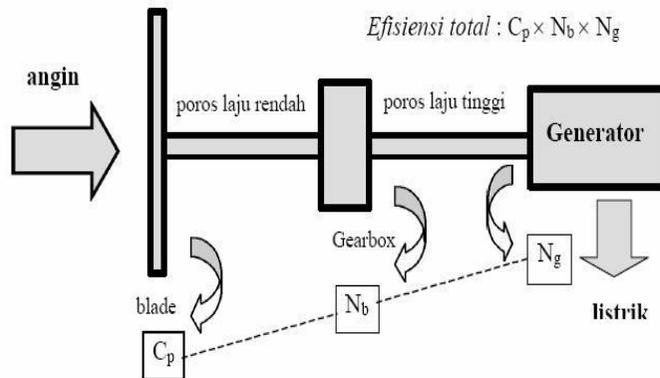


## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

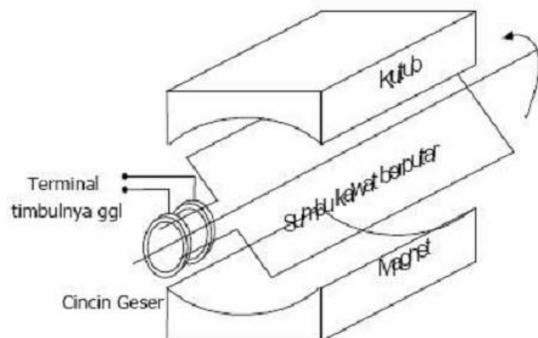
### 2.1 Pinsip Kerja Turbin Angin Pembangkit Listrik

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi putar pada turbin angin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar alternator sebagai sumber energi listriknya,



Gambar 2.1 Prinsip kerja turbin angin

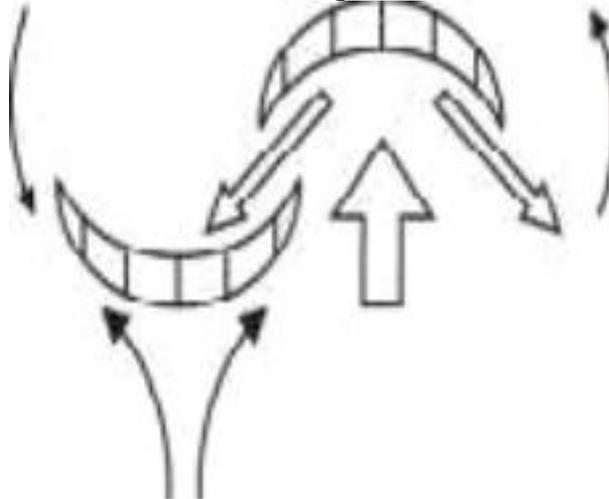
Komponen yang menghasilkan listrik pada rangkaian turbin angin pembangkit listrik diatas adalah generator. Prinsip kerja generator adalah memakai kaidah Hukum Faraday, yaitu apabila sebuah penghantar digerakkan di dalam sebuah medan magnet, maka kedua ujung penghantar tersebut akan timbul sebuah induksi. Bila kedua ujungnya dihubungkan dengan suatu beban misalkan lampu, maka akan mengalir arus listrik dan timbul daya listrik. Dasar pembangkitan ggl ini dapat dilihat dari gambar berikut ini :



Gambar 2.2 Dasar Pembangkit GGL

## 2.2 Turbin Angin Savonius

Turbin angin dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. turbin yang termasuk dalam kategori TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) ini mempunyai rotor dengan bentuk dasar setengah lingkaran. Konsep dari turbin angin savonius cukup sederhana, prinsip kerjanya berdasarkan differential drag windmill.



Gambar 2.2 Turbin Angin Savonius

Turbin angin *savonius* adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya putar yang dihasilkan dari tiap-tiap sudutnya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu (White, 1986:412).

### A. Mamfaat Turbin Angin Savonius

1. Sebagai sumber energi penerangan di daerah petani / nelayan yang belum mendapat sambungan. Listrik Kincir model ini sengaja dikembangkan khusus untuk teknologi rakyat.
2. Daya dan putaran yang dihasilkan turbin savonius relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air.

### B. Aplikasi Kincir Angin Savonius

1. Energi listrik mempunyai banyak kegunaan dari pemanas sampai penggerak mesin-mesin industri, dari penghasil cahaya sampai penghidup komputer dan sebagainya.
2. Turbin angin tipe Savonius sendiri digunakan pada lampu-lampu penerangan di jalan tol. Selain itu, bisa digunakan sebagai kebutuhan rumah tangga, dll. Lampu-lampu jalan tol tidak perlu lagi

menggunakan listrik. Cukup dengan turbin angin Savonius ini, lampu akan menyala.

### C. Cara Kerja Kincir Angin Savonius

Kincir angin Savonius merupakan sumber energi alternatif yang ramah. Cara kincir angin bekerja yaitu: Angin (energi kinetik) meniup kincir angin sehingga sudu dan rotor bergerak. Sudu dan rotor akan berputar pada porosnya. Putaran sudu dan rotor ini mempengaruhi kumparan stator yang ada di bawah rotor. Dengan rotor berisi magnet dan stator berisi kumparan (generator), maka akan menghasilkan energy. Melalui generator tersebut terjadi perubahan energy mekanik menjadi energy listrik yang dapat menyalakan lampu. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (drag ) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung.

Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya. Dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin savonius memiliki putaran dan daya yang rendah. Meskipun demikian turbin savonius tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini. Prinsip kerja untuk kincir angin model savonius yaitu kincir angin model penampang dua daun dipasang tegak lurus pada kincir (berporos vertikal atau tegak) dengan putaran ke arah kanan.

1. Dengan prinsip kerja bahwa setiap pada terpaan / tiupan angin yang mengenai daun kincir, menyebabkan daun kincir tersebut berputar dengan arah putar satu arah yaitu kearah kanan secara terus menerus walaupun angin yang menerpa daun kincir datang dari arah yang berbeda-beda, sehingga energi putar yang dihasilkan dapat stabil dan menghasilkan energi putar yang cukup untuk dapat memulai alternator chass bekerja menchass batery secara kontinyu, sehingga dapat menstabilkan inverter yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik AC.
  2. Elemen-elemen konstruksi kincir angin model savonius adalah penampang daun kincir dua daun dipasang tegak lurus pada kincir (berporos vertical) terbuat dari bahan fiber glass, AS kincir, kopel bearing (pil blok) riga buah, dan satu buah pulley kincir.
  3. Besarnya tegangan AC yang dihasilkan oleh kincir angin model Savonius di tentukan seberapa besar kapasitas inverter yang digunakan.
-

4. Semakin besar kecepatan angin, rapat massa udara luas penampang rotor/ki nairangin, semakin besar pula daya yang dihasilkan.

#### D. Kelebihan Dan Kekurangan Kincir Angin

##### Kelebihan

- Ramah lingkungan ( tidak polusi, bersih)
- Merupakan renewable energy (energi yang tidak dapat habis)
- Sering dipadukan dengan sumber energi lain terutama sumber energi yang terbarukan.
- Merendahkan efek rumah kaca.

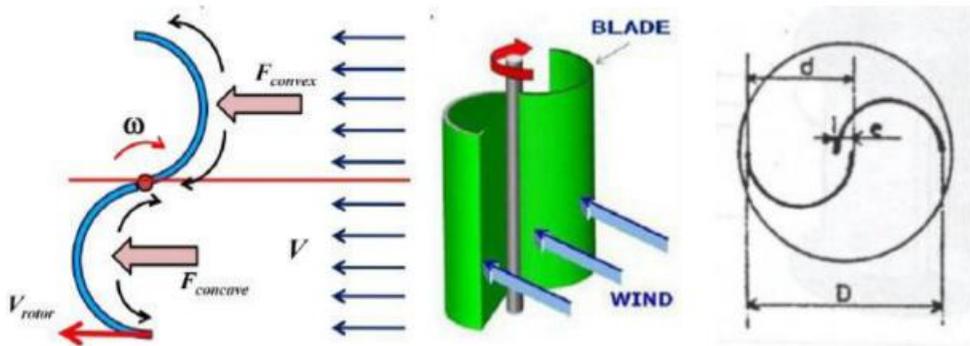
##### Kekurangan

- Hanya bisa di tempat-tempat tertentu yang memiliki banyak angin (tidak bisa di s embarang tempat)
- Butuh lahan yang cukup besar Materi berhubungan dengan kincir angin

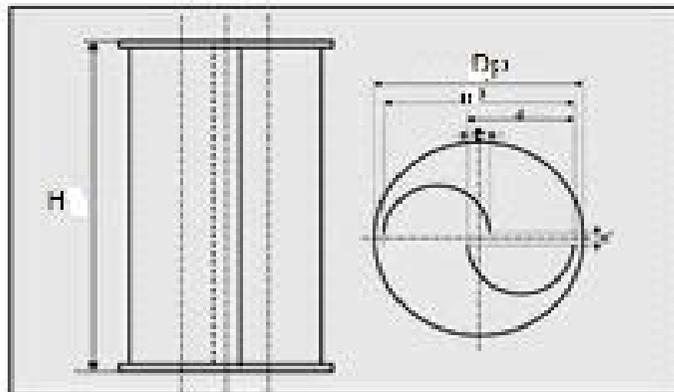
Energi angin dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan kincir angin yang langsung di hubungkan dengan turbin pembangkit listrik. Stasiun pembangkit energi hidroelektr ik dan termoelektrik setiap hari mengubah energi panas menjadi energi mekanik ke mudian menjadi energi listrik. Energi listrik mempunyai banyak kegunaan dari pemanas sampai penggerak mesin-mesin industri, dari penghasil cahaya sampai penghidup komputer dan sebagainya. Keberadaan energi dalam suatu sistem dapat berwujud banyak tipe yang berbeda seperti energi kinetik, energi potensial, energi listrik, energi nuklir dan lain-lain. Jenis energi sistem berubah menjadi energi bentuk lain dapat sekaligus beberapa jenis energi; sebagai contoh energi listrik diubah menjadi energi panas pada kabel, menjadi energi cahaya pada lampu, menjadi energi gerak pada mesin cuci. Energi total sistem disebut sebagai energi mekanik. Maka energi mekanik sistem mencakup energi kinetik sistem, energi potensial grav itasi dan energi pitensial elastik, tetapi tidak mencakup energi listrik dan enrgi nuklir.

Kebanyakan tipe-tipe energi saat itu adalah energi mekanik, sehingga fisikawan sejak awal mendefinisikan bentuk energi kinetik adalah bagian dari energi mekanik .Leibnitz merupakan fisikawan pertama yang meneliti tergantung pada apa sajakah tipe-tipe energi itu. Leibnitz mencatat, setelah percobaannya yang mencakup tentangtumbukan antara dua benda, bahwa jumlah besar  $\frac{1}{2}$  (massa).(kecepatan) benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama. Maka Leibnitz menemukan bahwa energi mekanik sebuah benda berbanding lurus dengan massanya dan kuadrat kecepatannya.

Pola aliran udara pada sudu turbin angin tipe U dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.3.1 Pola aliran Udara sudu tipe U



Gambar 2.3.2 Dimensi Turbin Savonius 2 Sudu

Menurut Betz Limit dan Mangrove (2010) hanya 59% energy udara yang dapat terkonversikan menjadi energy yang dapat dimanfaatkan. Sementara terjadi rugi-rugi energy yang disebabkan oleh system gearbox, bearing dan generator (Jain, 2011).

Beberapa keunggulan turbin udara Savonius antara lain sederhana dan murah dalam konstruksi, torsi yang dihasilkan tinggi meski dioperasikan pada kecepatan udara yang rendah dan tidak tergantung arah angin sehingga dapat dioperasikan dimana saja. Daya yang dihasilkan oleh turbin Savonius adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A v^3$$

- Dimana : P = Daya dihasilkan dari kincir angin savonius (watt)  
 $\rho$  = massa jenis udara (1,225 kg/m<sup>3</sup>)  
 $C_p$  = koefisien daya turbin  
A = Luas sapuan sudu (m<sup>2</sup>)  
v = Kecepatan udara (m/s)

### 2.3 Daya Turbin Angin

Prinsip utama dari energi angin adalah mengubah energi kecepatan yang dimiliki angin menjadi energi kinetik pada poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin. Energi kinetik untuk suatu massa angin  $m$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  yang nantinya akan diubah menjadi energi putar poros dapat dirumuskan sebagai berikut :

Udara yang memiliki massa dan kecepatan akan menghasilkan energi kinetik sebesar :

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Dimana :  $m$  = massa udara yang bergerak (kg)  
 $v$  = kecepatan angin (m/s)

Volume udara per satuan waktu (s) yang bergerak dengan kecepatan  $v$  dan melewati daerah seluas  $A$  adalah :

$$V = vA$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$ , yaitu :

$$m = \rho V = \rho vA$$

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah :

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

Dimana :  $P_w$  = daya turbin (watt)  
 $\rho$  = densitas udara (1,225kg/m<sup>3</sup>)  
 $A$  = luas penampang turbin (m<sup>2</sup>)  
 $v$  = kecepatan udara (m/s)  
 $V$  = Laju Volume (m<sup>3</sup>/s)

### 2.4 Perhitungan Dimensi Sudu/Luas Penampang (A)

Dalam merancang sudu pada turbin Savonius yang terdiri atas 2 bagian ini yaitu diameter rotor dan panjang rotor. Maka :

$$L_{\text{rotor}} = D \times t$$

Dimana :

$D$  = Diameter luas penampang sudu

$t$  = Tinggi sudu

---

Diperolehnya data mengenai temperatur dan waktu tahan kalsinasi yang tepat untuk mendeposisikan  $\text{TiO}_2$ , sehingga didapatkan struktur kristal yang tepat untuk menciptakan DSSC dalam skala laboratorium dengan arus dan beda potensial yang maksimal. Diharapkan ke depannya dapat terus dikembangkan sehingga dapat membantu dalam mengatasi krisis energi yang sedang terjadi dewasa ini.

## **2.5 Alternator**

Alternator adalah peralatan elektromekanis yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi arus bolak-balik.



Gambar 2.5 Alternator

### **2.5.1 Bagian-bagian pada Alternator**

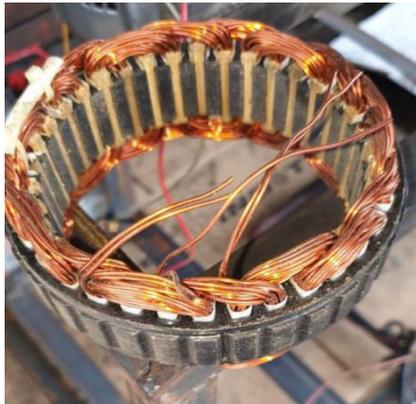
#### **1. Rotor**



Gambar 2.5.1 Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar bersama turbin didalam alternator, pada rotor terdapat gulungan kawat email untuk membentuk atau membangkitkan medan magnet ketika arus mengalir dari regulator. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet ketika ada arus listrik mengalir ke gulungan rotor dan terdapat slip ring yang berfungsi sebagai penyalur listrik dari carbon brush.

## 2. Stator



Gambar 2.5.2 Stator

Stator adalah kumparan statis yang berfungsi menangkap perpotongan medan magnet. Untuk menghasilkan aliran listrik pada alternator harus terjadi perpotongan antara medan magnet dengan kumparan.

Nantinya, pada kumparan statis tersebut akan timbul aliran listrik dengan tegangan dan arah tertentu.

## 3. Rectifier



Gambar 2.5.3 Rectifier

Rectifier berfungsi sebagai penyearah arus listrik AC yang dihasilkan oleh gulungan alternator saat rotor coil yang bermagnet berputar menjadi arus DC.

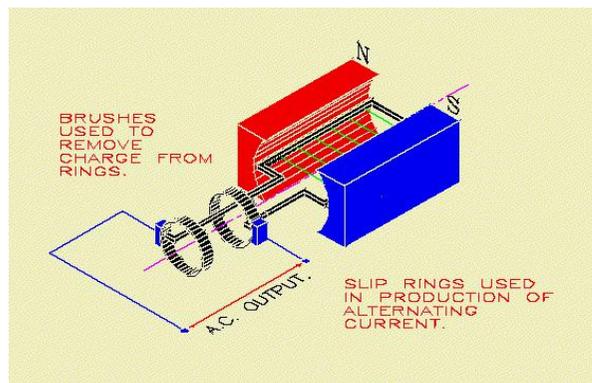
#### 4. AVR (Automatic Volt Regulator)



Gambar 2.5.4 AVR (Automatic Volt Regulator)

AVR adalah alat yang berfungsi untuk mengatur besarnya tegangan out pun yang dikeluarkan alternator dengan cara mengatur dengan cara mengatur besarnya arus listrik yang masuk kedalam kumparan rotor. Sehingga nilai tegangan out put yang dihasilkan oleh alternator tetap atau konstan sesuai dengan nilai tegangan yang telah ditentukan, meskipun putaran mesin yang memutarnya berubah-ubah.

#### Prinsip Kerja Alternator



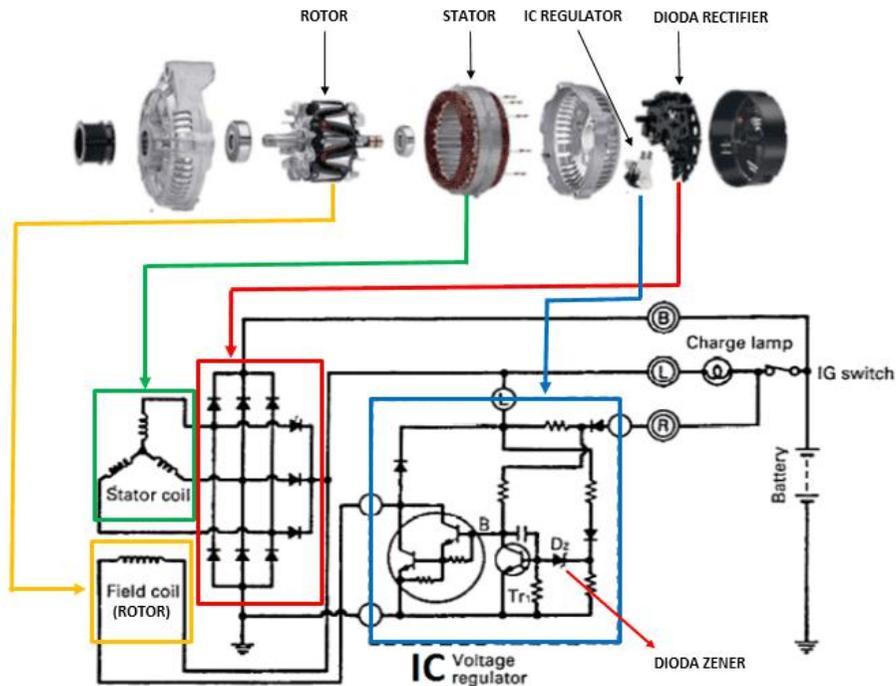
Gambar 2.5.5 Prinsip Kerja Alternator

Generator dapat menghasilkan listrik karena ada pergerakan relatif antara medan magnet homogen terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak dan kumparan jangkar diam, atau sebaliknya magnet diam sedangkan kumparan jangkar bergerak). Jadi, jika sebuah kumparan berputar pada kecepatan tertentu pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet homogen ini bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap.

Seperti pada contoh sederhana gambar di atas sebuah kumparan rotor berputar disekitar medan magnet homogen yang dihasilkan stator, kemudian

tegangan keluaran pada rotor diambil/dilewatkan melalui sepasang *slip ring* (cincin sikat) yang bisa dihubungkan ke beban. Proses terbentuknya gelombang AC yang dihasilkan pada keluaran rotor ini lebih jelasnya seperti pada gambar diatas.

### Cara Kerja Alternator



Gambar 2.5.6 Cara Kerja Alternator

Secara garis besar, cara kerja Alternator adalah menghasilkan arus listrik atau kuat arus dari stator coil yang kemudian arus listrik tersebut diatur oleh IC regulator agar tegangan listrik yang dihasilkan tidak berlebih dan bisa digunakan dengan baik untuk mengisi listrik pada aki mobil tetapi dengan kebutuhan energi listrik pada saat ini kami mencoba memanfaatkan energi listrik dari alternator untuk digunakan pada kebutuhan sehari – hari dengan mengubah energi angin/kinetik menjadi energi listrik yang ramah lingkungan

Cara kerja sistem pengisian IC regulator sebagai berikut

1. Field coil (rotor coil) mendapat arus listrik dari aki/battery jadi pada rotor coil timbul medan magnet

2. Bila alternator berputar oleh akibat adanya angin maka medan magnet pada rotor coil akan memotong gulungan konduktor pada stator coil, akibatnya akan muncul arus listrik pada stator coil
3. Tegangan bolak – balik yang keluar dari stator coil kemudian disearahkan oleh diode sehingga menjadi arus searah
4. Arus ini akan mengalir kedalam IC regulator agar tegangan yang dihasilkan bisa tetap stabil dan tetap bisa mengisi listrik di aki / batteray
5. Proses penstabilan tegangan listrik dilakukan oleh IC regulator adalah dengan memanfaatkan dioda zener sebagai pemutus dan penghubung tegangan di IC regulator
6. Ketika dioda zener dalam posisi on (mengalir listrik) maka arus listrik yang mengalir ke Field coil (rotor coil terputus, efeknya tidak ada medan magnet sehingga stator berhenti menghasilkan arus listrik
7. Terhentinya arus listrik dari stator coil akan menyebabkan tegangan yang menuju dioda zener menjadi berkurang, akibatnya dioda zener kembali menjadi OFF (listrik tidak mengalir), hal ini akan membuat listrik akan ke field coil (rotor coil) kembali mengalir sehingga kembali terjadi medan magnet dan membuat stator coil menghasilkan listrik kembali
8. Begitulah seterusnya proses pengaturan tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator akan terus berulang – ulang.

## **2.6 Gerak Melingkar**

Gerak melingkar merupakan gerak suatu objek yang lintasannya berupa lingkaran mengelilingi suatu titik tetap. Gerak melingkar beraturan adalah gerak yang lintasannya berbentuk lingkaran dengan laju konstan dan arah kecepatannya tegak lurus terhadap arah kecepatan. Sebuah benda bergerak dari garis lurus jika gaya total yang ada padanya bekerja pada arah gerak benda tersebut, atau sama dengan nol.

### **1.1 Frekuensi dan Periode**

Pada gerak melingkar sering disebut dengan istilah frekuensi dan periode. Frekuensi ( $f$ ) adalah banyaknya putaran yang dilakukan objek dalam satu detik. Sedangkan periode ( $T$ ) adalah waktu yang diperlukan objek untuk menyelesaikan satu putaran penuh. Berikut ini merupakan rumus persamaannya sebagai berikut :

$$f = \frac{n}{t}$$

$$T = \frac{t}{n}$$

Dimana :

$f$  = frekuensi (Hz)

$T$  = periode (s)

---

n = banyak putaran (rpm)  
t = waktu (s)  
1 putaran adalah  $2\pi$  rad(radian)  
1 rpm(rotasi per menit) adalah  $\pi/15$ .

Periode dan frekuensi dihubungkan dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$T = \frac{1}{f}$$

### 2.6.1 Rumus Gerak Melingkar Beraturan (GMB)

Rumus gerak melingkar beraturan meliputi sebagai berikut : rumus hubungan sudut, periode dan frekuensi, kecepatan linier dan kecepatan sudut, percepatan linier dan percepatan sudut, dan gaya sentripetal.

Ulasan rumus pada gerak melingkar beraturan adalah pembahasan hubungan antara sudut dan kecepatan sudut. Selain itu, rumus juga menyatakan bahwa hubungan antara sudut, kecepatan sudut, periode dan frekuensi.

Sesuai pengertian di atas, periode adalah waktu yang dibutuhkan benda untuk berputar sebanyak satu putaran. Sedangkan frekuensi adalah banyaknya putaran yang ditempuh dalam satu detik. Hubungan antara periode dan frekuensi dapat dinyatakan dengan melalui persamaan.

Dalam GMB, hubungan antara sudut, kecepatan sudut, periode, dan frekuensi dinyatakan dengan melalui persamaan-persamaan yang diberikan pada rumus gerak melingkar beraturan seperti dibawah ini :

$$\theta = \omega.t$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$T = 2\pi.\omega$$

Dimana :

$\theta$  = Sudut (rad)  
 $\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)  
t = Waktu (s)  
T = Periode (s)  
f = frekuensi (Hz)

#### - Kecepatan Linier

Kecepatan adalah besarnya lintasan yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. Maka :

---

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

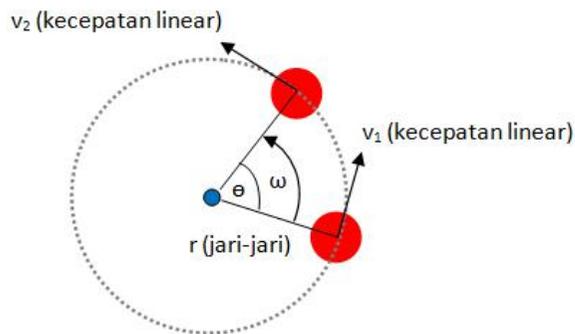
Dalam gerak melingkar, lintasannya ialah keliling lingkaran yang besarnya  $2\pi r$  dan waktunya merupakan periode, maka :

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

atau

$$v = 2\pi r f$$

Perhatikan gambar berikut ini :



Gambar 2.6.1 kecepatan linier

Besarnya perubahan sudut dalam rentang waktu tertentu dinamakan dengan kecepatan angular atau kecepatan sudut.

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

Dalam 1 lingkaran penuh, maka :

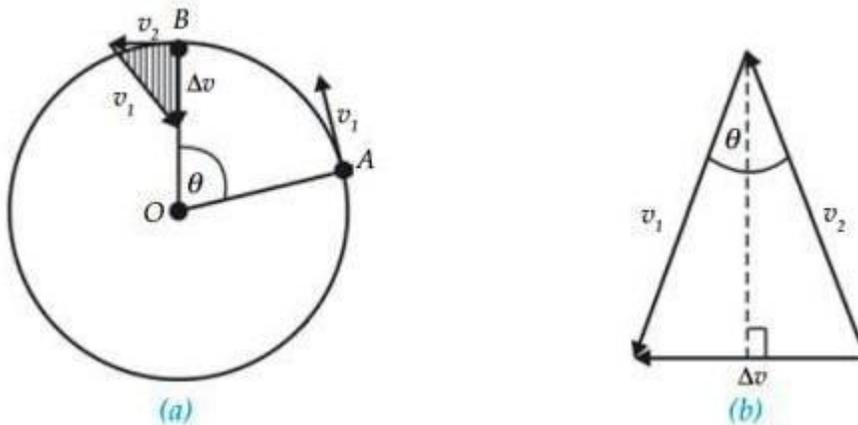
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

atau

$$\omega = 2\pi f$$

### - Percepatan Sentripetal

Merupakan suatu benda yang bergerak melingkar secara beraturan dan mempunyai percepatan yang disebut dengan sentripetal. Pada arah percepatan ini kerap kali menuju ke arah pusat lingkaran. Percepatan sentripetal berfungsi untuk mengubah arah kecepatan.



Gambar 2.6.2 percepatan sentripetal

Percepatan sentripetal dapat ditentukan dengan menguraikan arah kecepatan. Jadi dikarenakan GMB memiliki kecepatan yang tetap, maka segitiga yang diarsir diatas merupakan segitiga sama kaki. Kecepatan rata-rata dan selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh panjang busur AB ( $r$ ) dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1/2 \Delta v}{v} = \sin \frac{1}{2} \theta = \Delta v = 2v \sin \frac{1}{2} \theta$$

$$r \theta = v \times \Delta t \Leftrightarrow \Delta t = \frac{r \theta}{v}$$

jika kecepatan rata-rata dan selang waktu yang digunakan telah diperoleh, maka percepatan sentripetalnya adalah :

$$a_s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v^2 \sin \frac{1}{2} \theta}{r \frac{1}{2} \theta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sin \frac{1}{2} \theta}{\frac{1}{2} \theta}$$

$$\text{Karena } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sin \frac{1}{2} \theta}{\frac{1}{2} \theta} = 1, \text{ maka } a_s = \frac{v^2}{r}$$

Sebab  $\omega$ , jadi bentuk lain dari persamaan diatas adalah  $a_s = \omega^2 r$ . maka, untuk benda yang melakukan GMB, percepatan sentripetalnya ( $a_s$ ) dapat dicari dengan persamaan :

$$a_s = \frac{v^2}{r}$$

atau

$$a_s = \omega^2 r$$

### 2.6.2 Gerak Melingkar Berubah Beraturan

Apabila dalam perubahannya disebut percepatan searah, maka kecepatannya akan semakin meningkat. Namun apabila dalam perubahan percepatannya berlawanan arah dengan kecepatan, maka kecepatannya akan menjadi menurun.

Pada gerak melingkar berubah beraturan (GMBB), kecepatan linier dapat berubah secara beraturan. Besaran tersebut adalah suatu percepatan tangensial ( $a_t$ ), yang arahnya dapat sama atau berlawanan dengan arah kecepatan linier. Percepatan sudut merupakan hasil yang didapat dari tangensial ( $\alpha$ ) kemudian dikalikan dengan jari-jari lingkaran ( $r$ ).

$$a_t = \alpha \cdot r$$

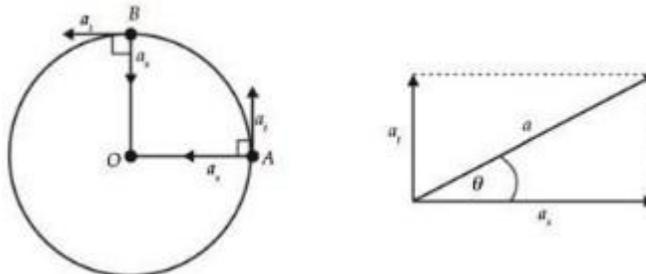
Dimana :

- $a_t$  = percepatan tangensial ( $m/s^2$ )
- $\alpha$  = percepatan sudut ( $rad/s^2$ )
- $r$  = jari-jari lingkaran ( $m$ )

Didalam GMBB terdiri dari 2 percepatan yakni :

- Sentripetal ( $a_s$ )
- Tangensial ( $a_t$ ).

Pada sentripetal yang mana ia selalu mengarah ke titik pusat lingkaran, namun berbeda dengan tangensial yang menyinggung lingkaran. Percepatan total dalam GMBB merupakan jumlah vektor dari kedua percepatan tersebut.



Gambar 2.6.3 hubungan percepatan sentripetal dan tangensial