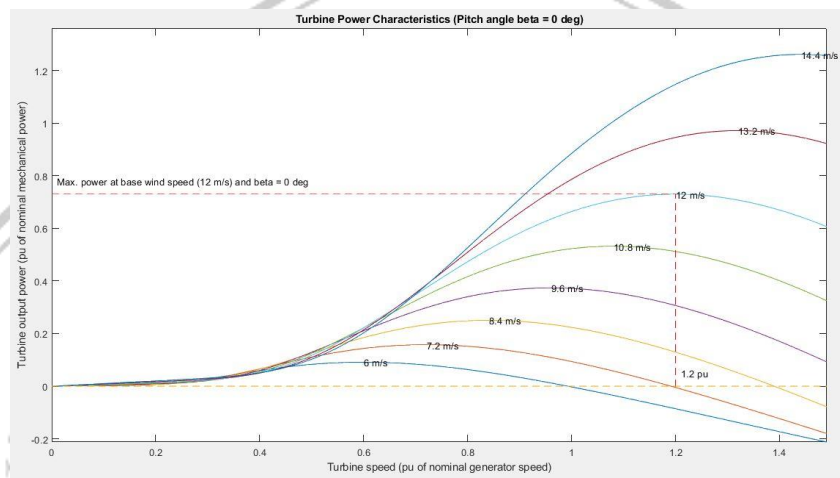
Data dari  $c_1$  sampai  $c_6$  merupakan data diameter rotor, konstanta turbin, ukuran sumbu rotor, rasio gardan kecepatan rendah, tinggi serta tingkat kelenturan bahan. Data ini mengikuti karakteristik yang dimiliki oleh turbin, ketika turbin yang berbeda maka data tersebut juga berbeda.

Maka rasio *Tip Speed Ratio* dilambangkan dengan  $\lambda$  yang dimana ini membandingkan kecepatan putaran poros dengan kecepatan turbin terhadap kecepatan angin. Maka dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut untuk mencari nilai  $\lambda$  :

$\lambda$  = Tip speedratio

$\omega_r$  = Kecepataniporosirotor (ras/s)

$V_m$  = Kecepataniangin (m/s)



**Gambar 2.1** Karakteristik Turbin Angin

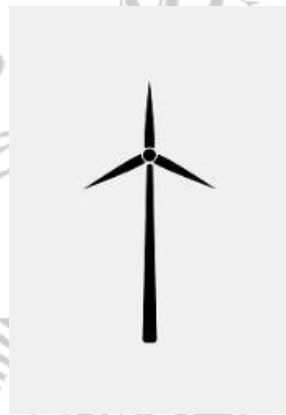
Pada Gambar 2.1 terlihat outputan daya yang dihasilkan sesuai dengan inputan kecepatan angin yang diberikan, semakin besar kecepatan angin maka semakin besar daya yang dihasilkan maka sesuai dengan karakteristik turbin angin. Turbin angin dapat mendapatkan daya berdasarkan peran pitch angel, diameter bilah dan kecepatan putar rotor.

## 2.2 Tinjauan Teori

Dalam penulisan laporan penelitian ini diperlukan dukungan kajian teori yang berhubungan dengan topik penelitian yang dijadikan dasar sebagai pengembangan pemikiran dalam penelitian. Adapun teori-teori yang akan dicantumkan sebagai landasan meliputi: *Wind Turbine 500wp, Generator DC, Maximum Power Point Tracking, Adaptive Neural-Fuzzy Inference System, Konverter DC-DC*.

### 2.2.1 Windturbine

Turbin Angin merupakan komponen yang bertujuan untuk mendapatkan energi kinetik angin yang akan dikonversikan ke energy listrik. Sudut bila turbin akan memutar ketika terkena angin. Untuk mengkonversikan energi kinetic angin ke energy listrik maka memerlukan turbin angin sebagai konversian energy angin ke energy mekanik yang akan diteruskan oleh generator. Outputan daya yang dipengaruhi oleh kecepatan angin serta luas baling- baling turbin.[7]



*Gambar 2.2 KinciriAngin*

Sebagaimana diketahui energi kinetic yang dapat dituliskan persamaan matematikanya yang dimana rumus ini berlaku untuk rumus udara dengan nilai E bernilai  $0.5mv^2$ .

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E = Energi(joule)

m = Massaiudara(kg)

v = Kecepataniangin(m/s)

Bila jumlah yang melewati sesuai dengan luas penampang serta kecepatan angin, dapat dituliskan persamaan matematikanya sebagai berikut :

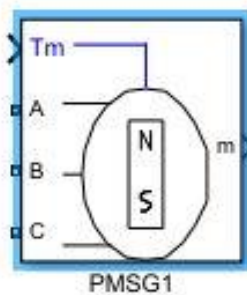
$$M = \rho A v$$

A = luasipenampang(m<sup>2</sup>)

$\rho$  = kepadataniudara(kg/m<sup>3</sup>)

### 2.2.2 *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*

*Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* merupakan generator yang digunakan untuk menjadikan energi mekanik menjadi energy listrik dengan magnet. Genarator yang menggunakan megnet permanen untuk menghasilkan medan celah udara dari pada menggunakan electromagnet. Generator akan mengubah torsi blade (T) dan kecepatan rotor ( $\omega$ ) menjadi tegangan (V) serta arus (I), sedangkan output generator adalah arus bolak-balik (AC) tiga fasa.

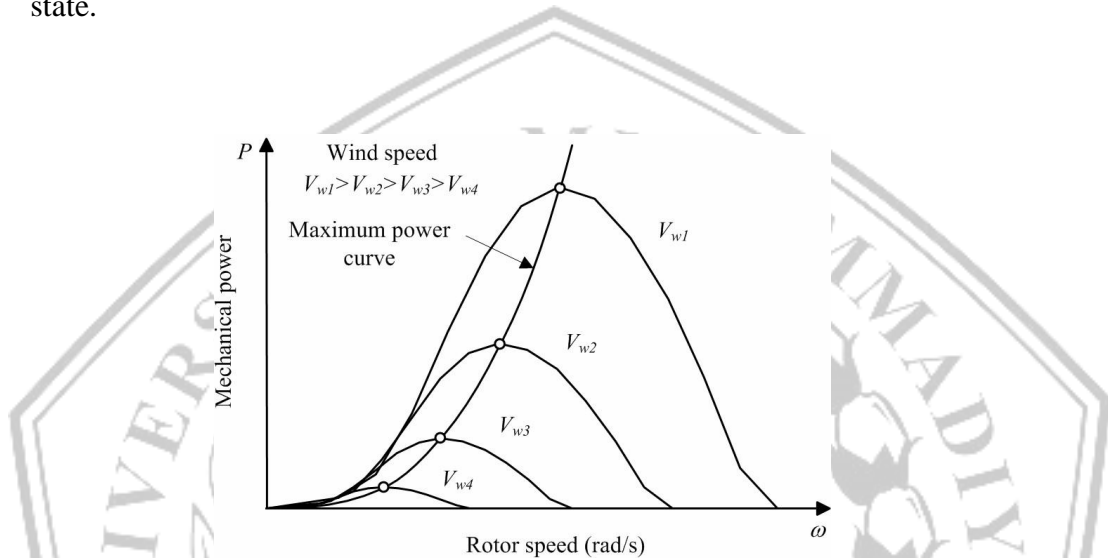


**Gambar 2.3** Permodelan Generator PMSG

### 2.2.3 *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

Kecepatan angin dan karakteristik yang dimiliki oleh turbin merupakan faktor penting sebagai efisiensi energy angin. Daya maximum ketika pada saat konversi energi angin yang optimal. Kecepatan angin yang berubah serta karakteristik turbin akan mempengaruhi titik daya maksimum, dapat dilihat pada Gambar 2.4. Walaupun kecepatan angin berubah, *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

bertujuan menghasilkan daya outputan yang maximum ketika terjadi perubahan kecepatan angin serta menstabilkan perubahan angin ke listrik yang dimana pada  $V_{cut}$  serta  $V_{rated}$ . *Tip Speed Ratio* mempengaruhi outputan daya pada kecepatan angin. Jika nilai *Tip Speed Ratio* maximal maka efisiensi perubahan energi pada turbin juga mengikuti maximal maka perubahan rotor harus diikuti dengan kecepatan angin bertujuan sebagai untuk mempertahankan *tip speedratio* pada state.



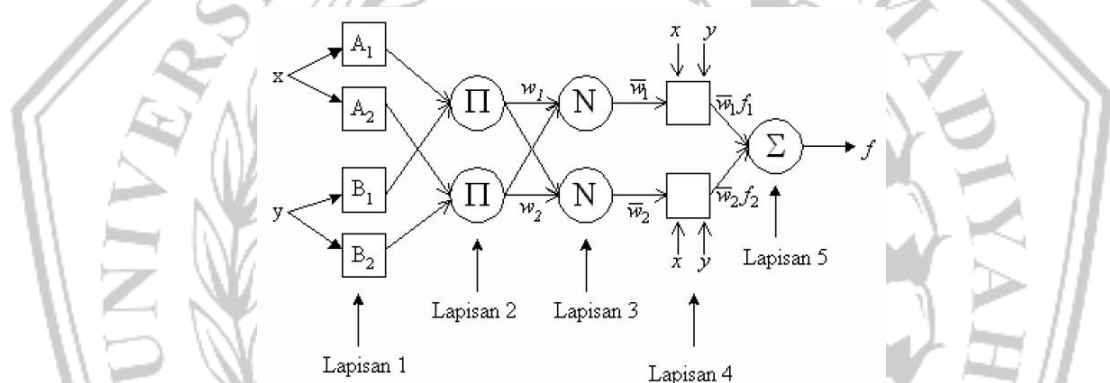
**Gambar 2.4** Kurva MPPT kecepatan rotor dan daya generator

Outputan daya maximum pada generator dipengaruhi oleh kecepatan angin sebagai inputannya. Maka dari itu pada system *variable speed wind turbine* yang terdapat pada MPPT mengubahnya kecepatan pada putaran generator terhadap setiap perubahan kecepatan angin sehingga daya outputan akan maximum. MPPT diperlukan metode yang sesuai dengan karakteristiknya, metode algoritma yang digunakan pada system MPPT ini bertujuan sebagai mencari steady state sehingga mendapatkan arus yang didapatkan maximum. Beban merupakan factor mempengaruhi kecepatan menjadi rendah hal ini mengakibatkan torsi dan kecepatan akan menurun sehingga daya yang dihasilkan kecil pula. Perantaranya menggunakan pengaturan beban pada komponen konverter *DC to DC* [8].

### 2.2.4 Adaptive NeuralFuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS ialah gabungan dari *Fuzzy Inference System (FIS)* yang dimodelkan sebagai arsitektur jaringan tiruan. Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan adalah system inferensi *fuzzy* model TakagiSugenoKang(TSK). ANFIS merupakan secara garis besar sama dengan *fuzzy rule base* Sugeno. ANFIS adalah suatu algoritma sebagai aturan digunakan menggunakan sekumpulan data. Contoh dari ilustrasi mekanisme inferensi *fuzzy* TSK orde 1 yang dimana memiliki 2 inputan  $x$  dan  $y$ .

Struktur dari ANFIS dapat digambarkan blok diagram (arsitektur jaringan syaraf *feedforward*) dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.5 Arsitektur ANFIS

Gambar 2.5 terdapat 5 tingkatan pada sistem *neuro-fuzzy*, disetiap tingkatannya memiliki fungsi yang berbeda-beda. Setiap tingkatan memiliki simpul yang disimbolkan persegi empat / bulat. Simbol persegi empat artinya sebagai simbol adaptif yang dimana nilai parameteranya dapat dirubah sedangkan untuk simbol bulat berarti simbol untuk nonadaptif yang nilainya tetap. Dibawah ini merupakan penjabaran setiap lapisan.

**Tingkatan 1.** Pada tingkatan 1 ialah tingkatan yang terdiri dari nilai simpul *adaptif* / nilai yang dapat berubah. Pada metode algoritma ANFIS tingkatan ini berisi derajat keanggotaan ( $\mu_i$ ) dari *fuzzy set*. Nilai simpul bisa dituliskan sebagai berikut

$$O_{1,i} = \mu A_i(x) \quad (2.14)$$

$$O_{1,i} = \mu B_i(y) \quad (2.15)$$

Himpunan fuzzy A & B merupakan nilai inputan keanggotan dari simpul  $O_{1,i}$ . Gbel (*generalizedibell*) merupakan salah satu contoh, yang dapat dituliskan ke persamaan sebagai berikut :

$$gbell(x, a, b, c) =$$

Untuk nilai parameter dari a, b dan c merupakan nilai yang dirubah. Nilai tersebut sesuai dengan fungsi keanggotannya yang diinputkan.

**Tingkatan 2.** Pada tingkatan 2 ini, nilai pada tingkatan ini berupa nilai yang tetap (nonadaptif). Tingkatan ini bertujuan untuk perkalian dari inputan. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$O_{2,i} = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y)$$

Outputan dari tingkatan ini berupa derajat sebagai untuk setiap *fuzzy rule*. Persamaan ini diperlukan ketika jumlah fungsi premisnya lebih dari 2 himpunan *fuzzy*.

**Tingkatan 3.** Tingkatan 3 ini ialah nilai simpul nonadaptif yang dapat menampilkan fungsi derajat pengaktifan. Pada tingkatan ini menunjukkan perbandingan antara outputan nilai simpul ke-n pada tingkatan. Persamaan yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}$$

**Tingkatan 4.** Tingkatan 4 ini ialah tingkatan yang berisi nilai adaptif dengan derajat pengaktifan ternormalisasi yang berasal dari lapisan sebelumnya. Maka dapat dituliskan sebagai berikut :

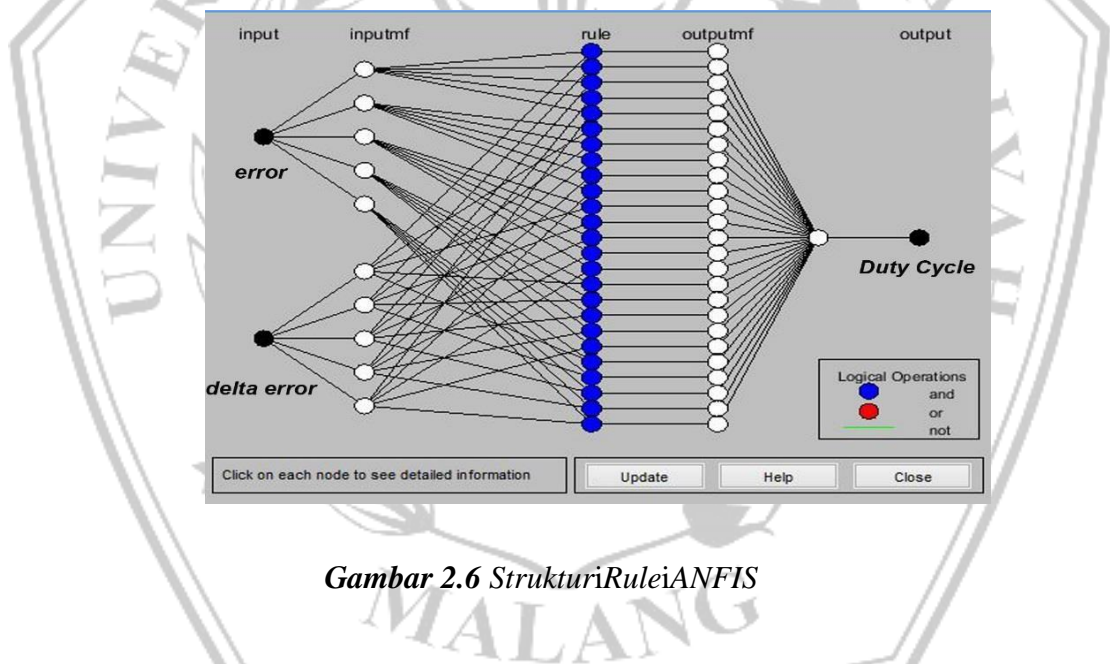
$$O_{4,i} = w_i f_i = w_i (p_i x + q_i y + r_i)$$



Nilai  $p$ ,  $q$ , dan  $r$  merupakan nilai adaptif berdasarkan outputan dari tingkatan sebelumnya.

**Tingkatan 5.** Tingkatan 5 ini berisi nilai nonadaptif yang dimana pada tingkatan ini bertujuan sebagai tingkatan untuk menjumlahkan seluruh outputan dari tingkatan yang di sebelumnya dan menghasilkan 1 nilai tingkatan simpul outputan dengan fungsi simpul sebagai berikut :

1 tingkatan nilai simpul outputan yang dapat dilihat pada persamaan 2.20 merupakan hasil dari defuzzyfikasi dari ANFIS. Jaringan adaptif dengan 5 tingkatan tersebut ekuivalen dengan sistem inferensi fuzzy Takagi-Sugeno-Kang (TSK)



**Gambar 2.6** Struktur Rule ANFIS

Setelah dilakukan tingkatan diatas maka akan memperoleh dalam bentuk fungsi keanggotaan inputan dengan nilai parameter yang sudah dioptimalkan.