**BAB II**

**TINJAUAN PUSTAKA dan DASAR TEORI**

1. **Tinjauan Pustaka**

Ribeiro (2006), pada perancangan alat *mechanical motion system for energy generation* yang dimana terdiri dari sebuah sistem mekanis meliputi balok, poros engkol, batang terhubung satu sama lain melalui gulungan dan berat. Energi ditransfer dari gaya gravitasi yang diperoleh dari berat batang dan melalui berat batang positif atau netral beserta pusat poros ke lengan poros engkol sehingga dapat menghasilkan torsi pada porosnya. Model demonstrasi, yang merupakan ukuran dari sebuah rumah kecil, dan mampu menghasilkan daya listrik sebesar 30 kW, cukup untuk menangani beban puncak dari dua rumah.

Perle (2008), pada penelitiannya yang berjudul *gravity powered rotational machine and method.* Alat ini tersusun atas sebuah mesin berputar bertenaga gravitasi untuk menghasilkan putaran poros sebagai daya generator, pompa atau sejenisnya. Mesin terdiri dari kerangka yang dipasang batang poros , sejumlah lengan ayunan pertama berputar melekat pada bagian tengah dari batang poros, beberapa bagian berat dalam keadaan dapat meluncur dipasang pada lengan ayunan pertama, keseimbangan pagar ditetapkan pada jalan di sekitar bagian tengah, susunan rotasi berputar dipasang pada bagian ujung batang poros, lengan ayunan kedua terhubung susunan rotasi dan lengan ayunan pertama, dan mekanisme pengedalian hubungan susunan rotasi dan keluaran poros.

Marjanovic (2010), pada penelitiannya yang berjudul *theory of gravity machines* menyatakan bahwa ini merupakan representasi dari teori sederhana menggunakan gaya gravitasi sebagai bahan bakar. Untuk memperoleh energi dari gaya konservatif, pengaruh gaya gravitasi sangat diperlukan. Energi dapat diperoleh hanya jika perbedaan potensial antara dua kutub. Logika teori ini akan juga dapat digunakan untuk menjelaskan dua tahap osilator mekanik Veljko Milkovic dan bidang perbaikannya. Energi potensial dari pendulum diangkat ke ketinggian *h* adalah energi potential *mgh* akan mulai mengkonversi menjadi energi kinetik setelah pendulum dibiarkan jatuh bebas.

1. **Landasan Teori**

**2.2.1 Gravitasi**

Gravitasi adalah [gaya](http://id.wikipedia.org/wiki/Gaya) [tarik-menarik](http://id.wikipedia.org/wiki/Tarik-menarik) yang terjadi antara semua [partikel](http://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_partikel) yang mempunyai [massa](http://id.wikipedia.org/wiki/Massa) di [alam semesta](http://id.wikipedia.org/wiki/Alam_semesta). Gravitasi matahari mengakibatkan benda-benda langit berada pada orbit masing-masing dalam mengitari [matahari](http://id.wikipedia.org/wiki/Matahari). Sebagai contoh, [bumi](http://id.wikipedia.org/wiki/Bumi) yang memiliki massa yang sangat besar menghasilkan gaya gravitasi yang sangat besar untuk menarik benda-benda di sekitarnya, termasuk [makhluk hidup](http://id.wikipedia.org/wiki/Makhluk_hidup), dan benda-benda yang ada di bumi. Gaya gravitasi ini juga menarik benda-benda yang ada di luar angkasa, seperti [bulan](http://id.wikipedia.org/wiki/Bulan), [meteor](http://id.wikipedia.org/wiki/Meteor), dan benda angkasa lainnya, termasuk [satelit](http://id.wikipedia.org/wiki/Satelit) buatan manusia. Beberapa teori yang belum dapat dibuktikan menyebutkan bahwa gaya gravitasi timbul karena adanya partikel [*gravitron*](http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Gravitron&action=edit&redlink=1) dalam setiap [atom](http://id.wikipedia.org/wiki/Atom).

Newton mengemukakan hukum gravitasi (*law of gravitation*) pada tahun 1687, yang berbunyi “ setiap partikel dari alam semesta menarik setiap partikel lain dengan gaya yang berbanding lurus dengan hasil kali massa-massa partikel dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara partikel-partikel tersebut”. Sehingga dapat di peroleh persamaan (Serway, 2013) :

(2-1)

dengan :

= Gaya gravitasi (N)

= Konstanta gravitasi (N.m2/kg2)

= Massa benda pertama (kg)

= Massa benda kedua (kg)

= Jarak antara kedua partikel benda (m)

**2.2.2 Gaya dan Torsi**

Torsi atau momen gaya adalah ukuran keefektifan sebuah gaya yang bekerja pada suatu benda utuk memutar benda tersebut terhadap suatu titik poros tertentu. Batang langsing yang diberi poros di salah satu ujungnya (titik O) dan diberikan gaya *F* yang membentuk sudut θ terhadap horizontal seperti yang ditunjukkan Gambar (2.1).

****

Gambar 2.1 Batang yang diputar oleh *F* terhadap titik poros O.

Gaya *F* mempunyai komponen ke arah horizontal, dan arah vertikal sedangkan jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dengan sumbu rotasi disebut lengan *r*. Dari kedua komponen gaya tersebut yang dapat menyebabkan batang berotasi terhadap titik poros rotasi adalah komponen gaya , karena komponen gaya ini yang menimbulkan torsi pada batang sehingga batang langsing dapat berputar berlawanan dengan arah putaran jarum jam sedangkan komponen gaya tidak menyebabkan torsi pada batang.

Hasil kali sebuah gaya dengan lengannya dinamakan ***torsi,*** (Endarko, 2008):

(2-2)

dengan :

= Torsi (N.m)

*r =* Jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dengan sumbu rotasi (m)

*F=* Gaya (N)

= Sudut antara batang langsing dengan gaya (rad)

Dari hukum ke dua Newton untuk massa yang konstan dapat ditulis (Endarko, 2008):

(2-3)

dengan :

= Gaya (N)

= Massa benda (kg)

= Percepatan (m/s2)

Berat suatu benda (*w*) adalah besarnya gaya tarik bumi terhadap benda tersebut dan arahnya menuju pusat bumi (vertikal ke bawah).

Persamaan hubungan massa dan berat :

(2-4)

dengan :

= Gaya berat (N)

= Massa benda (kg)

= Percepatan gravitasi (m/s2) memiliki teteapan nilai sebesar 9,8 m/s2

Perbedaan massa dan berat:

a).Massa (*m*) merupakan besaran skalar besarnya di sembarang tempat untuk suatu benda yang sama selalu tetap.

b).Berat (*w*) merupakan besaran vektor di mana besarnya tergantung pada tempatnya (percepatan gravitasi pada tempat benda berada).

Sehingga hubungan persamaan torsi dengan gaya berat (Endarko, 2008) :

(2-5)

dengan :

= Torsi (N.m)

= Gaya berat (N)

= Jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dengan sumbu rotasi (m)

**2.2.3 Kecepatan sudut dan daya gerak rotasi**

Kecepatan sudut didefinisikan sebagai rasio perpindahan sudut terhadap perubahan waktu . Sesuai dengan persamaan berikut (Endarko, 2008) :

(2-6)

dengan :

**=** Kecepatan sudut (rad/s)

= Sudut (rad)

= Waktu putar (s)

Dalam pengkonversian putaran (*revolusi*) per menit (rad/menit atau rpm) memiliki nilai 1 putaran = rad.

1 rev/s = rad/s dan 1 rev/menit = 1 rpm = rad/sec

Sehingga didapatkan persamaan hubungan antara kecepatan sudut terhadap jumlah putaran dalam waktu detik, persamaannya sebagai berikut (Zuhal, 1991) :

(2-7)

dengan :

*n* = Jumlah putaran (rpm)

*f* = Frekuensi sumber tegangan (Hz)

Ketika sebuah torsi (terhadap sumbu putar) bekerja pada sebuah benda yang berputar dengan kecepatan sudut , dayanya adalah hasil kali dari dan . Persamaannya sebagai berikut (Zuhal, 1991) :

(2-8)

dengan :

*p* = Daya (Watt)

= Torsi (N.m)

**=** Kecepatan sudut (rad/s)

**2.2.4 Motor DC**

Motor DC atau motor arus searah adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik. Terdapat 2 (dua) prinsip dasar yang melatar belakangi kerja motor DC. Pertama yaitu adanya aliran arus yang melewati sebuah konduktor atau penghantar. Dimana akan timbul medan magnet mengelilingi penghantar tersebut. Arah garis gaya magnet (fluks magnet) ini sesuai kaidah tangan kiri yang ditunjukan pada Gambar (2.2). Ibu jari menandakan arah muatan arus elektron yang mengalir dan jari-jari menunjukan arah dari garis gaya magnet (*fluks*) yang mengelilingi penghantar.

Gambar 2.2 Kaidah tangan kiri.

sumber : *Zamroni,( 2010)*

Kedua adalah gaya pada penghantar bergerak dalam medan magnet. Besarnya gaya yang didesakkan untuk menggerakkan berubah sebanding dengan kekuatan medan magnet, besarnya arus yang mengalir pada penghantar, dan panjang penghantar. Gaya tersebut disebut gaya Lorentz. Sesuai dengan persamaan :

(2-9)

dengan:

*F* = Gaya pada kumparan (Newton)

*B* = Kuat medan magnet (Tesla)

*I* = Arus yang mengalir (Ampere)

= Panjang kumparan (meter)

Arah dari garis gaya magnet tergantung dari arah arus yang mengalir pada kumparan dan arah dari garis - garis fluks magnet antara dua kutub. Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar (2.3). Medan magnet mengembang diantara dua kutub dari magnet permanen atau induksi elektromagnet. Ketika penghantar berarus di tempatkan di antara dua kutub magnet, maka menghasilkan pembengkokan garis gaya. Sehingga, di satu sisi memusatkan kedua medan magnet menimbulkan medan magnet yang kuat dan disisi lain berlawanan menimbulkan medan magnet yang lemah. Garis gaya magnet yang kuat cenderung lurus keluar dan menekan kearah garis gaya magnet yang lemah. Dan menyebabkan penghantar tersebut berputar berlawanan arah jarum jam.



Gambar 2.3 Interaksi penghantar berarus diantara medan magnet.

sumber : *Zamroni, (2010)*

2.2.4.1Prinsip kerja motor DC

Arus mengalir melalui kumparan jangkar dari sumber tegangan DC, menyebabkan jangkar beraksi sebagai magnet. Gambar (2.4). menjelaskan prinsip kerja motor DC magnet permanen.



Gambar 2.4 Prinsip kerja motor DC.

sumber : *Zamroni,( 2010)*

1. Pada posisi 1 arus *electron* mengalir dari sikat negatif menuju ke sikat positif. Akan timbul torsi yang menyebabkan jangkar berputar berlawanan arah jarum jam.

2. Ketika jangkar pada posisi 2, sikat terhubung dengan kedua segmen komutator. Aliran arus pada jangkar terputus sehingga tidak ada torsi yang dihasilkan . Tetapi, kelembaman menyebabkan jangkar tetap berputar melewati titik netral.

3. Pada posisi 3, letak sisi jangkar berkebalikan dari letak sisi jangkar pada posisi 1. Segmen komutator membalik arah arus elektron yang mengalir pada kumparan jangkar. Oleh karena itu arah arus yang mengalir pada kumparan jangkar sama dengan posisi 1. Torsi akan timbul yang menyebabkan jangkar tetap berputar berlawanan arah jarum jam.

4. Jangkar berada pada titik netral, karena adanya kelembaman pada poros jangkar, maka jangkar berputar terus-menerus.

2.2.4.2 Konstruksi motor DC



Gambar 2.5 Konstruksi motor DC.

sumber : *Zamroni,( 2010)*

Keterangan Gambar (2.5) adalah sebagai berikut:

1. Lubang ventilasi untuk sirkulasi udara dalam motor.

2. Bodi, terdiri dari 2 bagian, yaitu:

a. Rumah magnet utama (*Housing*)

b. Bodi akhir (*End Bell*) , untuk melindungi bagian stator dan rotor pada motor.

3. Bantalan (*Bearing*) berfungsi agar jangkar berputar dengan baik.

4. Kutub magnet utama (*FieldPoles*)untuk menghasilkan fluks magnet utama pada motor. Apabila terdapat kumparan penguat medan, letaknya berada diantara kutub-kutub magnet utama.

5. Poros merupakan bagian dari rotor yang berfungsi meletakkan jangkar agar dapat berputar.

6. Kipas rotor (*Cooling fan*) kipas ikut berputar ketika poros jangkar berputar. Berfungsi menjaga suhu kumparan jangkar agar tetap stabil ketika beroperasi.

7. Jangkar (*Armature*), terdiri dari 3 bagian, yaitu:

a. Inti jangkar berfungsi untuk mencegah perputaran arus pusar (*Eddy* *Current*).

b. Belitan jangkar berfungsi untuk membangkitkan fluksi jangkar yang bersama-sama dengan fluksi magnet utama berinteraksi menimbulkan putaran.

c. Alur jangkar berfungsi sebagai tempat belitan jangkar yang ujung-ujungnya dihubungkan ke komutator.

8. Komutator merupakan suatu penyearah mekanik yang membuat arus dari sumber mengalir pada arah yang tetap walaupun belitan medan berputar.

9. Sikat arang (*Brush*) berfungsi sebagai terminal penghubung antara sumber tegangan dengan komutator.

**2.2.5 Generator**

2.2.5.1 Mekanisme generator

Pada akhir abad 18 dan awal abad 19, teori listrik dan magnet telah berkembang secara simultan. Penemuan terpenting adalah yang ditemukan Hans Christian Oersted. Tahun 1813 Hans Christian Oersted telah memprediksi hubungan antara magnetik dan listrik akan ditemukan. Tahun 1819 beliau menempatkan kompas dekat kawat yang berarus listrik dan mengamati bahwa kompas mengalami perubahan arah. Penemuan ini menjelaskan bahwa listrik yang mengalir akan menghasilkan medan magnetik. Kemudian penemuannya di kembangkan oleh Andre Marie Ampere seorang ilmuwan Perancis. Ia mempelajari gaya yang terjadi di antara dua muatan yang mengalir di dalam dua kawat yang sejajar. Pada 1831 ilmuwan Inggris Michael Faraday telah menemukan bahwa magnet yang bergerak di dekat kumparan akan menghasilkan aliran listrik, penemuan ini merupakan kebalikan dari penemuan Oersted. Oersted menunjukkan bahwa aliran listrik menghasilkan medan magnet, tapi Faraday menunjukkan yang sebaliknya, perubahan medan magnet dapat digunakan untuk menimbulkan aliran listrik.

Gabungan dari teori listrik dan magnet secara penuh telah di dikemukakan oleh ilmuwan Inggris James Clerk Maxwell, ia memprediksi adanya gelombang elektromagnetik dan mengidentifikasi bahwa cahaya adalah peristiwa elektromagnetik. Kontribusi dari persamaan Maxwell adalah pengembangan pembangkit tenaga listrik yang bernama generator.

Hukum induksi Faraday : ;Tanda negatif berarti bahwa ggl induksi yang timbul akan menyebabkan arus yang melawan penyebab timbulnya ggl induksi itu sendiri (*Hukum Lenz*). Bila magnet digerakkan ke bawah, fluks induksi yang menembus simpal kawat berkurang.

Menurut hukum Lenz, arah arus induksi haruslah melawan penyebabnya, yaitu melawan berkurangnya fluks dengan memperkuat fluks yang sudah ada. Jadi medan magnet yang dihasilkan kawat harus berarah ke atas sehingga arah arus mengarah ke kanan.

2.2.5.2 Prinsip kerja generator

Prinsip kerja dari sebuah generator adalah berdasarkan pada Hukum Induksi Faraday yang berbunyi sebagai berikut “ Apabila sebuah konduktor digerakkan dan memotong garis–garis gaya magnetik (fluks), maka pada konduktor tersebut akan timbul sebuah gaya gerak listrik (ggl)”.

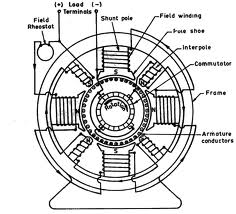
Berdasarkan data di atas, maka dapat dilihat bahwa suatu generator akan menghasilkan tegangan jika mempunyai :

1. Konduktor
2. Medan magnet
3. Gerak atau perputaran dari konduktor di medan magnet.

Arah gaya gerak listrik (ggl) ataupun arus yang ditimbulkan dapat ditentukan dengan kaidah/aturan tangan kanan yang berbunyi sebagai berikut: “Apabila tangan kanan kita rentangkan sedemikian rupa sehingga garis–garis gaya magnetik (fluks) mengarah pada telapak tangan sedang ibu jari menunjukkan arah gerakan/putaran dari konduktor/ belitan jangkar, maka jari – jari lainnya menunjukkan arah ggl dan pada konduktor/belitan jangkar”.

2.2.5.3 Konstruksi generator DC

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator merupakan bagian mesin yang diam, dan rotor merupakan bagian mesin yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, *bearing* dan *terminal box*. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

****

Gambar 2.6 Kostruksi generator arus searah.

sumber: *Mahendra, (2013)*

**2.2.6 Bantalan (*Bearing*)**

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerak bolak-balik dapat bekerja dengan aman, halus dan panjang umur. Bantalan harus kokoh untuk memungkinkan poros atau elemen mesin lainnya dapat bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak bekerja dengan baik, maka prestasi kerja seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja semestinya. Jadi, jika disamakan pada gedung, maka bantalan dalam permesinan dapat disamakan dengan pondasi pada satu gedung.

Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros, maka bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- Bantalan Luncur

- Bantalan Gelinding

Bantalan luncur mampu menumpu poros berputaran tinggi dengan beban yang besar. Bantalan ini memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dibuat dan dipasang dengan mudah. Pada bantalan gelinding terjadi gesekan antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol jarum dan rol bulat. Bantalan gelinding pada umumnya cocok untuk beban kecil dari pada bantalan luncur, tergantung pada bentuk elemen gelindingnya putaran pada bantalan ini dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut.



Gambar 2.7 Bantalan luncur.

sumber : *Fadli, (2012)*



Gambar 2.9 Bantalan Gelinding.

Gambar 2.8 Bantalan gelinding.

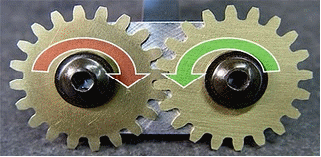
sumber : *Fadli* *, (2012)*

**2.2.7 Roda gigi (*Gear*)**

Roda gigi adalah salah satu jenis elemen transmisi yang penting untuk suatu pemindahan gerak (terutama putaran). Daya atau tenaga pada suatu sistem transmisi antara penggerak dengan yang digerakan. Suatu konstruksi hubungan roda gigi digunakan pula untuk sistem pengatur pada pemindah putaran, atau untuk merubah gerak lurus menjadi gerak putar atau sebaliknya.

* + - 1. Prinsip roda gigi

Konstruksi roda gigi mempunyai prinsip kerja berdasarkan pasangan gerak. Bentuk gigi dibuat untuk menghilangkan keadaan slip, putar dan daya dapat berlangsung dengan baik.



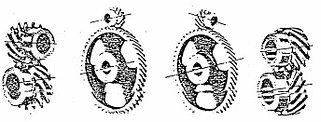
Gambar 2.9 Roda Gigi.

sumber : *Rijalulhaq, (2010)*

Selain itu dapat dicapai kecepatan keliling- (Vc) yang sama pada lingkaran singgung sepasang roda gigi. Lingkaran singgung ini disebut lingkaran pitch atau lingkaran tusuk yang merupakan lingkaran khayal pada pasangan roda gigi, tapi berperan penting dalam perencanaan konstruksi roda gigi. Pada sepasang roda gigi maka perlu diperhatikan bahwa, jarak lengkung antara dua gigi yang berdekatan (disebut "pitch") pada kedua roda gigi harus sama, sehingga kaitan antara gigi dapat berlangsung dengan baik. Bentuk lengkung pada suatu profil gigi, tidak dapat dibuat semaunya, melainkan mengikuti kurva - kurva tertentu yang dapat menjamin terjadinya kontak gigi dengan baik.

2.2.7.2 Roda gigi miring

Bentuk dasar geometrisnya sama dengan roda gigi lurus, tetapi arah alur profil giginya mempunyai kemiringan terhadap sumbu putar. Selain untuk posisi sumbu yang sejajar, roda gigi miring dapat digunakan pula untuk pemasangan sumbu bersilangan. Dengan adanya kemiringan alur gigi, maka perbandingan kontak yang terjadi jauh lebih besar dibanding roda gigi lurus yang seukuran, sehingga pemindahan putaran maupun beban pada gigi-giginya berlangsung lebih halus. Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada putaran tinggi dan beban besar.



Gambar 2.10 Roda Gigi Miring.

sumber : *Rijalulhaq, (2010)*

Selain itu, dengan adanya sudut kemiringan juga mengakibatkan terjadinya gaya aksial yang harus ditahan oleh tumpuan bantalan pada porosnya. Sistem pelumasan harus diperhatikan dengan cermat untuk meningkatkan umur pakai dari gigi yang saling bergesekan. Khusus untuk penggunaan dalam posisi sumbu sejajar, serta untuk menetralisir gaya aksial yang terjadi, dibuat roda gigi miring atau lebih populer disebut roda gigi "*Herring bone*", yaitu dengan dibuat dua alur profil gigi dengan posisi sudut kemiringan saling berlawanan.

Untuk menghitung percepatan *gear* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

= (2.10)

dengan :

= Percepatan *gear*

= Jumlah gigi *gear* pertama

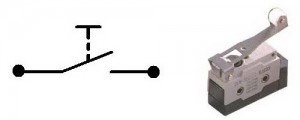
= Jumlah gigi *gear* ke dua

**2.2.8 Limit switch**

Limit switch merupakan jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol. Prinsip kerja limit switch sama seperti saklar *Push ON* yaitu hanya akan menghubung pada saat katupnya ditekan pada batas penekanan tertentu yang telah ditentukan dan akan memutus saat katup tidak ditekan. Limit switch termasuk dalam kategori sensor mekanis yaitu sensor yang akan memberikan perubahan elektrik saat terjadi perubahan mekanik pada sensor tersebut. Penerapan dari limit switch adalah sebagai sensor posisi suatu benda (objek) yang bergerak .

Limit switch umumnya digunakan untuk :

* Memutuskan dan menghubungkan rangkaian menggunakan objek atau benda lain.
* Menghidupkan daya yang besar, dengan sarana yang kecil.
* Sebagai sensor posisi atau kondisi suatu objek.

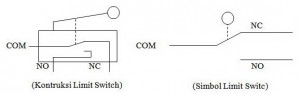
Simbol limit switch ditunjukan pada gambar berikut :

Gambar 2.11. Limit switch

sumber : *Purnama, (2012)*

Prinsip kerja limit switch diaktifkan dengan penekanan pada tombolnya pada batas/daerah yang telah ditentukan sebelumnya sehingga terjadi pemutusan atau penghubungan rangkaian dari rangkaian tersebut. Limit switch memiliki 2 kontak yaitu NO (*Normally Open*) dan kontak NC (*Normally Close*) dimana salah satu kontak akan aktif jika tombolnya tertekan. Konstruksi dan simbol limit switch dapat dilihat seperti gambar di bawah.

Konstruksi Dan Simbol Limit Switch :



Gambar 2.12 Konstruksi dan simbol limit switch.

sumber : *Purnama, (2012)*