



## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Energi Secara Umum

Pada saat ini di era industrialisasi dan transportasi, energi digunakan sebagai bahan bakar utama penggerak sektor tersebut. Energi yang umumnya sekarang digunakan berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas alam dan batu bara. Ketiga bahan bakar tersebut saat ini merupakan pemasok energi terbesar di dunia. Bahan bakar fosil mampu mendominasi 81% energi primer dunia dan juga berkontribusi pada 66% pembangkitan listrik global. Padahal bahan bakar tersebut termasuk sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui dan lama kelamaan keberadaannya akan langka dan habis. Beberapa data menyebutkan bahwa sampai dengan taraf tertentu, krisis energi kita hadapi dimasa akan datang (Fachturohman, 2014).

Situasi energi di Indonesia tidak lepas dari situasi energi dunia. Konsumsi energi dunia yang makin meningkat membuka kesempatan bagi Indonesia untuk mencari sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhannya sendiri. Ketergantungan masyarakat Indonesia terhadap bahan bakar minyak sangatlah besar. Berdasarkan data energi sumber daya mineral 2006, bahwa minyak bumi seperti solar, premium, minyak tanah, minyak diesel, dan minyak bakar mendominasi 52,5% pemakaian energi di Indonesia, gas bumi sebesar 19%, batu bara 21,5%, air 3,7%, panas bumi 3% dan energi terbarukan *renewable* hanya sekitar 0,2% dari total penggunaan energi (Fachturohman, 2014).

Menurut data Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2006, cadangan minyak bumi Indonesia hanya sekitar 9M barel per tahun dan produksi Indonesia hanya sekitar 900 jt barel pertahun. Jika terus dikonsumsi dan tidak ditemukan cadangan minyak baru atau tidak ditemukan teknologi baru untuk meningkatkan *recovery* minyak bumi diperkirakan cadangan minyak Indonesia habis dalam waktu 23 tahun mendatang (Fachturohman, 2014).



Berbagai energi alternatif yang dikenal selama ini untuk pengganti bahan bakar fosil adalah panas bumi (geotermal), tenaga matahari, tenaga angin, gelombang laut, arus, dan pasang surut. Namun keberadaan sumber daya tersebut terkendala oleh beberapa faktor seperti kondisi alam, musim, dan lamanya paparan. Karna itu beberapa negara mulai mengambil kebijakan untuk mencari sumber energi lain yang terbarukan, yang tidak terpengaruh musim, salah satunya adalah menggunakan bahan bakar hayati. Jadi disimpulkan perlu adanya sumber energi terbarukan disebabkan beberapa hal diantara adalah (Facturohman, 2014) :

1. Konsumsi energi yang semakin meningkat.
2. Bahan bakar fosil akan habis karena termasuk bahan bakar tak terbarukan.
3. Kebutuhan bahan bakar yang tak seimbang dengan produksi sehingga masih mengimpor bahan bakar minyak.
4. Potensi biomasa Indonesia yang besar karena keanekaragaman tumbuhan yang sangat tinggi serta dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar.
5. Adanya kebijakan internasional maupun nasional mengenai energi.
6. Potensi lahan-lahan kosong dan tandus yang dapat digunakan untuk menanam tanaman yang dapat dikonversikan menjadi bahan bakar.
7. Potensi sumber daya manusia untuk mengolah, memanfaatkan dan menghasikan bahan bakar alternatif untuk kebutuhan dimasa depan.
8. Penyerapan tenaga kerja dalam pengelolaan lahan pertanian dan perkebunan.
9. Untuk mengurangi efek-efek buruk dari pembakaran bahan bakar fosil maka diperlukan sumber energi yang lebih ramah lingkungan.
10. Bahan bakar minyak juga mengandung polutan berbahaya bagi kesehatan manusia seperti hidro karbon, Pb dan CO.

## 2.2 Pembangkit Energi Listrik

Pembangkit listrik kita ketahui semakin berkembang dengan adanya penemuan berbagai sumber pembangkit listrik seperti Pembangkit Listrik tenaga air, udara, mikrohidro, generator *Stirling*, motor generator dan lain-lain.

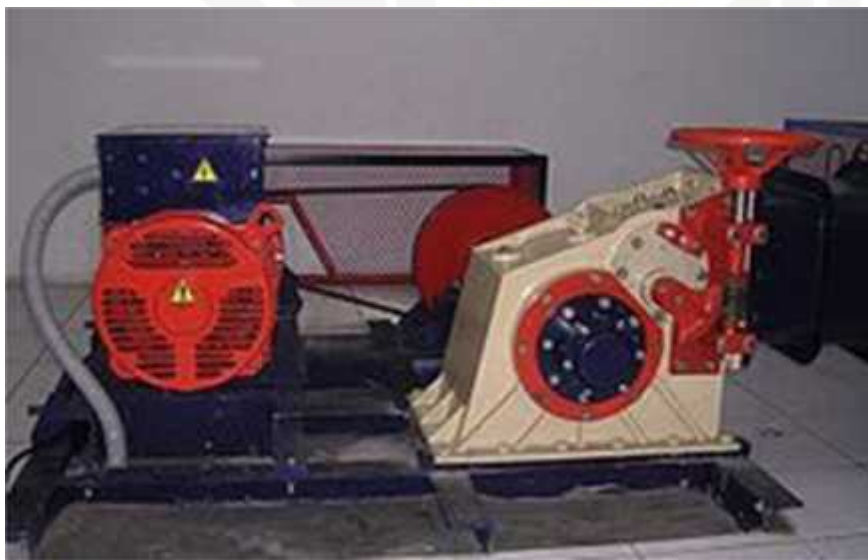
### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMh) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang masih belum banyak dimanfaatkan di wilayah Indonesia. Berdasarkan data dari departemen ESDM 2003, Indonesia mempunyai potensi tenaga air sebesar 75.000 MW dan saat ini baru 13,5 % potensi tersebut dimanfaatkan. Oleh karena itu perlu ditingkatkan penggunaan PLTMh di daerah-daerah yang berpotensi untuk dibangun mikrohidro, sehingga kebutuhan energi listrik tidak lagi terlalu bergantung kepada perusahaan listrik negara (PLN) (Effendy, 2009).

Salah satu komponen PLTMh adalah generator sebagai alat untuk mengubah energi mekanis poros turbin menjadi energi listrik. Generator yang banyak digunakan dalam PLTMh adalah generator sinkron (untuk daya terbangkit > 10 kW) dan generator asinkron atau induksi (untuk daya terbangkit < 10 kW). Beberapa alasan dipergunakan generator induksi untuk daya terbangkit PLTMh < 10 kW antara lain: generator sinkron dengan daya < 10 kW sangat sulit didapatkan di pasaran, mudah perawatannya, dan harganya lebih murah (Effendy, 2009).



Gambar 2.1 Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (Effendy, 2009).



### 2.2.2 Pembangkit Listrik Dengan Generator *Stirling*

Generator adalah suatu alat atau sistem yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dan menghasilkan tenaga listrik bolak-balik atau tenaga listrik searah tergantung pada tipe generator. Generator arus bolak balik sering disebut juga generator sinkron. Prinsip kerja generator berdasarkan hukum *faraday* tentang induksi elektro magnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan membangkitkan gaya gerak listrik. Konstruksi generator sinkron terdiri dari stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang bergerak (Al-Fikri, 2013).

*Stirling* adalah mesin kalor yang mengambil kalor dari luar silinder kerjanya. Sumber kalor apapun, selama temperaturnya cukup tinggi, akan bisa menggerakkan motor *stirling* ini. Mesin *stirling* juga dikenal sebagai mesin pembakaran luar, proses kerjanya seperti motor bakar pembakaran dalam. Mesin *stirling* ini dapat membakar setiap bahan bakar padat (solid) atau cairan sebagai sumber pemanasannya. Hal ini menyebabkan mesin *stirling* sangat menarik, khususnya pada situasi dimana bahan bakar konvensional saat ini sangat mahal dan sulit untuk memperolehnya. Beberapa jenis mesin *stirling*, selain demikian efektif juga sangat mudah pembuatannya, dan dapat digunakan antara lain untuk mesin pembangkit listrik, mesin pendingin, mesin pompa dan lain-lain (Al-Fikri, 2013).

Komponen-komponen mesin *stirling* terdiri dari blok silinder, piston, tangan piston, roda gaya, regenerator dan fluida kerja. Fluida kerja berada dalam blok silinder panas melakukan gaya kerja terhadap piston sedemikian rupa sehingga memberikan tekanan terhadap roda gaya melalui tangan piston (Al-Fikri, 2013).

Cara kerja mesin ini memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. Dengan demikian akan terjadi siklus pemuaian dan penyusutan sehingga sebuah mesin dapat berputar. Dari definisi di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa sebuah mesin *stirling* akan bekerja atau berputar jika terdapat perbedaan temperatur (Al-Fikri, 2013).

#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

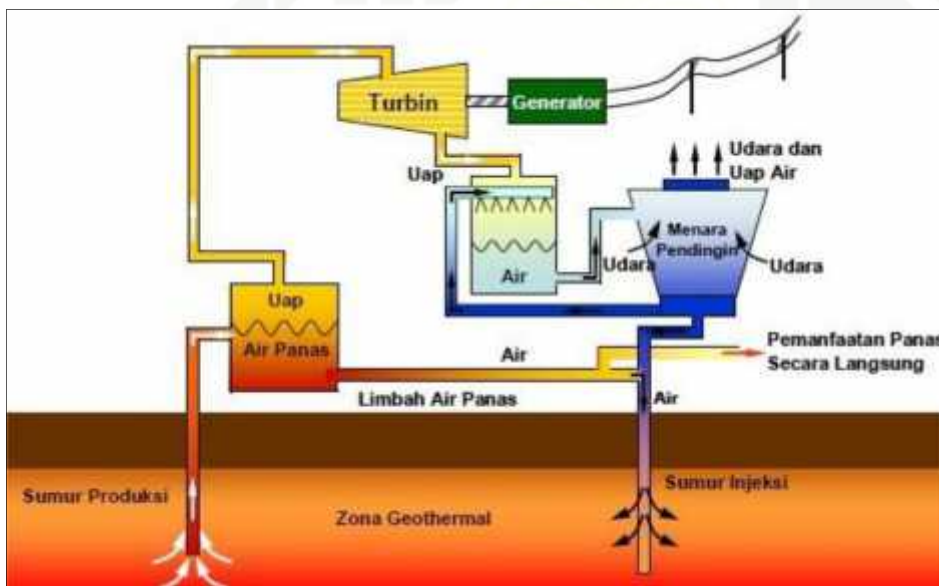
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Semakin berkembangnya perekonomian di Indonesia maka kebutuhan akan energi juga semakin besar, terutama energi listrik. Sehingga Indonesia memiliki banyak pembangkit listrik salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) (Ria Mahmudah, 2013).

PLTP adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan panas bumi untuk memanaskan air sehingga menjadi uap panas yang bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin. Putaran turbin ini yang selanjutnya digunakan untuk memutar generator yang merupakan salah satu alat vital di instalasi pembangkit listrik. Generator adalah salah satu alat vital dalam pembangkit listrik, dimana fungsi dari generator adalah untuk merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Di dalam fungsinya sebagai penghasil listrik putaran generator pada rotornya juga menghasilkan energi panas (Ria Mahmudah, 2013).



Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Ria Mahmudah, 2013)

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Generator Cooler di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Ria Mahmudah, 2013).

## 2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) tergolong tidak menghasilkan limbah secara langsung. Beberapa PLTA di Indonesia yang dibangun lebih dari dua dasa warsa lalu masih beroperasi (Estiko Rijanto, 2009).

Pembangkit listrik ini masih menggunakan teknologi analog untuk sistem kontrol tegangannya yang diimpor dari luar negeri. Berhentinya produksi kontroler tegangan tersebut di luar negeri mengancam kesinambungan operasi PLTA yang bersangkutan. Kontroler tegangan analog baru dirancang bangun agar memiliki fungsi yang sama dengan kontroler acuan dan hal ini dibuktikan dengan membandingkan sinyal hasil pengukuran ke dua kontroler tersebut. Dengan terbangunnya kemampuan rancang bangun kontroler tegangan untuk PLTA ini diharapkan dapat turut memecahkan permasalahan kelistrikan yang ada di Indonesia. Kemampuan rancang bangun dalam negeri perlu ditingkatkan untuk meningkatkan kemandirian teknologi kelistrikan nasional (Estiko Rijanto, 2009).

### 2.2.5 Pembangkit Energi Listrik Menggunakan Motor Generator

Suatu generator dapat bekerja pada operasi yang stabil saat terdapat keseimbangan antara daya masukan daya mekanis dengan daya keluaran elektrik pada sistem. Saat kondisi operasi stabil, generator berputar pada kecepatan sinkron. Perubahan yang terjadi pada sumber penggerakannya, perubahan pada beban, dan gangguan-gangguan lainnya dapat mengakibatkan ketidakseimbangan antara daya mekanis dan elektrik. Kelebihan daya mekanis terhadap daya elektrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya. Bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera maka percepatan atau perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem (Laksono, 2012).

### 2.3 Motor Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadang kala disebut kuda kerjanya industri. Diperkirakan motor-motor menggunakan sekitar 70% total energi listrik di industri (Abidin, 2013).



Gambar 2.4 Motor listrik (Abidin, 2013)

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

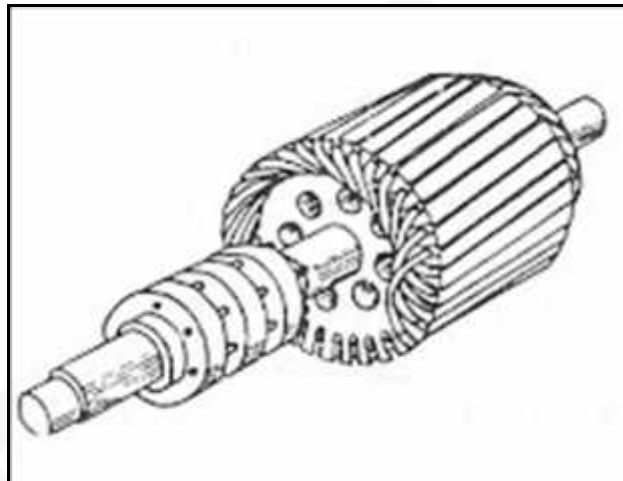
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

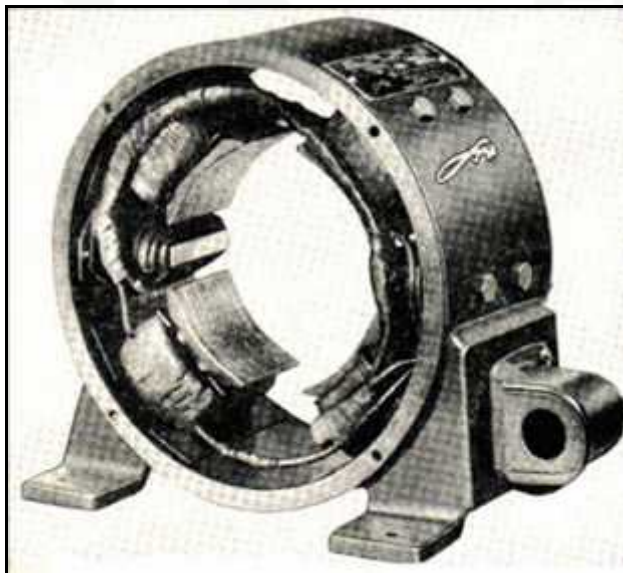
Motor listrik dikategorikan sebagai mesin elektrik merupakan suatu alat konversi energi yang berputar, yang mengubah tenaga magnetik menjadi tenaga elektrik atau sebaliknya mengubah tenaga elektrik menjadi tenaga mekanik. Bila energi mekanik diubah menjadi energi elektrik, maka mesin bekerja sebagai generator, sebaliknya bila energi elektrik diubah menjadi energi mekanik, maka mesin bekerja sebagai motor (Abidin, 2013).

**Hak Cipta Diindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.5 Rotor (Abidin, 2013)



Gambar 2.6 Stator (Abidin, 2013)





Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum adalah sama (Abidin, 2013):

1. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
2. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran atau *loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
3. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar atau *torque* untuk memutar kumparan.
4. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putar yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar atau *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok (Abidin, 2013):

- a. Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *conveyors* dan pompa *displacement* konstan.
- b. Beban dengan variabel *torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan fan (*torque* bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- c. Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

### 2.3.1 Motor *Alternative Current* (AC)

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik stator dan rotor. Stator merupakan komponen listrik

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

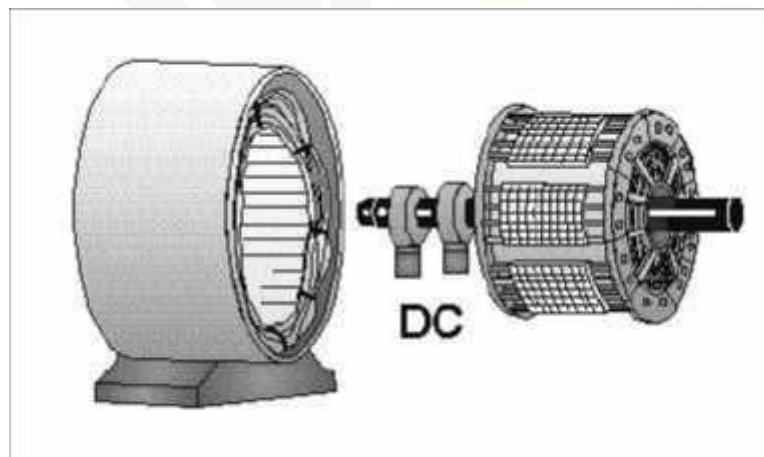
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

statis. Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor (Abidin, 2013)

Keuntungan utama motor *direct current* (DC) terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC) (Abidin, 2013).

Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekwensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki *torque* awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik (Abidin, 2013).



Gambar 2.7 Motor sinkron (Yudhistira, 2014)

Komponen utama motor sinkron adalah (Abidin, 2013):

**a. Rotor**

Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa *rotor* mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. *Rotor* memiliki magnet permanen atau arus DC-*excited*, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.

**b. Stator**

*Stator* menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekuensi yang dipasang.

Seperti motor kebanyakan, motor induksi AC memiliki tetap bagian luar, yang disebut stator dan rotor yang berputar dalam dengan hati-hati rekayasa celah udara antara dua. Hampir semua motor listrik menggunakan medan magnet rotasi untuk spin rotor mereka. AC tiga fase motor induksi adalah jenis-satunya tempat medan magnet putar dibuat secara alami dalam stator karena sifat pasokan. Motor DC tergantung baik pada mekanik atau pergantian elektronik untuk membuat magnet berputar ladang. Sebuah motor AC induksi satu fasa bergantung pada komponen listrik tambahan untuk menghasilkan ini berputar medan magnetik. Dua set elektromagnet dibentuk dalam setiap motor. Dalam motor induksi AC, satu set dari elektromagnet adalah terbentuk dalam stator karena pasokan AC terhubung ke gulungan stator. Sifat bergantian pasokan menginduksi sebuah tegangan Angkatan elektromagnetik (EMF) di rotor (seperti tegangan yang disebabkan akibat trafo sekunder) sesuai hukum Lenz, sehingga menghasilkan satu set elektromagnet maka nama induksi motor. Interaksi antara medan magnet elektromagnet ini menghasilkan gaya memutar atau torsi. Akibatnya, motor berputar ke arah torsi yang dihasilkan (Joko Prianto, 2010).

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Steselaing, J. Rev. Sisi / o Sultan Syarif Kasim Riau

#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Stator ini terdiri dari beberapa laminasi tipis aluminium atau besi cor. Mereka meninju dan dijepit bersama untuk membentuk sebuah silinder berongga (inti stator) dengan slot. Gulungan kawat berisolasi yang dimasukkan ke dalam slot. Setiap pengelompokan gulungan, bersama-sama dengan mengelilingi inti itu, bentuk-bentuk elektromagnet (kutub sepasang) pada sisi AC pasokan. Jumlah kutub motor induksi AC tergantung pada sambungan internal gulungan stator. Gulungan stator terhubung langsung ke sumber daya. Internal mereka terhubung sedemikian cara, bahwa pada pasokan menerapkan AC, berputar magnetik lapangan dibuat (Joko Prianto, 2010).

Rotor terdiri dari laminasi baja beberapa tipis dengan bar merata spasi, yang terdiri dari aluminium atau tembaga, di sepanjang pinggiran. Dalam kebanyakan popular jenis rotor (rotor kandang tupai), bar ini tersambung pada ujung yang mekanis dan elektrik dengan penggunaan cincin. Hampir 90% dari motor induksi memiliki rotor sangkar tupai. Hal ini karena kandang tupai rotor memiliki konstruksi sederhana dan kasar (Joko Prianto, 2010).

Rotor terdiri dari inti dilaminasi silinder dengan secara aksial ditempatkan parallel slot untuk membawa konduktor. Setiap slot membawa tembaga, aluminium, atau bar paduan. Ini rotor bar secara permanen hubung pendek pada kedua ujungnya dengan cara berdering akhir. Ini total perakitan menyerupai tampilan kandang tupai, yang memberikan nama rotor nya. Slot rotor tidak persis sejajar dengan poros. Sebaliknya, mereka diberi miring karena dua alasan utama. Alasan pertama adalah membuat motor berjalan dengan tenang magnetik mengurangi hum dan mengurangi slot harmonisa. Alasan kedua adalah untuk membantu mengurangi kecenderungan penguncian dari rotor. Gigi rotor cenderung tetap terkunci di bawah gigi stator karena langsung atraksi magnetik antara keduanya. Hal ini terjadi ketika jumlah gigi stator adalah sama dengan jumlah gigi rotor. Rotor sudah terpasang pada poros dengan menggunakan bantalan pada setiap akhir; salah satu ujung poros biasanya terus lagi daripada yang lainnya untuk mengemudi beban (Joko Prianto, 2010).

#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Beberapa motor mungkin memiliki poros aksesoris di ujung non-driving untuk mounting kecepatan atau posisi penginderaan perangkat. Antara stator dan rotor, terdapat celah udara, melalui yang karena induksi, energi tersebut dipindahkan dari stator ke rotor. Pasukan torsi yang dihasilkan rotor dan kemudian beban berputar. Apapun jenis dari rotor yang digunakan, prinsip yang digunakan untuk rotasi tetap sama. Medan magnet yang dibuat dalam stator berputar pada kecepatan sinkron (Joko Prianto, 2010).

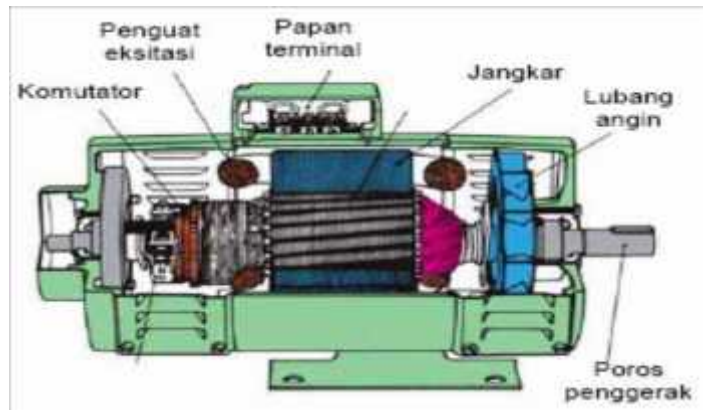
Medan magnet yang dihasilkan pada rotor karena tegangan induksi bolak di alam. Untuk mengurangi kecepatan relatif, sehubungan dengan stator, rotor mulai berjalan ke arah yang sama dengan fluks stator dan mencoba untuk mengejar ketinggalan dengan fluks berputar. Namun, dalam prakteknya, rotor tidak pernah berhasil mengejar untuk bidang stator. Rotor berjalan lebih lambat dari kecepatan bidang stator. Kecepatan ini disebut sebagai *Base Speed* ( $N_b$ ). Perbedaan antara  $N_s$  dan  $N_b$  disebut slip. Itu slip bervariasi dengan beban. Peningkatan beban akan menyebabkan rotor untuk memperlambat atau meningkatkan slip. Penurunan beban akan menyebabkan rotor untuk mempercepat atau mengurangi slip. Karena hanya memiliki sumber arus bolak tunggal, satu-satunya fase motor hanya bisa menghasilkan medan bolak yang menarik pertama dalam satu arah, kemudian di seberang sebagai polaritas dari switch lapangan (Joko Prianto, 2010).

## 2.4 Generator

Generator adalah suatu alat atau sistem yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dan menghasilkan tenaga listrik bolak-balik atau tenaga listrik searah tergantung pada tipe generator. Generator arus bolak-balik sering disebut juga generator sinkron. Prinsip kerja generator berdasarkan hukum *faraday* tentang induksi elektro magnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan membangkitkan gaya gerak listrik. Konstruksi generator sinkron terdiri dari *rotor* dan *stator* (Al-Fikri, 2013).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.8 Kontruksi generator arus bolak-balik (Sumber: Guntur, 2011).

**a. Rotor**

*Rotor* adalah bagian dari motor listrik atau generator listrik yang berputar pada sumbu *rotor*. Perputaran *rotor* di sebabkan karena adanya medan magnet dan lilitan kawat email pada *rotor*. Sedangkan torsi dari perputaran *rotor* di tentukan oleh banyaknya lilitan kawat dan juga diameternya (Abidin, 2013).

Bagian *rotor* yang berputar terdiri atas (Abidin, 2013):

- Poros jangkar
- Inti jangkar
- Kumutator
- Kumparan jangkar

**b. Stator**

Kebalikan dari *rotor*, *stator* adalah bagian pada motor listrik atau dinamo listrik yang berfungsi sebagai stasioner dari sistem *rotor*. Jadi penempatan *stator* biasanya mengelilingi *rotor*, *stator* bisa berupa gulungan kawat tembaga yang berinteraksi dengan angker dan membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran *rotor* (Al-Fikri, 2013).

Bagian *stator* yang berputar terdiri atas (Abidin, 2013):

- Kerangka generator
- Kutub utama beserta belitannya
- Bantalan-bantalan poros
- Sikat arang



#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Prinsip kerja generator adalah kebalikan daripada saat mesin bekerja sebagai motor. Ketika mesin bekerja sebagai motor, kumparan stator diberi tegangan tiga fasa sehingga akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron. Namun jika motor berfungsi generator, pada rotor motor diputar oleh sumber penggerak dengan kecepatan lebih besar daripada kecepatan sinkronnya (Ingriany S, 2014).

Namun jika motor berfungsi generator, pada rotor motor diputar oleh sumber penggerak dengan kecepatan lebih besar daripada kecepatan sinkronnya. Bila suatu konduktor yang berputar didalam medan magnet (kumparan stator) akan membangkitkan tegangan dan bila dihubungkan ke beban akan mengalirkan arus. Arus pada rotor ini akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan stator sehingga timbul arus pada kumparan stator sebagai reaksi atas gaya mekanik yang diberikan. Pada proses perubahan motor induksi menjadi generator induksi dibutuhkan daya reaktif atau daya magnetisasi untuk membangkitkan tegangan pada terminal keluarannya. Dalam hal ini yang berfungsi sebagai penyedia daya reaktif adalah kapasitor yang besarnya disesuaikan dengan daya reaktif yang diperlukan (Ingriany S, 2014).

## 2.5 Roda Gaya

Roda gaya seperti yang kita ketahui adalah sebuah komponen yang terdapat pada semua kendaraan roda empat, merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus. Jarang diketahui adalah roda gaya memiliki kepadatan energi hingga ratusan kali lebih banyak dibandingkan dengan baterai yang ada saat ini serta dapat menyimpan dan melepaskan energi dengan lebih cepat. Energi yang berlebih dari pembangkit listrik harus disimpan dalam bentuk tertentu atau energi tersebut akan terbuang percuma. Salah satu cara yang dilakukan untuk menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan (*power on demand*) adalah menggunakan roda gaya) (Aminudin, 2008).



#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Energi disimpan secara mekanik di roda gaya dengan memutar porosnya sementara pada baterai biasa energi disimpan secara kimiawi. Roda gaya dapat menyimpan energi dengan cara memutarnya pada suatu tempat di mana gesekan yang terjadi relatif kecil. Untuk dapat menyimpan energi yang bermanfaat, poros roda gaya harus berputar sangat cepat. Jika energi yang tersimpan di roda gaya akan digunakan, sebuah generator dapat mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik berfungsi seperti layaknya baterai, roda gaya dapat diisi (*charged*) selama waktu beban listrik rendah dan melepaskan energi tersebut saat beban puncak. Dengan fungsi tersebut, roda gaya dapat menghemat biaya energi bagi pemilikinya. Penggunaan roda gaya pada perkantoran atau perumahan dapat menghindari keharusan membangun pembangkit listrik baru untuk memenuhi kebutuhan akan energi yang terus meningkat. Sebuah unit roda gaya dapat berukuran kecil dan berbobot ringan untuk ditempatkan di lingkungan perumahan. Sebuah unit berkapasitas 50 kilowatt-hour (KWh) yang dapat memberikan daya listrik sebesar 10 KW, suatu daya yang lebih dari cukup untuk sebuah rumah, hanya berukuran sebesar teko air (Aminudin, 2008).

Perkembangan teknologi terbaru telah memungkinkan dirancangnya roda gaya yang ekonomis, yaitu biaya murah, kontrol elektronik yang ringkas sehingga memperkecil ukuran komponen, serta mengurangi gesekan yang terjadi. Pada penerapannya di daerah komersial dan industri, pemasangan sistem roda gaya dilakukan di bawah tanah atau di atas lantai suatu bangunan. Roda gaya berumur sepuluh kali lebih lama dibandingkan dengan baterai konvensional. Tidak menggunakan bahan kimia yang berbahaya, dapat beroperasi pada suhu lingkungan yang ekstrem dan mudah dalam perawatan. Umur roda gaya dapat mencapai 20 hingga 40 tahun (Aminudin, 2008).



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Roda gaya adalah sebuah massa yang berputar dan digunakan sebagai penyimpan tenaga didalam mesin. Tenaga yang disimpan pada roda gaya berupa tenaga kinetik ( $E_k$ ) yang besarnya:

$$E_k = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

$I = 1/2MR^2$  adalah momen inersia roda gaya terhadap sumbu putarnya ( $kg \cdot m^2$ ).

$\omega$  = Kecepatan sudut rata-rata roda gaya (rad/det)

Fluktuasi kecepatan maksimum yang diijinkan adalah sekitar 15-20% untuk mesin press, punch dan pompa, sedangkan untuk mesin generator lebih kecil hingga 0,3%. Fluktuasi kecepatan roda gaya ( ) biasa dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega} = \frac{v_1 - v_2}{v} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

$\omega_1$  = Kecepatan sudut maksimum roda gaya (rad/det).

$\omega_2$  = Kecepatan sudut minimum roda gaya (rad/det).

$\omega$  = Kecepatan sudut rata-rata roda gaya  $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$  (rad/det).

$v_1$  = Kecepatan maksimal suatu titik pada roda gaya (m/det).

$v_2$  = Kecepatan minimum suatu titik pada roda gaya (m/det).

$v$  = Kecepatan rata-rata suatu titik pada roda gaya (m/det).

Nilai koefisien fluktuasi yang biasa dipakai dalam praktek adalah berkisar antara 0,2 untuk mesin pembuat lubang (*punch*), mesin giling, mesin pemecah batu dan 0,002 untuk generator listrik.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Maka perubahan tenaga kinetik roda gaya, pada kecepatan maksimum dan kecepatan minimum dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{1}{2} I \omega_1^2 - \frac{1}{2} I \omega_2^2 \\
 &= \frac{1}{2} I (\omega_1^2 - \omega_2^2) \\
 &= \frac{I g}{2} (\omega_1 + \omega_2) (\omega_1 - \omega_2) \\
 &= I \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega} \omega \\
 &= I \cdot \omega \cdot \delta \cdot \omega \\
 &= I \cdot \delta \cdot \omega^2 \dots\dots\dots(2.3)
 \end{aligned}$$

maka :

$$E = \frac{W}{g} k^2 \cdot \delta \dots\dots\dots (2.4)$$

$$I = \frac{W}{g} \cdot k^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

sehingga :

$$W = \frac{g \cdot E}{k^2 \cdot \delta \cdot \omega^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- $\omega_1$  = Kecepatan sudut maksimum roda gaya (rad/det).
- $\omega_2$  = Kecepatan sudut minimum roda gaya (rad/det).
- $I$  = Momen kelembaman roda gaya, terhadap sumbu putarnya ( $\text{kgm}^2$ )
- $k$  = Radius girasi roda gaya terhadap sumbu putarnya (m)
- $W$  = Berat roda gaya (Kg)
- $g$  = Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Adapun untuk mengetahui putaran RPM motor dan generator pada perancangan maka dilakukan dengan menggunakan rumus perbandingan sebagai berikut:

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\frac{R_1}{RPM_2} = \frac{R_2}{RPM_1} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- R<sub>1</sub> = Jari-jari Pully 1 (inci)
- R<sub>2</sub> = Jari-jari Pully 2 (inci)
- RPM<sub>1</sub> = RPM Mesin 1 (RPM)
- RPM<sub>2</sub> = RPM Mesin 2 (RPM)



Gambar 2.9 Roda Gaya ( m = 10 Kg)

Roda gaya merupakan sebuah benda dengan berbagai macam bentuk yang berputar terhadap titik pusat massa. Pada umumnya roda gaya berbentuk silinder pejal atau cakram yang memiliki massa dan jari-jari tertentu. Mekanisme penyimpanan energinya menggunakan prinsip gerak rotasi, energi disimpan dalam bentuk energi kinetik rotasi. Besarnya energi yang tersimpan pada roda gaya tergantung pada momen inersia dan kecepatannya saat berputar, roda gaya akan menyimpan energi saat berputar karena dikenai gaya dalam bentuk energi kinetik rotasi dan akan melepaskan energi tersebut saat gaya yang mengenainya



berkurang atau dihilangkan. Sebuah roda gaya bisa berputar sampai puluhan ribu RPM tergantung dari material yang menyusunnya, semakin padat dan keras material suatu roda gaya semakin bagus karena dengan volume yang kecil massanya semakin besar dan selain itu juga akan semakin tahan jika diputar dengan kecepatan tinggi (Aminudin, 2008).

Kalau dalam gerak lurus, gerakan benda dipengaruhi oleh gaya, maka dalam gerak rotasi, gerakan benda dipengaruhi oleh torsi. Semakin besar torsi, semakin cepat benda berotasi. Sebaliknya semakin kecil torsi, semakin lambat benda berotasi. misalnya mula-mula benda diam (kecepatan sudut = 0). Jika pada benda itu dikerjakan torsi, benda itu berotasi dengan kecepatan sudut tertentu. Dalam hal ini benda mengalami perubahan kecepatan sudut (dari diam menjadi berotasi) (Aminudin, 2008).

Perubahan kecepatan sudut sama dengan percepatan sudut, semakin besar torsi semakin besar percepatan sudut. Sebaliknya semakin kecil torsi, semakin kecil percepatan sudut. Dengan kata lain, torsi berbanding lurus dengan percepatan sudut (Aminudin, 2008).

#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.