

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Hasil Penelitian Sebelumnya

Menurut penelitian (Rachmawan et al., 2014) hasil dari *flywheel* menggunakan mesin *comunis* tipe 4 BTA 3.9-M1 125 ada berbagai faktor yang mempengaruhi *flywheel* untuk menyimpan energi kinetik adalah massa dari *Flywheel* dan juga bekerja pada berapa putaran rpm *flywheel* tersebut. Hubungan antara *Flywheel* dan firing order terhadap proses kinerja mesin diesel mempengaruhi kemampuan *flywheel* untuk menyimpan energi akibat langkah-langkah yang terjadi dalam proses kerja mesin diesel yang mana *flywheel* dapat meredam suatu getaran torosional akibat fluktuasi energi yang dihasilkan.

Menurut penelitian (Sitepu et al., 2014) hasil pengujian pembebanan roda gila (*flywheel*) pada mesin turbin helik NACA 0030 menghasilkan torsi maksimum sebesar 40,11 Nm, menghasilkan daya poros maksimum sebesar 112,59 watt, efisiensi maksimum yang diperoleh sebesar 36,65 % pada berat roda gila (*flywheel*) 20 kg dan kecepatan air 0,8 m/s. Hasil pengujian ini menunjukkan peningkatan hampir 3% dari penelitian sebelumnya kerja dari hasil pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh Andareas (2014) dan Rapa'I (2014) yang diperoleh nilai efisiensi sebesar 33,97 dan penelitian sudah mendekati standar yang ditetapkan *Department of Energy and the National Science Foundation* pada tahun 1993-1995 sebesar 35 %.

Menurut penelitian (Razali & Stephan, 2017) untuk mengetahui apakah pengujian *flywheel* telah dirakit dapat bekerja dan memenuhi syarat yang sudah ada, beberapa pengujian yang dilakukan uji fungsi. Uji fungsi meliputi uji mekanisme dan uji *flywheel* dan generator. Pengujian yang digunakan *pully* dan *belt* dari penggerak utama ke poros *belt* tipe B1 diameter *pully* 3 in, dari poros utama ke generator *belt* B1 diameter *pully* 8 in.

Menurut penelitian (Rokhim & Alfi, 2019) menggunakan konsep generator listrik untuk memutar alternator. Memanfaatkan energi kinetik yang ada pada *flywheel*, generator listrik ini akan terus berputar selagi tegangan pada alternator mencukupi untuk mensuplai energi listrik ke motor DC, pengujian terdapat trafo step up untuk mencukupi tegangan output dari alternator, bertujuan untuk menyuplai tegangan motor yang kecil dan mengubah ukuran *flywheel*, mengakibatkan rpm pada sistem ini sangat rendah. *Output* yang di hasilkan alternator 8-10 volt, untuk meningkatkan keluaran dari alternator penguji menambahkan trafo step up sehingga *output* alternator menjadi 110 volt.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan dirancang model sistem menggunakan Generator dan dengan menggunakan ukuran *flywheel* yang berbeda. Sistem *flywheel* dibuat dalam bentuk *prototype*.

B. Pembangkit Listrik

Pembangkit Listrik adalah bagian dari alat Industri peran yang cukup penting untuk sistem distribusi listrik yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga yang diantaranya ada pembangkit listrik PLTU, PLTN, PLTA angin atau PLTA air. Bagian utama dari pembangkit listrik adalah generator, yakni mesin yang berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik (Babcock Wilcox Co, (2005).

Menurut (British Electricity International, (1991) pembangkit listrik dapat ditugaskan menjadi :

Pembangkit listrik pemikul beban dasar, beroperasi secara terus menerus untuk memasok jumlah listrik minimum yang harus disediakan tiap hari.

1. Pembangkit listrik jenis ini biasanya dapat beroperasi dengan biaya murah, namun tidak dapat dihentikan atau dinyalakan dalam waktu cepat dalam artian setiap listrik yang dihasilkan maka harus digunakan para konsumen. Contoh pembangkit listrik ini adalah PLTU dan PLTN, serta PLTA jika pasokan airnya dapat diprediksi.
2. Pembangkit listrik pemikul beban menengah atau bisa juga sebagai pembangkit pendukung beban dasar, dapat menyuplai harian atau mingguan yang bisa dimatiaki secara cepat.

3. Pembangkit listrik pemikul beban puncak, digunakan untuk memasok beban listrik puncak dibangkitkan pada saat jam - jam penggunaan listrik menggunakan dalam waktu yang bersamaan contoh pada jam-jam malam semua konsumen meyalakan lampu dan alat elektronik bersamaan dan bisanya beban puncak berlaku hanya sebentar satu jam sampai tiga jam. Walaupun biaya operasionalnya lebih mahal daripada pemikul beban dasar, pembangkit listrik jenis ini tetap dibutuhkan untuk menjamin kehandalan sistem saat menghadapi beban puncak. Pembangkit jenis ini biasanya berupa PLTD maupun PLTG..

C. Generator DC



Gambar 2. 1 Generator DC (Lubis, 2019)

Generator DC mobil merupakan sebuah *Inverter* tenaga listrik yang berfungsi sebagai sumber energi listrik DC untuk kebutuhan kelistrikan mobil seperti lampu penerangan, lampu indicator, pengapian, injeksi bahan bakar dan peralatan listriklainnya. Generator DC mempunyai konstruksi yang sederhana, pada Generator

DC mobil terdapat beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan mesin listriklainnya dapat dilihat pada Gambar 2. 1 (Lubis, 2019).

D. Konstruksi Generator DC

1. Rotor

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet. Rotor berputar bersama poros, karena gerakannya maka disebut alternator dengan medan magnet berputar (Lubis, 2019). Rotor terdiri dari : inti kutub (*pole core*), kumparan medan, slip ring, poros dan lain lain. Inti kutub berbentuk seperti cakar dan didalam terdapat kumparan medan dapat dilihat pada Gambar 2. 2



Gambar 2. 2 Rotor (Lubis, 2019)

2. Slepring atau Cicin geser

Slepring dan cicin gese dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slepring ini berputar secara bersama-sama dengan poros (as) dan rotor(Setiono, 2006). Slepring memiliki 2 bostel dari

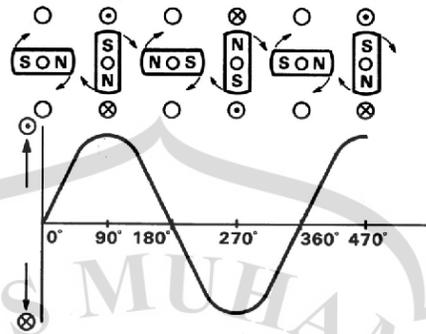
setiap slipring dapat menggeser bostel positif dan bostel negatif, dua bostel berguna untuk penguat (*Excitation Current*) atau lilitan yang berada pada rotor.

3. Dioda (*Rectifier*)

Dioda berguna untuk mengubah menyerahkan saat pembangkitan listrik pada generator yang di hasilkan adalah arus AC untuk mengubah aruas AC pada statro maka dibutuhkan dioda untuk menyerahkan menjadi arus DC, Dioda hanya bisa dialiri oleh arus dalam satu arah saja. sehingga dioda ini dapat dimanfaatkan sebagai penyearah sebuah arus. Pada Generator tipe konvensional, terdapat enam buah dioda, tiga buah dioda masuk dapat disebut dengan dioda positif dan tiga dioda lainnya adalah dioda negative (Setiono, 2006).

4. Prinsip Kerja Generator DC

Prinsip kerja dari generator DC saat medan magnet (rotor) berputar didalam kumparan stator akan timbul tegangan diantaranya kedua ujung kumparan dan dihasilkan aruas AC, dimana aruas AC akan mengalami kenaikan. Hubungan antara arus yang dibangkitkan dalam kumparan dengan posisi magnet adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 3 Arus tertinggi akan bangkit pada saat kutub N dan S mencapai jarak yang terdekat dengan kumparan (Lubis, 2019). Setiap setengah putaranm arus akan mengalir dengan arah yang berlawanan. Arus yangmembentuk gelombang sinus disebut "arus bolak balik satu fase". Perubahan 360 pada grafik berlaku untuk satu siklus dan banyaknya perubahan yang terjadi pada setiap detik disebut dengan "frekuensi".



Gambar 2. 3 Gelombang Sinus Pembangkitan Arus Bolak-Balik Satu Fase (Lubis, 2019)

Setiap kumparan A, B, dan C berjarak 120° . Pada saat magnet berputar diantara pada stator akan membangkitkan arus bolak balik disetiap kumparan magnet dapat dilihat Gambar 2. 3 Saat Generator berputar tentunya tidak selalu pada keadaan kecepatan yang sama maka untuk mempertahankan kecepatan , sebagai pengganti magnet permanen maka dibutuhkan elektro magnet supaya mempertahankan tegangan pada generator DC.

E. Motor listrik

Motor listrik adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekani dalam bentuk sebuah putran, mesin listrik memanfaatkan prinsip Magnet jika berbeda kutub akan tolak menolak jika sebuah poros besi atau rotor diletkan di anatar dua medan magnet yang saling tarik menarik atau tolak menolak maka rotor atau poros magnet akan berputar (Imronsyah, 2011).

Banyak sekali pada kehidupan sehari-hari yang memanfaatkan mesin listrik, dikarenakan banyak sekali keunggulan dari mesin listrik sebagai berikut:

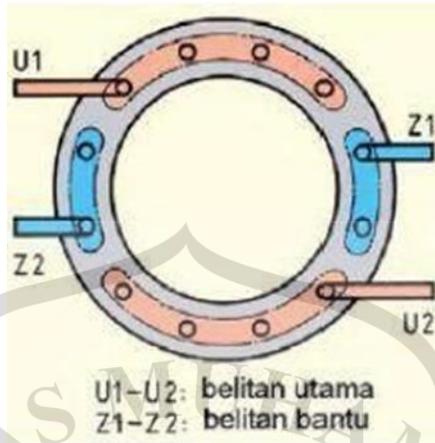
- a. Bentuknya sederhana, konstruksinya cukup kuat
- b. Biayanya murah dan dapat diandalkan
- c. Efisiensi tinggi pada keadaan normal tidak memerlukan sikat, sehingga rugi - rugi gesekan dapat dikurangi d. Perawatan yang minimum
- d. Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan tambahan peralatan khusus.

Namun hal di atas, perlu juga diperhatikan hal-hal yang tidak menguntungkan, yaitu:

- a. Pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya
- b. Kecepatannya akan berkurang jika bebannya bertambah
- c. Kopel mulanya lebih rendah daripada mesin arus searah paralel

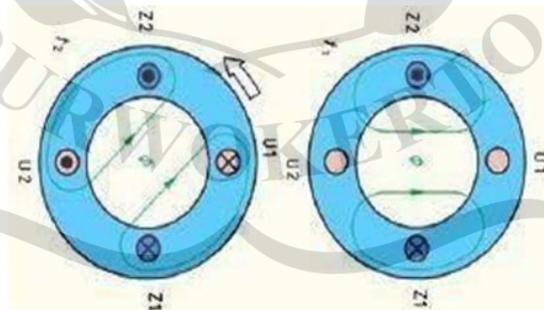
F. Prinsip Kerja Motor AC 1 fasa

Motor AC satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor AC tiga fasa, dimana pada motor AC satu fasa hanya memiliki dua belilitan stator, (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2), lihat Gambar 2.4. Sumber dari motor satu fasa biasanya 220 volt PLN dan motor listrik 1 fasa memiliki keunggulan pada Rpm yang cukup besar dibandingkan dengan motor 3 fasa.



Gambar 2. 4 Prinsip Medan Magnet Utama dan Medan magnet Bantu Motor Satu fasa (Fakhrunnisa, 2015)

Motor listrik kawat tembaga belilitan utama dan belilitan bantu dibedakan ukurnya, belitan utama menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama.



Gambar 2. 5 Medan Magnet pada Stator Motor Satu Fasa (Fakhrunnisa, 2015)

Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus (I bantu) menghasilkan fluks magnet Φ tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1-U2 dialiri arus utama (I utama) yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang bergeser sebesar 45° dengan arah berlawanan jarum jam. Kejadian ini berlangsung terus sampai satu siklus sinusoida, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya (Fakhrunnisa, 2015).

G. Daya listrik

Daya listrik adalah seberapa banyak jumlah energi yang digunakan pada rangkaian listrik atau juga daya listrik yaitu perpindahan muatan listrik persatuan waktu. Satuan daya listrik adalah Watt dalam satuan SI watt didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik oleh arus 1 A yang konstan pada tegangan 1 volt, Sehingga dapat dilihat pada Persamaan 2. 1 (Imronsyah, 2011)

$$P = I \times V \quad (2.1)$$

Keterangan:

P : Daya (Watt)

I : Arus (ampere)

V : Tegangan (Volt)

H. Hubungan Moment Inersia, Torsi, dan Daya

Moment inersia adalah ukuran resistansi atau kelembaman sebuah benda terhadap perubahan dalam gerak rotasi, momen inersi tergantung pada jumlah kandungan zat (masa benda) dan juga tergantung bagaimana zat-zat atau massa ini terdistribusi, semakin jauh distribusi massa dari pusat putaran semakin besar momen inersia (Razali & Stephan, 2017).

Gerak lurus, gerakan benda dipengaruhi oleh gaya, maka pada gerak rotasi gerakan benda dipengaruhi oleh torsi. Semakin besar torsi, semakin cepat benda berotasi begitu juga sebaliknya. Torsi, hubungan moment inersia, dan daya dapat dihitung pada persamaan (2. 2) hingga (2. 3).

Moment Inersia

$$i = \frac{1}{2} \times m \times R^2 \quad (2.2)$$

i : Moment Inersia

m : Massa (kg)

R : jari-jari (cm)

Kecepatan sudut *Flywheel*

$$\Delta\omega = \frac{N \times 2\pi}{60} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\Delta\omega$: Kecepatan sudut

N : kecepatan generator (Rpm)

60 : Kostanta (second)

Pecepatan sudut

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Keterangan:

α : Percepatan sudut (Rad/s²)

$\Delta\omega$: Kecepatan sudut (m/s)

Δt : waktu (second)

Torsi

$$T = I \times \alpha \quad (2.5)$$

Keterangan:

I : Moment Inersia (kg m²)

α : Percepatan sudut (Rad/s²)

T : Torsi (Nm)

Daya yang dihasilkan

$$P = \frac{T \times 2 \times \pi \times N}{60000} \quad (2.6)$$

Keterangan:

P : Daya (Watt)

T : Torsi (Nm)

N : Kecepatan penggerak utama (Rpm)

60000 : Konstanta

I. *Pulley* penggerak

Pulley adalah salah satu alat pendukung mekanis yang digunakan pada peralatan mesin listrik yang berguna untuk memutar penggerak *belt* atau biasa disebut sabuk lingkaran penggerak, *Pully* juga berfungsi untuk menghantarkan daya (Fakhrunnisa, 2015).

Cara kerja *pully* berguna untuk mengirimkan sebuah gerak rotasi sering kali *pully* digunakan pada industri yang biasanya tidak dapat dipisahkan dengan *belt* pada *conveyor* memberikan gaya rotasi. *Pully* memiliki ukuran yang berbeda dan setiap ukuran memiliki kekuatan gerak rotasi yang berbeda dan juga memiliki jenis yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2. 5.



Gambar 2. 6 *Pully tipe V* (Fakhrunnisa, 2015)

Ada beberapa tipe pulley, yaitu:

1. *Pulley type V*
2. *Pulley timing*
3. *Pulley variable* (pulley V bisa disetting besar kecil)

4. *Pulley round* (alur U)
5. *Loss pulley* (biasa sebagai adjustment)

Untuk mengetahui perpindahan kecepatan dari satu *pulley* ke *pulley* lainya dapat ditulis dengan persamaan (2.7)

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Dp_2}{Dp_1} \quad (2.7)$$

Keterangan :

- N_1 : Motor Penggerak (Rpm)
 N_2 : Mesin Yang digerakan
 Dp_1 : Diameter *Pully* Poros Motor Listrik
 Dp_2 : Diameter *Pully* Poros *Flywheel*

J. *Van belt*

V-belt digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros yang satu ke poros yang lainnya melalui *pulley* yang berputar dengan kecepatan sama atau berbeda. *Puli V-belt* merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya sproket rantai dan roda gigi dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Van Belt (Sumber: Fakhrunnisa, 2015)

Menggunakan perbandingan diameter *pulley* penggerak sebagai transmisi kita dapat menaikkan atau menurunkan kecepatan putaran sehingga dari perbandingan diameter 2 buah *pulley* penggerak didapat (Razali & Stephan, S.2017).

K. *Flywheel*

Energi yang berlebih. dari pembangkit listrik tenaga air harus disimpan dalam bentuk tertentu atau energi tersebut akan terbuang percuma karena energi yang dibangkitkan harus digunakan atau disimpan dalam bentuk energi yang lain . Salah satu penyimpanan energi dalam bentuk kinetik yaitu *flywheel*, yang dapat digunakan saat diperlukan (*power on demand*) (Razali & Stephan, 2017).

Flywheel atau sering juga disebut roda gila seperti yang kita ketahui adalah sebuah komponen yang bentuknya seperti lempengan roda yang bsianya berbahan besi cor yang terdapat pada semua kendaraan roda empat. Fungsi dari *flywheel* dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus (Fakhrunnisa, 2015).. *Flywheel* memiliki kepadatan energi hingga ratusan kali lebih banyak dibandingkan dengan baterai yang ada saat ini serta dapat menyimpan dan melepaskan energi dengan lebih cepat dapat diliahat pada Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Flywheel (Razali & Stephan, 2017)

Tegangan rata-rata Generator DC yang diputar *Flywheel* dapat dihitung pada persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$V_{rata-rata} = \frac{V_{total}}{t} = \quad (2.8)$$

$V_{rata-rata}$: Tegangan rata-rata (volt)

V_{total} :Tegangan total (volt)

t : Waktu (detik)

Arus rata-rata Generator DC yang diputar *Flywheel* dapat dihitung pada persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_{total}}{t} = \quad (2.9)$$

$I_{rata-rata}$: Arus rata-rata (volt)

I_{total} : Arus total (volt)

t : Waktu (detik)

Energi yang tersimpan dalam *flywheel* dapat dilihat pada persamaan (2.10):

$$W = V \times i \times t \quad (2.10)$$

W : Energi (joule (watt-detik))

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

t : Waktu (second)

