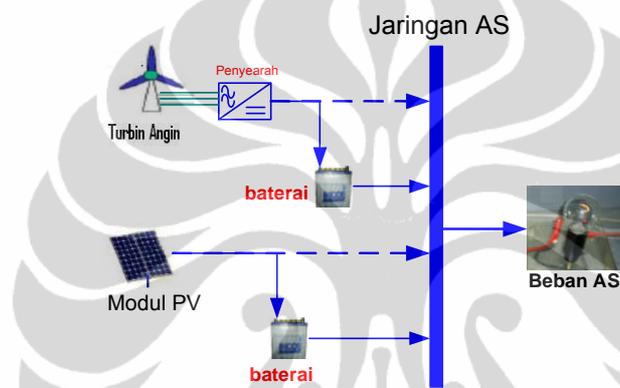


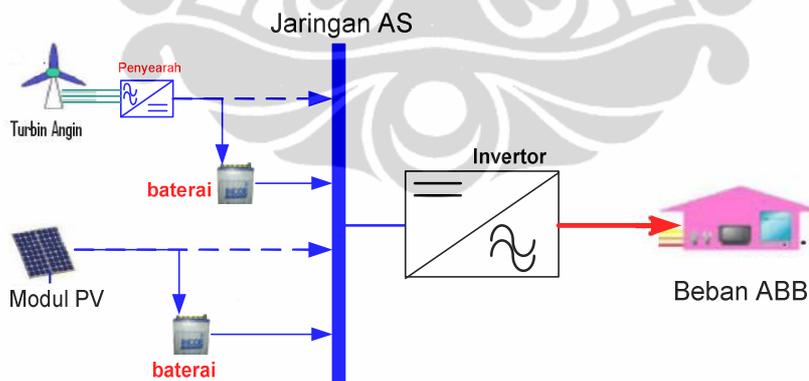
## BAB 2 TEORI DASAR

### 2.3. Jaringan Listrik Mikro

Jaringan listrik mikro merupakan jaringan penyedia sumber daya dengan kapasitas kecil, yang dihasilkan oleh pembangkit energi terbarukan. Daya yang dihasilkan dari pembangkit- pembangkit ini biasanya mengalami fluktuasi baik tegangan maupun frekuensinya, sehingga dalam penggabungannya ke jaringan mikro diperlukan teknologi maupun perangkat *solid state*. Pada gambar 2.1 diperlihatkan model jaringan mikro AS.



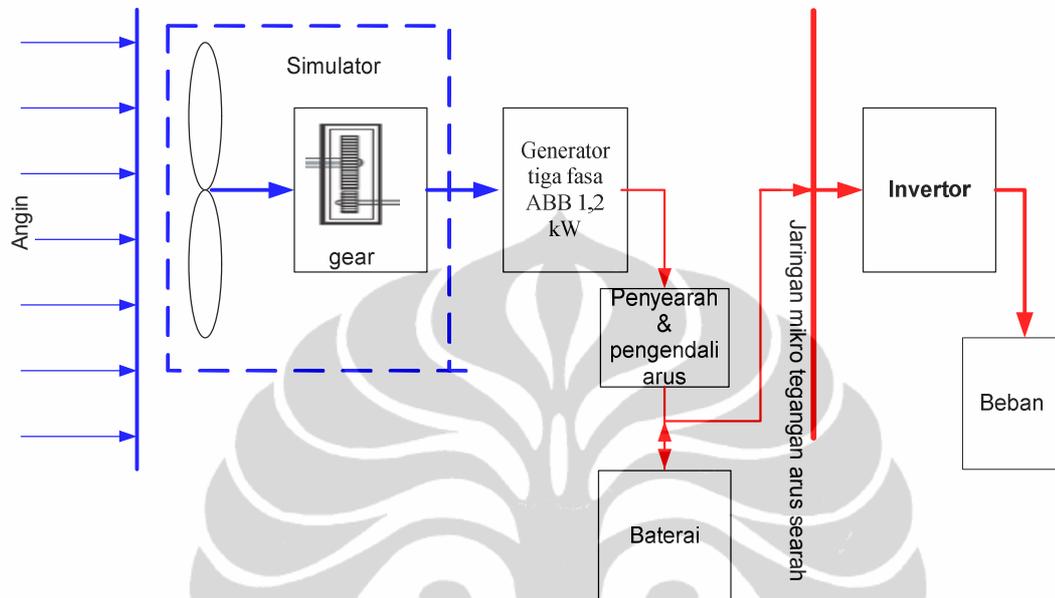
Gambar 2.1a Model jaringan mikro AS digunakan untuk mencatu beban AS.



Gambar 2.1b Model jaringan mikro AS digunakan untuk mencatu beban ABB. Sebuah konfigurasi sistem jaringan skala kecil seperti pada gambar 2.1a terdiri dari sebuah sumber energi berupa modul PV dan sebuah PLTB yang dihubungkan pada jaringan mikro AS digunakan untuk mencatu beban SA dan pada gambar 2.1b jaringan mikro AS digunakan untuk mencatu beban ABB.

## 2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengubah energi angin menjadi energi listrik. Pada gambar 2.2. ditunjukkan konversi energi angin menjadi energi listrik.<sup>[2]</sup>



Gambar 2.2 Konversi energi angin menjadi energi listrik

### 2.2.1. Sistem operasi turbin angin

Sistem pengendalian turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi :

- (1) Turbin angin dengan kecepatan konstan.
- (2) Turbin angin dengan pengurangan kecepatan.

#### 2.2.1.1 Turbin angin dengan kecepatan konstan

Untuk dapat beroperasi pada kecepatan yang hampir konstan perlu dirancang perbandingan roda gigi yang sesuai dengan putaran generator. Pengendalian digunakan dengan tujuan memaksimalkan pengambilan energi dan mengontrol torsi atau daya keluaran yang dihasilkan. Untuk turbin angin dengan kecepatan konstan, baling baling dirancang guna beroperasi pada daerah TSR ( *tip speed ratio* ) yang optimal untuk kecepatan angin tertentu, sehingga ketika angin meningkat kecepatannya, mengakibatkan penurunan efisiensi rotor dan daya keluaran generator.

Beberapa keuntungan yang dimiliki oleh turbin angin dengan kecepatan konstan diantaranya

- (1) Memiliki konstruksi kuat dan sederhana, efisiensi elektriknya tinggi.
- (2) Tidak ada arus harmonik yang dihasilkan yang diakibatkan konversi frekuensi.
- (3) Biaya modal yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan turbin angin variabel.

### **2.2.1.2 Turbin angin dengan pengaturan kecepatan**

Turbin angin dengan berkecepatan yang dapat diatur memiliki dua metode pengendalian, yaitu perubahan kecepatan dengan perubahan sudut baling-baling. Strategi kontrol yang digunakan dengan tujuan adalah

- (i) Pengoptimalan daya
- (ii) Pembatasan daya.

Strategi pengoptimalan daya digunakan ketika kecepatan angin berada di bawah nilai optimal. Pengendalian sudut ini akan mengoptimalkan menangkap energi dengan mempertahankan kecepatan agar konstan sesuai dengan kecepatan relatif rotor (*tip speed ratio (TSR)*) secara optimal. Tetapi jika kecepatan berubah akibat variasi beban untuk kecepatan angin di atas nilai nominal maka generator akan over load. Untuk menghindari hal ini, metode seperti pengendalian torsi generator digunakan untuk mengontrol kecepatan.

Strategi pembatasan daya digunakan untuk mengendalikan kecepatan bila angin di atas nilai optimal. Strategi ini membatasi daya keluaran dengan mengubah sudut untuk mengurangi efisiensi erodinamis.

Turbin angin dengan berkecepatan yang dapat diatur memiliki beberapa keuntungan:

1. Kapasitas menangkap energi yang tinggi dan kurang mengalami stres mekanik.
2. Erodinamis yang efisien dan memiliki torsi transien rendah.
3. Tidak ada sistem redaman mekanis yang diperlukan sebagai pengendali secara sistem listrik.
4. Tidak mengalami masalah sinkronisasi atau sags tegangan listrik.

Sedang kekurangan yang dimiliki yaitu:

1. Efisiensi listrik yang lebih rendah.
2. Diperlukan strategi pengendalian yang cukup kompleks

### 2.2.1.3 Perhitungan daya yang dihasilkan dari turbin angin.

Daya yang dihasilkan dari turbin angin secara umum dapat dinyatakan dengan rumusan seperti berikut:

Daya yang dihasilkan <sup>[8]</sup>

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.1)$$

Dimana :

$P$  = daya ( W )

$A$  = luas sapuan baling- baling (  $m^2$  )

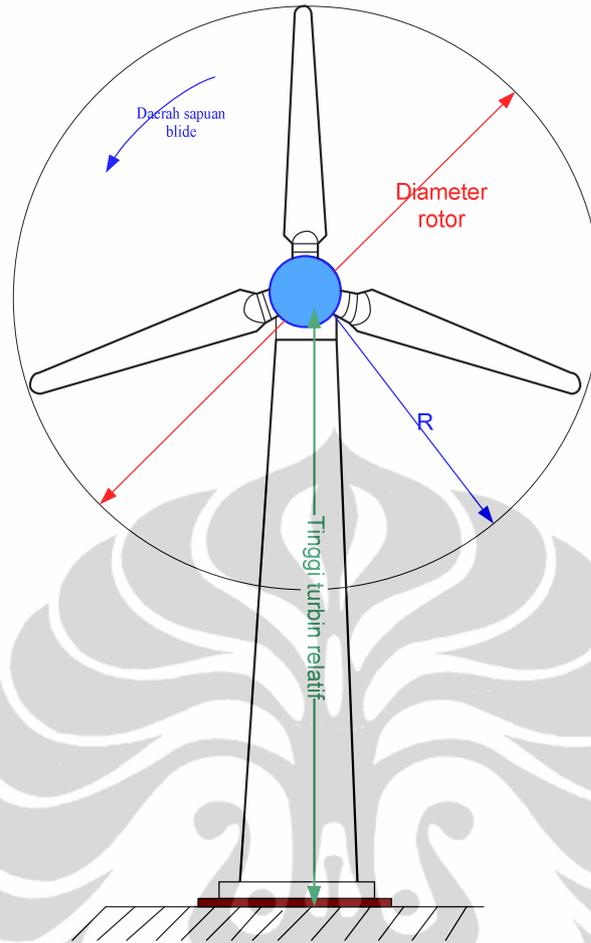
$v$  = kecepatan angin (  $m/s$  )

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

$$A = \pi R^2$$

Kecepatan angin rata rata <sup>[8]</sup> :

$$(v_{rata}^3) = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot v_{i,rata}^3 \quad (2.2)$$



Gambar 2.3 Turbin angin.

#### 2.2.1.4 Pengaruh tinggi turbin angin pada kecepatan angin

Untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin angin, perlu dipertimbangkan kecepatan angin rata-rata terhadap tinggi turbin dari permukaan tanah.<sup>[9]</sup>

$$v(h) = v(h_r) \left( \frac{h}{h_r} \right)^{\alpha} \quad (2.3)$$

Dimana :

$v(h)$  = kecepatan angin pada ketinggian tertentu ( $m/s$ )

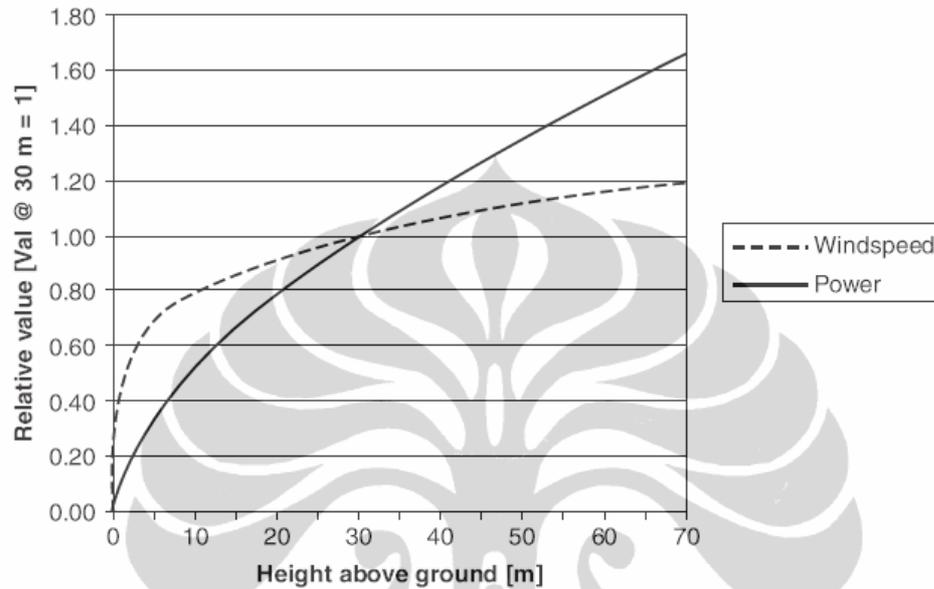
$v(h_r)$  = kecepatan angin pada ketinggian referensi ( $m/s$ )

$h_r$  = ketinggian referensi ( $m$ )

$h$  = ketinggian poros baling-baling ( $m$ )

$\alpha$  = koefisien belahan angin

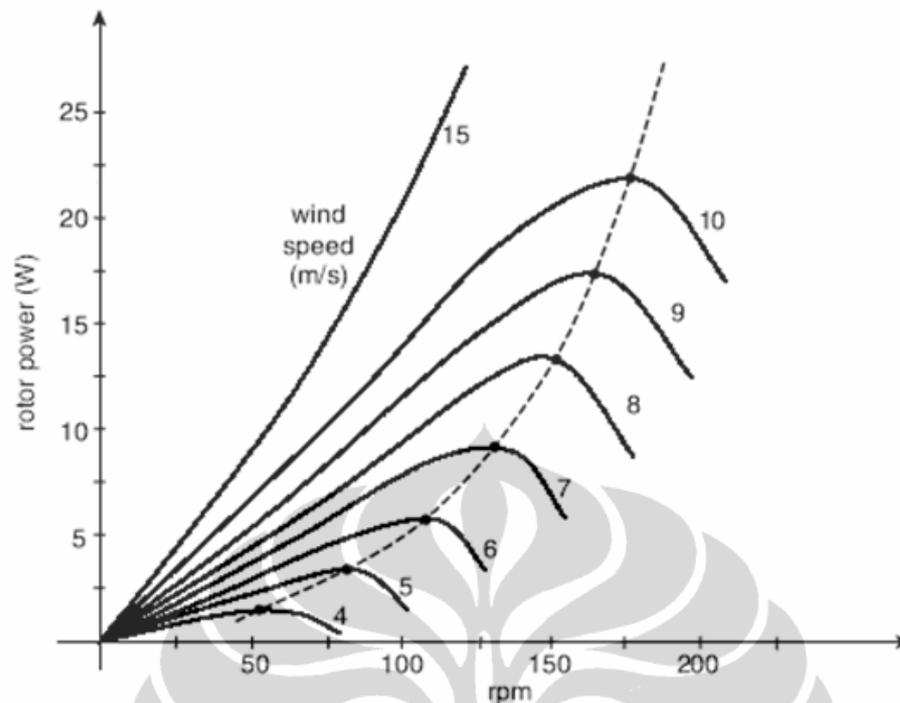
Pada gambar 2.4 diperlihatkan perubahan kecepatan angin dan daya, dimana perubahan kecepatan angin naik dengan cepat pada ketinggian 0-10 m, sedang daya mengalami perubahan dengan cepat pada ketinggian 10m hingga 70 m dengan referensi pada ketinggian 30m



Gambar 2.4 Kecepatan angin relatif sebagai fungsi ketinggian .<sup>[10]</sup>

### 2.3 Simulasi Perangkat Penggerak Turbin Angin

Berdasar gambaran dari data kecepatan angin yang ada dalam suatu daerah akan terlihat bahwa kecepatannya selalu mengalami perubahan sehingga dalam merencanakan pembuatan simulasi penggerak turbin angin digunakan motor yang dapat difariasikan kecepatan maupun torsi yang dihasilkan. Untuk memenuhi kebutuhan pengaturan dipergunakan suatu parameter daya fungsi kecepatan putar (gambar 2.5).



Gambar 2.5 Daya sebagai fungsi kecepatan putar .<sup>[14]</sup>

Untuk memenuhi pengaturan sebagai penggerak turbin di pilih motor arus searah dengan penguat terpisah.

Pengaturan kecepatan yang mensimulasikan sebagai gerakan angin yang menerpa sudu turbin dilakukan dengan menggunakan Motor arus searah (AS), digunakannya motor arus searah ini karena motor arus searah mempunyai karakteristik dimana pengaturan kecepatan maupun torsinya dapat dilakukan, dan dengan torsi awal yang besar maupun kecilnya dapat diatur pada daerah yang sangat bervariasi.

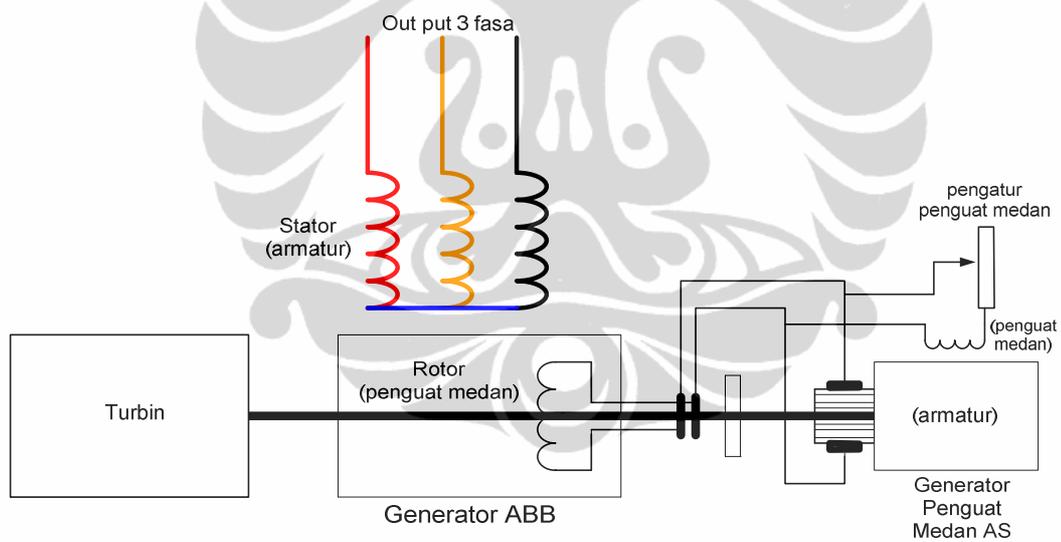
## 2.4 Generator

Generator merupakan mesin Listrik yang berfungsi sebagai perubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik. Secara garis besar kontruksi mesin ini terdiri dari Stator, Rotor, dan slipring. Agar daya yang dihasilkan dapat berkapasitas besar maka pada mesin ini rotornya mempunyai peran sebagai penghasil medan maknit, Stator difungsikan sebagai jangkar, untuk menghasilkan medan maknit pada rotor perlu adanya tegangan yang diberikan pada rotor baik dengan perantara sikat atau tanpa sikat.

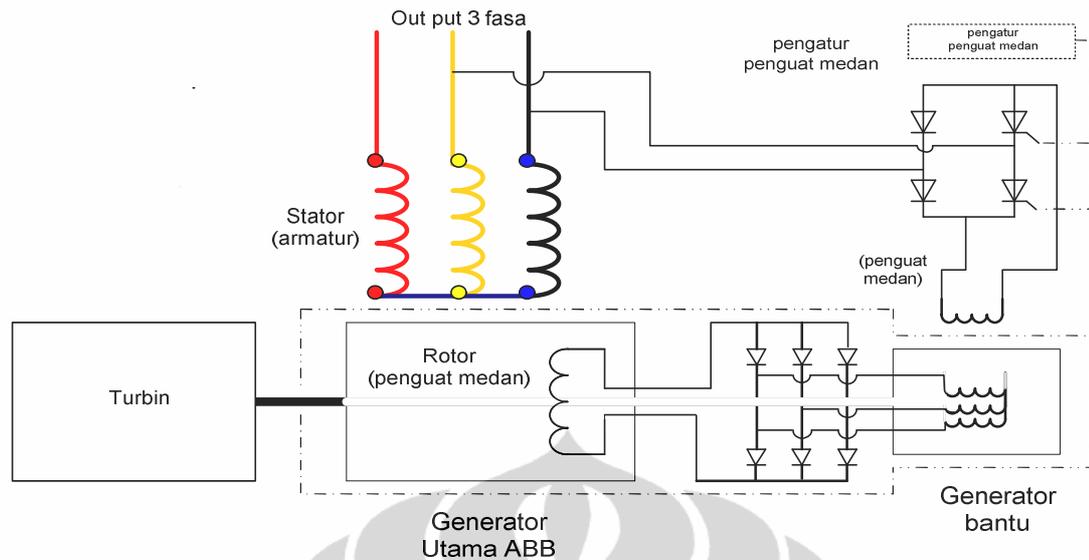
### 2.4.1 Catu medan penguat

Untuk mengatur & menjaga kuat medan magnet pada medan penguat generator, perlu adanya pemberian tegangan arus searah yang diberikan pada kumparan medan, pemberian tegangan arus searah ke rotor ini dilakukan dengan melalui slipring, sedang untuk generator tanpasikat dilakukan dengan menyalurkan tegangan yang dihasilkan dari generator arus bolak balik yang dipasang seporos dengan rotor. Pengaturan tegangan keluaran generator dapat dilakukan dengan cara mengatur kecepatan putar atau mengatur arus yang melalui medan penguat.<sup>[12]</sup>

Bila pengaturan tegangan dilakukan dengan cara mengatur putaran generator maka tegangan output akan mengalami perubahan frekuensi dan juga perubahan tegangan, tetapi bila pengaturan dilakukan dengan cara mengatur arus yang melalui medan penguat maka yang dihasilkan hanya mengalami perubahan tegangan.



Gambar 2.6 Konstruksi generator dengan sikat



Gambar 2.7 Konstruksi generator tanpa sikat

## 2.5. Pencatu baterai

Pencatu tegangan baterai diperlukan bila tegangan yang dihasilkan generator berupa tegangan arus bolak balik tiga fasa yang disearahkan dengan penyearah terkendali dengan besar tegang maupun arus hasil penyearahan disesuaikan dengan kapasitas serta kemampuan baterai.

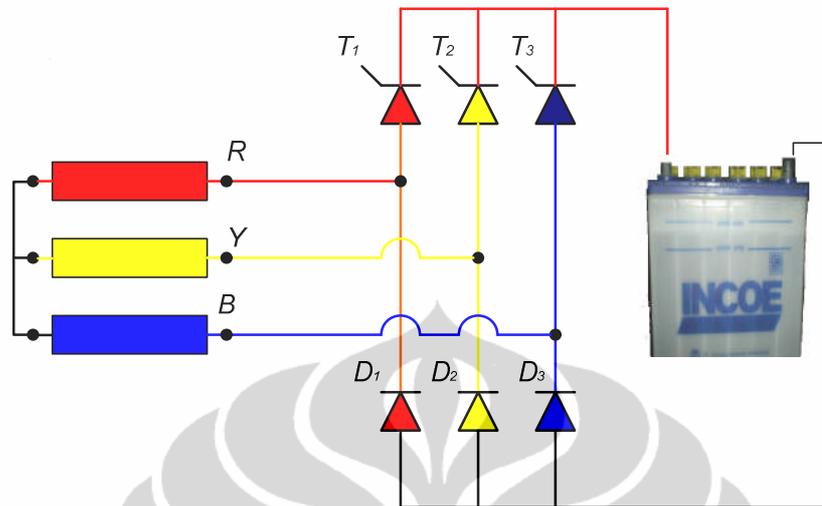
Rangkaian penyearah terkendali dengan sumber tegangan tiga fasa (*Three phase converter*) merupakan penyedia sumber tegangan AS yang mempunyai kapasitas tegangan dan frekwensi ripple yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan tegangan penyearahan yang dihasilkan oleh sumber tegangan satu fasa.

Menurut bentuk pulsa yang dihasilkan maupun menurut bentuk pengendalian dari penyearah, penyearah dengan sumber tiga pahasa dapat dibagi dalam beberapa kelompok.

- Penyearah 3 fasa setengah gelombang terkendali. (*three phase half wave converter*).
- Penyearah 3 fasa gelombang penuh setengah terkendali. (*three phase semi converter*).
- Penyearah 3 fasa gelombang penuh terkendali penuh. (*three phase full converter*).

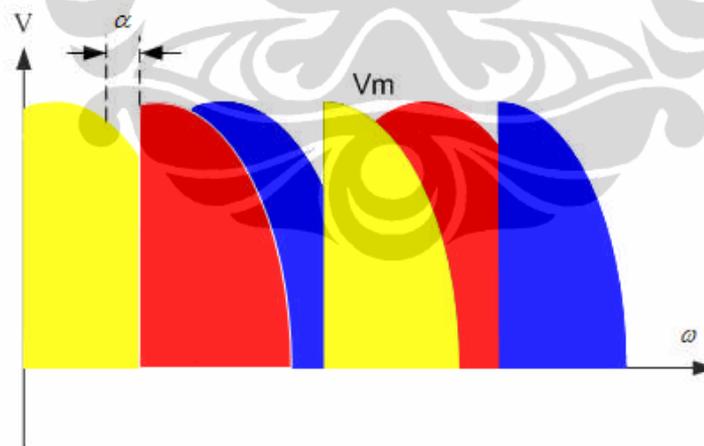
### 2.5.1 Penyearah 3 fasa gelombang penuh setengah terkendali

Gambar 2.8 merupakan rangkaian semi converter yang digunakan untuk mencatu baterai



Gambar 2.8 Penyearah gelombang penuh setengah terkendali

pada rangkaian ini pengaturan tegangan dilakukan dengan menggunakan 3 buah Dioda dan 3 buah SCR, untuk sudut penyulutan SCR ( $\alpha$ ) dari  $0^\circ$  sampai  $< 60^\circ$  akan dihasilkan tiga pulsa bentuk gelombang yang bisa diatur dan tiga bentuk gelombang yang tidak diatur



Gambar 2.9 Bentuk gelombang hasil penyearahan

Besar tegangan arus searah rata rata dapat dihitung dengan rumusan berikut

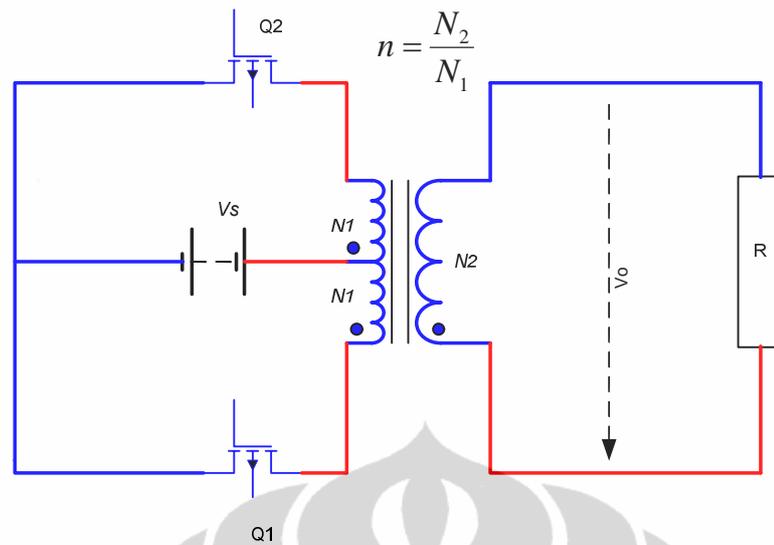
$$V_a = \frac{3}{2\pi} \left[ \int_{60^\circ + \alpha}^{120^\circ} V_m \sin \omega t d(\omega t) + \int_{60^\circ}^{120^\circ + \alpha} V_m \sin \omega t d(\omega t) \right]$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3V_m}{2\pi} \left[ \int_{60^\circ+\alpha}^{120^\circ} \sin \omega t d(\omega t) + \int_{60^\circ}^{120^\circ+\alpha} \sin \omega t d(\omega t) \right] \\
&= \frac{3V_m}{2\pi} \left[ -\cos \omega t \Big|_{60^\circ+\alpha}^{120^\circ} - \cos \omega t \Big|_{60^\circ}^{120^\circ+\alpha} \right] \\
&= \frac{3V_m}{2\pi} \left[ -\cos 120^\circ + \cos(60^\circ + \alpha) - \cos(120^\circ + \alpha) + \cos 60^\circ \right] \\
&= \frac{3V_m}{2\pi} \left[ 0,5 + \cos(60^\circ + \alpha) - \cos(120^\circ + \alpha) + 0,5 \right] \\
&= \frac{3V_m}{2\pi} \left[ 1 + \cos(60^\circ + \alpha) - \cos(120^\circ + \alpha) \right] \\
&= \frac{3V_m}{\pi} \left[ -\cos(120^\circ + \alpha) + \cos(60^\circ + \alpha) \right] \tag{2.4}
\end{aligned}$$

## 2.6 Invertor

Invertor merupakan perangkat yang digunakan untuk merubah tegangan arus searah menjadi tegangan arus bolak balik yang simetris dengan besar dan frekuensi yang diinginkan. Pada kondisi ini tegangan yang dihasilkan dapat ditentukan besar dan frekuensinya. Penguatan invertor didefinisikan sebagai perbandingan tegangan output arus bolak balik (ABB) dengan tegangan input arus searah (AS), pada kondisi idial tegangan yang dihasilkan invertor berbentuk gelombang sinus, tetapi pada kenyataannya tegangan yang dihasilkan berbentuk non sinus.

Pada gambar 2.10 diperlihatkan suatu rangkaian invertor dengan metoda push pull, pada rangkaian ini dipasang suatu transformator dengan tap tengah (*centre tapped*). sedang tegangan keluaran dihasilkan dari tegangan hasil induksi pada sisi sekunder transformator.

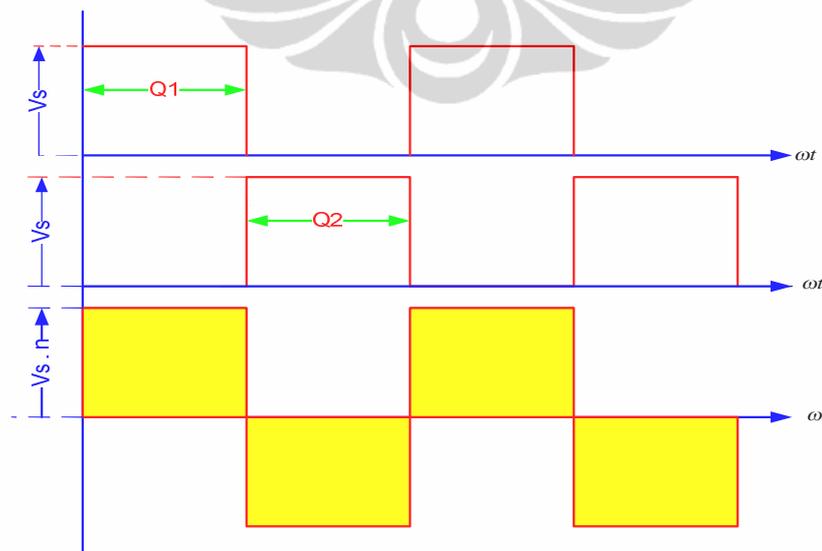


Gambar 2.10 Kontruksi inverter metoda push pull

jika saat awal Q1 diaktifkan ( posisi on ) dan Q2 pada posisi Off maka tegangan akan menghasilkan arus yang mengalir dari sumber tegangan ( + ) melalui CT Transformator melalui Q1 menuju terminal – sumber tegangan, demikian juga bila pada pereoda berikutnya Q2 diaktifkan ( posisi on ) dan pada posisi Q1 Off maka arus yang akan mengalir pada tranformator mempunyai arah yang berlawanan bengan arus sebelumnya.

Jika  $n$  merupakan perbandingan lilitan antara primair dengan secudar tranformator, maka besar tegangan

$$V_0 = V_s \times \frac{n}{1} \quad (2.5)$$



Gambar 2.11 Bentuk gelombang keluaran inverter