

SUBMISSION 5**Analisis Energi Yang Dihasilkan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Dengan Konsep V-Gate**Lutfi Gangsar Prayogo¹, Dahmir Dahlan¹, dan Eka Maulana¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Pemanfaatan energi listrik di Indonesia semakin dibutuhkan masyarakat, namun energi yang digunakan masih didominasi energi fosil sebesar 87,64 persen. Sehingga perlu dilakukan penelitian pada energi terbarukan salah satunya pembangkit listrik tenaga magnet, dengan memanfaatkan gaya tarik dan tolak magnet permanen untuk diubah menjadi gerak putar pada poros yang digunakan untuk memutar generator. Pembangkit listrik tenaga magnet diharapkan mampu memenuhi kebutuhan listrik skala rumah tangga di daerah kepulauan yang memiliki kesulitan akses menjangkau pusat kota. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sudut dan jarak yang optimal pada stator dan rotor dengan pola V-Gate untuk mendapatkan kecepatan putaran tertinggi, kemudian dilakukan perhitungan daya yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan membuat prototype, kemudian dilakukan pengujian dengan variabel besar sudut dan jarak pangkal terhadap kecepatan putaran. Dari hasil pengujian, besar sudut yang optimal adalah 5 derajat, jarak pangkal sebesar 24 mm. Dari hasil perhitungan, daya mekanik yang dihasilkan sebesar 7,524 Watt. Daya tersebut belum mampu memenuhi konsumsi daya motor penarik stator dikarenakan jumlah magnet stator belum maksimal, sehingga gaya dorong yang dihasilkan kecil. Dari perhitungan kinerja motor DC dapat dioptimalkan dengan memaksimalkan jumlah magnet stator, sehingga menghasilkan daya mekanik sebesar 29,936 Watt.

Kata Kunci-Energi Terbarukan, Magnet, Pembangkit Listrik Tenaga Magnet.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini pemanfaatan energi listrik di Indonesia sudah menjadi kebutuhan yang sangat vital, dari data kajian penyediaan dan pemanfaatan energi yang dipublikasikan oleh Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tanggal 23 April 2018, dalam menjamin ketersediaan energi listrik, pemerintah menargetkan energi yang harus disediakan pada tahun 2025 adalah 400 juta TOE (*tonne of oil equivalent*). Besaran 400 TOE tersebut akan diperoleh dari berbagai sumber energi yang terdiri dari minyak bumi 25%, gas bumi 22%, batubara 30%, dan energi baru terbarukan 23% [1]. Dari data tersebut penggunaan energi fosil masih mendominasi dari total penggunaan energi di Indonesia, sehingga dapat berdampak buruk bagi lingkungan, salah satunya yaitu pemanasan global yang sudah banyak dirasakan dampaknya pada saat ini. Untuk itu perlu dilakukan penelitian pada energi alternatif, salah satunya pembangkit listrik tenaga magnet. Pembangkit listrik tenaga magnet diharapkan menjadi alternatif energi baru yang ramah lingkungan dimasa depan untuk rumah hemat mandiri energi di Indonesia, terutama didaerah pulau-pulau kecil atau daerah yang memiliki kesulitan akses untuk menjangkau daerah pusat kota.

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga magnet adalah dengan memanfaatkan gaya tarik dan tolak pada magnet permanen, gaya magnet tersebut dapat diubah menjadi gerak putar pada poros jika dirangkai dengan mekanisme yang tepat, sehingga dapat diperoleh motor penggerak bertenaga magnet yang akan digunakan untuk memutar generator listrik [2]. Magnet permanen terdiri dari beberapa jenis, yang banyak dikenal yaitu magnet ferrite, neodymium dan magnet samarium cobalt. Magnet ferrite adalah jenis magnet permanen yang disintesis dengan menggunakan bahan dasar oksida [3]. Sementara magnet samarium-cobalt merupakan magnet permanen yang kuat terbuat dari paduan samarium dan cobalt. Magnet neodymium merupakan jenis magnet permanen yang terbuat dari tanah jarang (*rare earth*), karena terdiri dari dua atom yaitu unsur tanah jarang neodymium (Nd), kemudian 14 atom besi (Fe) dan satu atom baron (B) maka terbentuk rumus molekul $Nd_2Fe_{14}B$ [4]. Karakteristik magnet yang dimiliki $Nd_2Fe_{14}B$ lebih baik apabila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya seperti samarium cobalt dan ferrit, karena magnet ini memiliki energi produk yang tinggi, sehingga dalam aplikasinya magnet neodymium memiliki ukuran atau dimensi dan volume yang kecil [5].

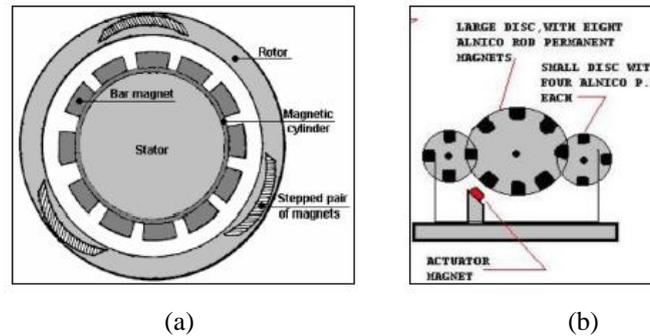
Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Magnet [6]

Material	Density g/cm^3	B_R T	H_{cJ} kA/m	H_{cB} kA/m	(Bhmax) (kJ/m^3)
Sr Ferit	4,81	0,388	229,2	224,8	28,68
$Nd_2Fe_{14}B$	7,43	1,212	976,9	868,2	265,05
$SmCO_5$	8,36	0,882	1598,1	584,9	128,37
Sm_2Co_{17}	8,48	1,082	>1600	839,8	227,17

Eksperimen membuat prototipe pembangkit listrik tenaga magnet atau motor bertenaga magnet permanen sudah banyak dilakukan, seperti *Johnson's Permanent Magnet Motorcycle*, bahan magnet yang digunakan adalah

* Corresponding author: lutfi.gangsarprayogo@gmail.com

magnet samarium cobalt, konfigurasi susunan magnet Johnson bertujuan supaya fluks magnet motor ini tetap seimbang, sehingga menghasilkan putaran yang terus-menerus. Motor magnet dipasang pada poros nonmagnet, pengatur magnet ditempatkan di silinder mu-metal, Mu-metal sangat konduktif untuk fluks magnet [7]. Kemudian contoh motor bertenaga magnet lainnya adalah *Bowman Magnetic Motor*, motor bertenaga magnet ini menggunakan tiga poros yang terpasang pada dua dudukan plat, salah satu poros menggunakan roda besar dan dua poros lainnya menggunakan roda kecil dan dipasang roda gigi yang digunakan untuk mengatur putaran poros ketiga roda. Pada motor bertenaga magnet permanen ini menggunakan satu magnet aktuator bersifat statis, berhadapan dengan magnet pada roda yang digunakan untuk memberikan gaya dorong terhadap magnet yang terpasang pada roda besar. Setelah terjadi putaran pada roda, kemudian putaran ini akan dipindahkan ke generator melalui sistem pemindah daya drive belt, sehingga tercipta energi listrik[8].



Gambar 1: (a) *Johnson's Permanent Magnet Motorcycle*; (b) *Bowman Magnetic Motor*[7] [8]

Sementara penelitian yang dilakukan oleh Yakob Liklikwatil dan beberapa rekannya, membuat prototipe pembangkit listrik tenaga magnet. Pada sistem pembangkit ini, untuk memutar generator dengan memanfaatkan gaya tolak antara nosel atau magnet pendorong dengan magnet yang terpasang pada roda turbin, sementara roda turbin dipasang pada poros generator. Dari hasil penelitiannya, turbin magnet permanen yang bebas energy ini bisa berputar dengan nosel yang dinamis tetapi tidak dapat berputar secara terus menerus dengan nosel yang tetap diam pada posisi[9]. penelitian sejenis juga dilakukan oleh sumarno, dengan memanfaatkan motor dan dinamo yang masing-masing telah dipasang piringan, kemudian piringan tersebut disusun magnet neodmium yang diharapkan dapat menjadi sumber penggerak alat tersebut, magnet permanen yang disusun melingkar dengan kutub yang dipasang berlawanan atau dengan kata lain mempunyai konfigurasi N-S-N-S, konfigurasi ini bertujuan agar terjadi gaya tarik menarik dan tolak menolak pada kumparan, sehingga akan timbul induksi tenaga tolakan elektromagnetik, namun teori tersebut belum bisa dibuktikan secara eksperimen lapangan [10].

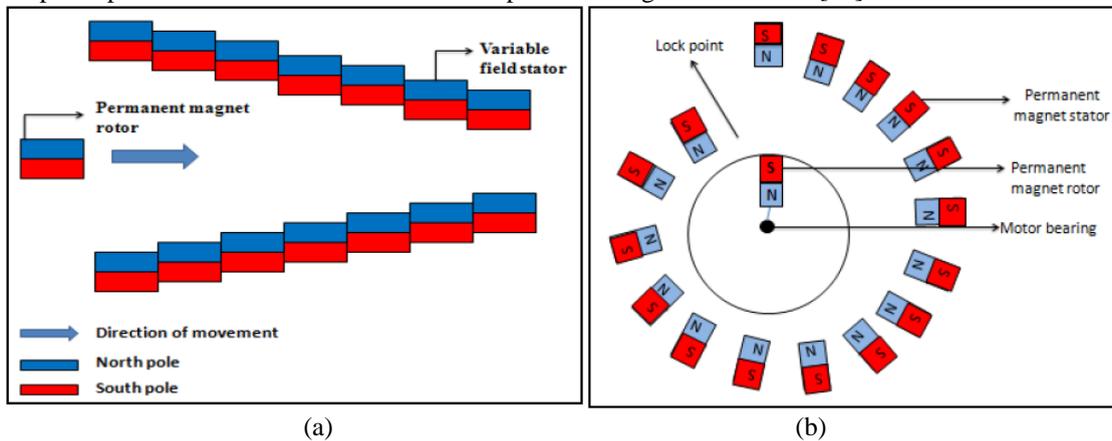


Gambar 2 Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Terdahulu [10]

Terdapat konsep susunan magnet yang terbukti bisa merubah gaya tolak magnet menjadi gerak putar yaitu konsep V-Gate, dimana konsep ini memiliki ciri khas tersendiri, yaitu magnet permanen disusun membentuk pola menyerupai huruf V pada sebuah tabung yang berperan sebagai rotor, kemudian ditengah pola V tersebut, dipasang magnet stator dengan kutub berlawanan, konsep seperti ini mampu memutar rotor namun tidak bisa secara terus-menerus, melainkan satu siklus putaran saja, hal ini dikarnakan terjadinya gaya tolak balik (lock point) pada akhir siklus. Pada penelitian yang dilakukan oleh Isnadi, dilakukan pengujian terhadap motor bertenaga magnet permanen dengan konsep V-Gate. Dalam pengujian dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian manual dan pengujian otomatis. Pengujian secara manual merupakan pengujian dengan cara memberikan tambahan gaya dari luar untuk menggerakkan stator. Sedangkan pengujian secara otomatis merupakan pengujian yang dilakukan tanpa memberi gaya dari luar, sehingga diharapkan alat peraga dapat bekerja secara otomatis. Sementara dari penelitian itu, data hasil pengujian secara manual didapat kuat medan magnet terbesar 199,99 mT dan kecepatan putaran sebesar 60 rpm, sementara dari penelitian otomatis didapat kecepatan putaran sebesar 38 rpm [11].

Pembangkit listrik tenaga magnet dengan konsep V-Gate pernah dibuat pada peneliti sebelumnya, dengan memasang susunan magnet V-Gate pada stator yang berbentuk spiral, di pertengahan stator tersebut dipasang poros yang terhubung

dengan motor DC, kemudian pada poros tersebut terdapat magnet rotor dengan posisi tolak-menolak dengan magnet stator. Karena gaya tolak tersebut rotor berputar namun akan tertahan oleh gaya tolak balik (lock point) pada sambungan V-Gate, oleh karena itu pada saat melewati sambungan V-Gate dipacu menggunakan motor DC dengan dibantu sensor proximity sehingga mampu berputar secara terus- menerus dan mampu memutar generator listrik [12].

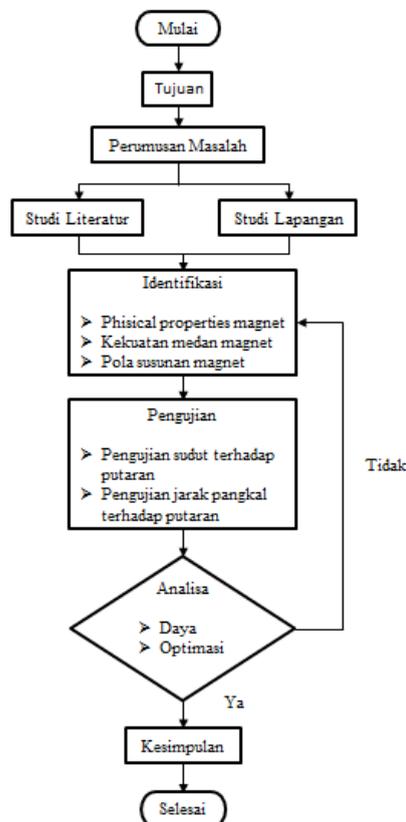


Gambar 3 : (a) Susunan V-Gate; (b) Spiral Rotor[12]

Pada penelitian yang akan dilakukan, terdapat perbedaan dari peneliti sebelumnya, dimana susunan V-Gate tidak disusun pada stator, namun disusun pada rotor dengan sudut yang tepat, dimana rotor berbentuk tabung. Stator dibuat dengan mekanisme mampu bergerak maju-mundur, saat stator bertemu lock point maka akan bergerak menjauhi rotor dengan ditarik oleh motor DC yang dibantu oleh sensor proximity. Dengan mekanisme tersebut diharapkan menghasilkan torsi dan putaran yang lebih optimal dan menghasilkan daya yang lebih besar. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan besar sudut dan jarak magnet yang tepat, untuk mendapatkan torsi dan putaran yang tinggi, menghitung daya listrik yang di hasilkan sistem tersebut kemudian mengoptimasi energi pada sistem pembangkit.

2. METODE PENELITIAN

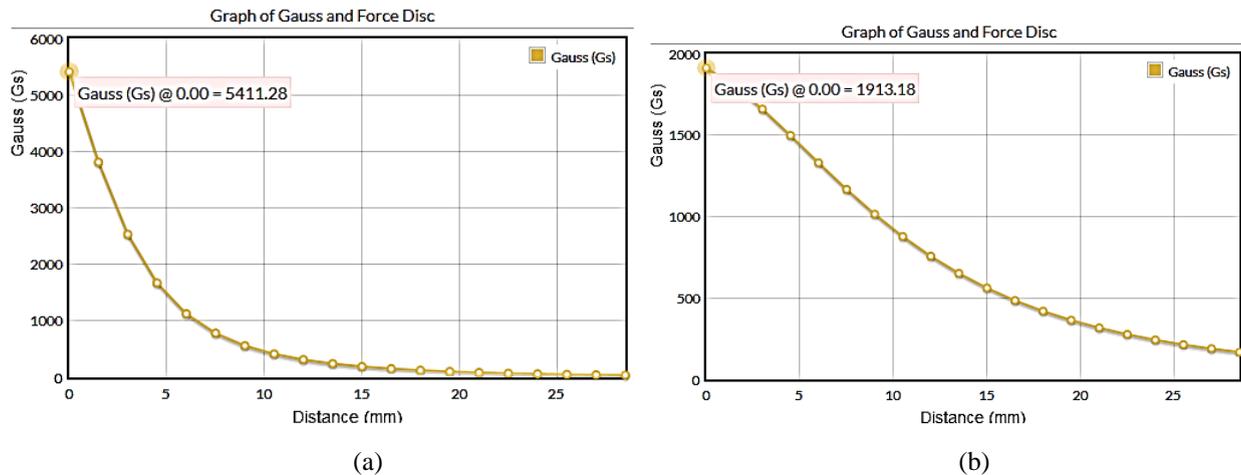
a. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

b. Identifikasi

Jenis magnet yang digunakan pada penelitian ini adalah magnet neodymium, Magnet neodymium yang dipasang pada rotor menggunakan grade N30 dengan dimensi 10 mm × 10 mm yang memiliki besar medan magnet 5411,28 Gauss, sementara pada stator menggunakan grade N30 dengan dimensi 30 mm × 5 mm yang memiliki besar medan magnet 1913,18 Gauss. Berikut grafik besar medan magnet neodymium yang digunakan.



Gambar 5 Medan Magnet : (a) Grade N30 10 mm × 10 mm; (b) Grade N30 30 mm × 5 mm[13]

Keunggulan yang dimiliki oleh magnet neodymium harganya lebih murah apabila dibandingkan dengan magnet yang lain. Tetapi magnet ini memiliki kekurangan tidak dapat diaplikasikan pada suhu tinggi dikarenakan hanya mampu beroperasi pada suhu maksimum berkisar sampai 200 °C, berikut merupakan physical properties dari magnet neodymium.

Tabel 2. Physical Properties Magnet Neodymium[13]

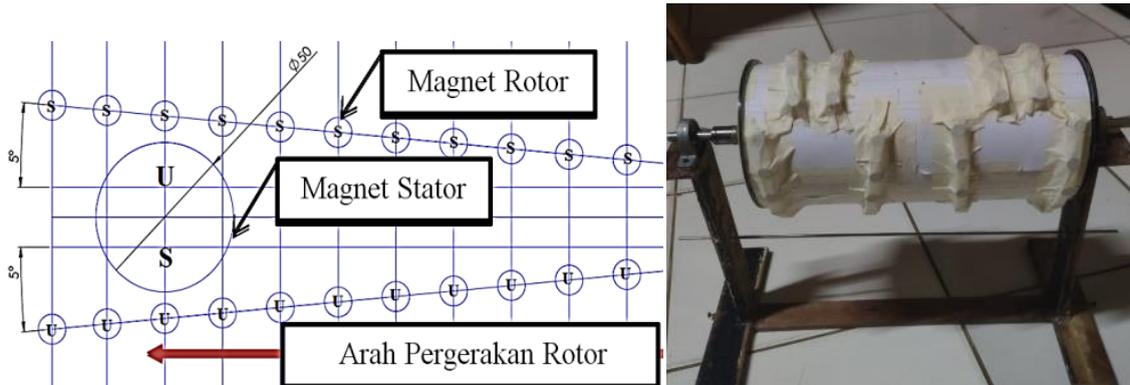
Parameter	Satuan	Nilai
Currie temperature	°C	310-370
Maximum oprating temperature	°C	80-240
Hardness	Hv	560-580
Resistivity	$\mu\Omega.cm$	160
Density	g/cm^3	7,4
Relative recoil permeability	μrec	1,05
Temperature coefficient of Br	$\%/^{\circ}C$	(-0,12)-(-0,10)
Temperature coefficient of iHc	$\%/^{\circ}C$	-0,6

c. Pengujian

Setelah dilakukan identifikasi, kemudian dilakukan uji fungsi dan kinerja pada alat percobaan, tahap pertama dilakukan pengujian terhadap besar sudut V-Gate pada susunan magnet rotor, dikarenakan besar sudut tersebut berpengaruh terhadap gaya tolak yang diberikan stator terhadap rotor, sehingga semakin mendapatkan sudut yang tepat maka gaya tolak yang diberikan antaran magnet stator dan rotor maka akan semakin terarah sehingga rotor dapat berputar dengan maksimal. Berikut langkah pengujian besar sudut V-Gate.

- Langkah pertama membuat gambar garis susunan V-Gate pada ketas karton dengan besar sudut 2,5 derajat, dan diberikan tanda dimana magnet akan dipasang.
- Memasang kertas karton yang sudah digambar pada permukaan rotor, kemudian dipasang selotip hingga kuat.
- Kemudian menyusun magnet pada garis yang sudah diberikan tanda, kemudian memberi selotip pada permukaan magnet hingga kuat.
- Kemudian rotor dipasang pada rangka dan alat prototipe dijalankan.
- Mengukur kecepatan putaran rotor menggunakan tachometer dan mencatat hasilnya.
- Kemudian semua magnet pada rotor dilepaskan dan menggambar kembali garis V-Gate pada karton yang baru dengan sudut 5 derajat dan diberikan tanda diamana magnet akan dipasang.
- memasang kembali kertas karton yang sudah digambar pada permukaan rotor, kemudian dipasang selotip hingga kuat

- Kemudian menyusun kembali magnet pada garis yang sudah diberikan tanda, kemudian memberi selotip pada permukaan magnet.
- Kemudian rotor dipasang pada rangka dan alat prototipe dijalankan kembali.
- Mengukur kembali kecepatan putaran rotor menggunakan tachometer dan mencatat hasilnya.
- Kesimpulan dari pengujian ini, apabila sudut 5 derajat menghasilkan kecepatan putaran rotor yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut 2,5 derajat, maka perlu melakukan pengujian kembali dengan sudut yang lebih besar hingga kecepatan turun kembali. Apabila sudut 5 derajat menghasilkan kecepatan putaran rotor lebih rendah dibandingkan dengan sudut 2,5 derajat, maka perlu melakukan pengujian kembali terhadap sudut kurang dari 2,5 derajat.



(a) (b)
Gambar 6 Susunan V-Gate : (a) Gambar Sketch; (b) Susunan Magnet

Setelah dilakukan pengujian besar sudut V-Gate, kemudian dilakukan pengujian jarak pangkal V-Gate, langkah pengujian ini sama dengan pengujian besar sudut, hanya variabelnya jarak pangkal. Pengujian ini dilakukan dengan variasi jarak 12 mm, 16 mm, 20 mm, 24 mm, 28 mm dan 32 mm. Penggunaan variasi jarak tersebut dikarnakan pada jarak 16 mm kecepatan putaran rotor lebih tinggi dibanding dengan jarak 12 mm, sehingga jarak pangkal perlu diperlebar menjadi 24 mm. Pada jarak 28 mm kecepatan putaran rotor kembali turun, begitu pula pada jarak 32 mm kecepatan semakin lambat, maka dapat disimpulkan jarak pangkal yang menghasilkan gaya magnet terbesar adalah 24 mm, sehingga menghasilkan putaran rotor yang maksimal.



(a) (b)

Gambar 7 Pengukuran : (a) Kecepatan Putaran Rotor; (b) voltase generator

Setelah dilakukan pengujian maka didapat besar sudut dan jarak pangkal V-Gate yang tepat, kemudian lepaskan semua magnet pada rotor, setelah itu dibuat dudukan magnet pada rotor secara permanen dengan membuat lubang pada rotor disesuaikan dengan diameter magnet yang akan dipasang. Kemudian magnet dipasang kembali pada rotor dengan lem power glue. Setelah semua instalasi dari sistem pembangkit semuanya terpasang, maka alat dapat dijalankan dan dilakukan pengukuran voltase listrik yang dihasilkan generator, dimana genertor yang dipakai adalah RS-385 SH-2160 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Generator[14]

Parameter	Nilai
Model NO	RS-385
Output Power	1-20W
Brush Type	Carbon Brush
Voltage(V)	3V-48V
Current	1 A

d. Analisa

• Daya

Untuk menganalisa daya yang dihasilkan perlu dihitung terlebih dahulu gaya tolak antara magnet stator dan magnet rotor, gaya tolak juga dipengaruhi seberapa besar medan magnet yang dimiliki, gaya tolak antara kedua magnet dapat dihitung dengan persamaan 1.

Persamaan 1 perhitungan gaya dua magnet yang didedatkan [15].

$$F = \frac{m_1 \times m_2}{\mu r^2} \quad (1)$$

Dimana,

F = Gaya magnet (N)

m = merupakan kekuatan kutub (wb)

μ = permeabilitas medium dalam udara ($4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$)

r = merupakan jarak antara dua magnet (m).

Setelah gaya magnet dihitung kemudian dilakukan perhitungan torsi yang dihasilkan, torsi dapat dihitung dengan persamaan 2.

Persamaan 2 perhitungan torsi [16].

$$\tau = r \times F \quad (2)$$

Dimana,

τ = besar momen gaya (Nm)

r = jarak sumbu rotasi (m)

F = besar gaya yang dikerjakan (N)

Kemudian selanjutnya dapat dihitung daya mekanik yang dihasilkan dari sistem pembangkit tenaga magnet ini dengan persamaan 3.

Persamaan 3 perhitungan daya mekanik [17].

$$P = T \times \omega \\ = T \times \frac{2\pi N}{60} \quad (3)$$

Dimana,

P = Daya (Watt)

T = Torsi (Nm)

N = Kecepatan (rpm)

Kemudian daya listrik dapat dihitung dengan persamaan 4.

Persamaan 4 perhitungan daya listrik [18].

$$P = V \times I \quad (4)$$

Dimana,

P = daya

V = tegangan listrik

I = arus listrik

Target daya yang dicapai adalah lebih besar dari daya listrik yang dipakai dari sistem pembangkit itu sendiri, dimana pada sistem pembangkit yang dibuat, daya listrik yang dibutuhkan untuk oprasi adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Pemakaian Daya Dalam Sistem

Peralatan	Daya
Motor DC	8,28 Watt
Sensor Proximity	0,15 Watt
Total	8,24 Watt

Apabila daya yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan daya yang dikonsumsi, maka dilakukan perhitungan terhadap motor DC (motor penarik stator), apakah sudah maksimal kinerja dari motor DC tersebut, dikarenakan daya output yang dihasilkan pada motor DC perlu disesuaikan dengan jumlah magnet stator yang digunakan.

- Optimasi

Optimasi dari sistem pembangkit ini dapat dilakukan dengan menghitung beban maksimal yang bisa digerakan oleh motor penarik stator, sehingga jumlah magnet pada stator bisa dimaksimalkan. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung gaya yang dibutuhkan untuk menarik stator terlebih dahulu dengan persamaan 5.

Persamaan 5 perhitungan gaya yang dibutuhkan untuk menarik stator [19]

$$F = m \times a \quad (5)$$

Dimana,

F = gaya (N)

m = massa (kg)

a = percepatan (m/s^2)

Dikatakan pada saat menarik magnet stator ditahan oleh pegas, maka perlu ditambahkan gaya untuk menekan pegas. Diketahui pegas yang digunakan berjenis *compression springs* OD 14,27 mm ID 13,2 mm yang memiliki konstanta 0,12 N/mm, maka dapat di hitung gaya untuk menekan pegas dengan persamaan 6.

Persamaan 6 perhitungan gaya untuk menahan pegas [20].

$$F = k \times x \quad (6)$$

Dimana,

F = gaya untuk menekan pegas

k = konstanta pegas

x = perubahan panjang pegas

Sehingga daya yang di butuhkan untuk menarik magnet stator dapat di hitung dengan persamaan 7.

Persamaan 7 perhitungan daya mekanik yang dibutuhkan untuk menarik stator [18].

$$P = \frac{(F + F_x) \times S}{t} \quad (7)$$

Dimana,

P = daya

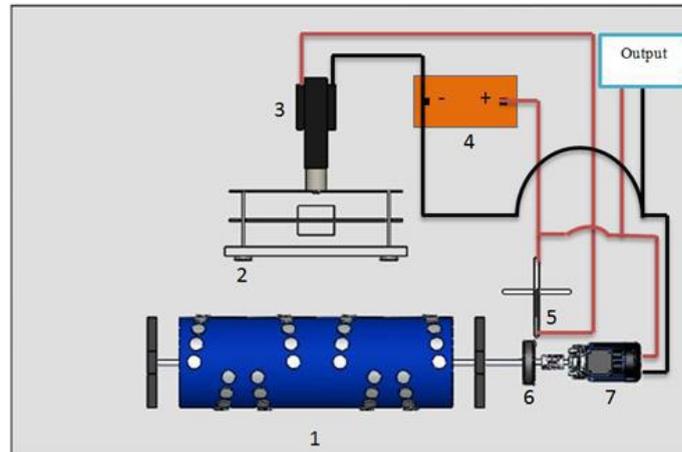
F = gaya tarik yang dibutuhkan

F_x = gaya pegas

Apabila daya output motor penarik stator sudah dimanfaatkan dengan beban maksimal, maka optimasi bisa dilakukan dengan mengganti magnet pada stator dan rotor dengan grade yang lebih tinggi, contohnya N52. Namun apabila daya output belum dimanfaatkan secara maksimal maka cukup menambah jumlah magnet stator yang disesuaikan dengan perhitungan untuk menaikkan torsi pada pembangkit, sehingga didapat daya yang lebih besar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Komponen Dan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Magnet



Gambar 8. Instalasi Sistem Pembangkit

1. Rotor

Pada permukaan rotor disusun magnet neodmium grade N35 dengan ukuran $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, magnet ini disusun mengelilingi rotor dengan membentuk pola huruf V yang memiliki besaran sudut tertentu, untuk mengetahui besar sudut yang optimal harus dilakukan percobaan terlebih dahulu dan dipilih rpm tertinggi.

2. Magnet Stator

Magnet stator dipasang berhadapan dengan bagian pertengahan susunan pola V magnet rotor dengan jarak 30 mm, jenis magnet stator yaitu magnet neodmium grade N 35 dengan ukuran $30 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, pada magnet stator harus bisa digerakan, dikarenakan pada saat melewati lock point magnet stator harus dijauhkan supaya rotor mampu berputar secara terus-menerus.

3. Motor penarik magnet stator

Motor penarik ini menggunakan motor DC, saat dialiri arus listrik motor DC akan menarik stator menjauhi rotor saat melewati lock point, lalu pegas yang terpasang pada tuas stator akan mendorong kembali stator mendekati rotor setelah melewati lock point.

4. Baterai

Baterai digunakan sebagai sumber energi awal untuk menyuplai arus listrik pada motor penarik stator, setelah rotor berputar dengan kecepatan maksimal maka baterai digunakan untuk menyimpan dan menyetabilkan arus listrik.

5. Sensor Proximity

Sensor ini digunakan untuk mengatur listrik yang dialirkan ke motor DC, dengan cara membaca kapan lock point melewati magnet stator. Prinsipnya dengan memberi penampang pada rotor sehingga pada saat penampang berputar dengan rotor akan melwati sensor tersebut.

6. Pulley

Pulley digunakan untuk memindahkan daya dari poros rotor menuju poros generator, rasio pulley disesuaikan dengan kebutuhan putaran generator untuk membangkitkan listrik.

7. Generator

Generator digunakan untuk mengubah energi mekanik yang diperoleh dari rotor menjadi energi listrik yang akan disuplai untuk input pemakaian dan output pemakaian.

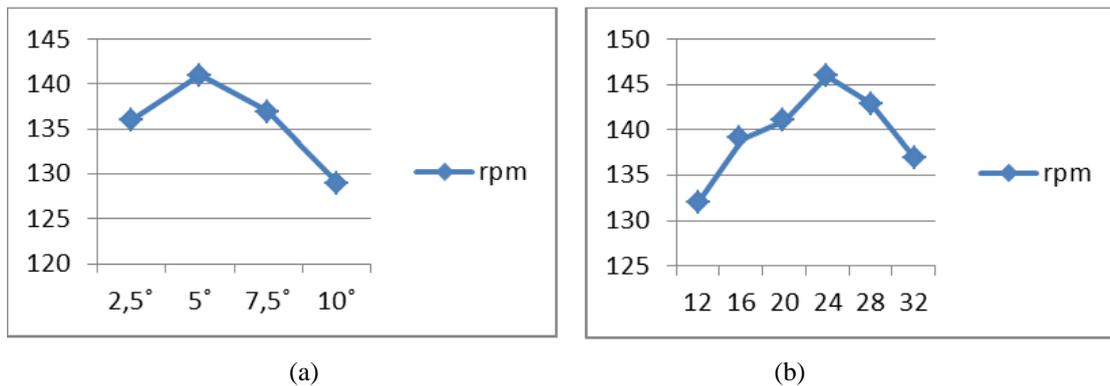
b. Pengujian

Variabel yang digunakan pada pengujian motor bertenaga magnet permanen ini yaitu hubungan besar sudut dan jarak pangkal V-Gate dengan kecepatan putaran, sementara alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya tachometer, sensor proximity, motor doorlock, baterai, pipa PVC, kertas karton, slotipe dan rangka dudukan rotor. Spesifikasi motor bertenaga magnet permanen yang akan dilakukan pengujian sebagai berikut.

Tabel 5. Spesifikasi Utama Motor Bertenaga Magnet

Spesifikasi	Nilai	Spesifikasi	Nilai
Diameter rotor	101,6 mm	Tipe magnet stator	Neodymium N30
Panjang rotor	234 mm	Jumlah magnet stator	2
Jumlah magnet rotor	64	Jarak stator dan rotor	30 mm
Dimensi Magnet Rotor	10 mm × 10 mm	Medan magnet stator	1913 Gauss
Tipe magnet rotor	Neodymium N30	Medan magnet rotor	5411 Gauss
Dimensi magnet stator	30 mm × 5 mm		

Tahap pertama dilakukan pengujian terhadap besar sudut V-Gate yang bertujuan untuk mengetahui besar sudut yang menghasilkan putaran rotor tertinggi, berikut merupakan data hasil pengujian terhadap besar sudut V-Gate.



Gambar 9 Grafik pengujian: (a) Besar sudut; (b) Jarak pangkal.

Dari grafik diatas sudut 5 derajat didapatkan putaran sebesar 141 rpm, maka pada sudut ini didapat torsi yang lebih besar diakibatkan gaya tolak antara magnet stator dan rotor lebih terarah untuk mendorong rotor berputar. Kemudian tahap selanjutnya dilakukan pengujian terhadap jarak pangkal V-Gate yang bertujuan untuk mendapatkan kecepatan putaran rotor yang maksimal, pada saat jarak pangkal dirubah menjadi 24 mm kecepatan putaran bertambah menjadi 146 rpm. Pemilihan sudut dan jarak pangkal ini sangat berpengaruh terhadap torsi pada putaran rotor, dikarenakan apabila besar sudut dan jarak pangkal disusun dengan ukuran yang tepat maka gaya tolak magnet akan lebih terarah untu mendorong rotor, sehingga rotor mampu berputar lebih cepat dengan torsi yang lebih besar, oleh karna itu daya yang dihasilkan lebih besar.

c. Hasil Perhitungan

Tabel 6 Hasil Perhitungan

Parameter	Nilai
Gaya tolak magnet	5,08 <i>N</i>
Torsi putaran rotor	0,51 <i>Nm</i>
Daya mekanik rotor	7,524 <i>Watt</i>
Daya listrik generator	5,52 <i>Watt</i>
Daya input motor DC	8,28 <i>Watt</i>
Daya output motor DC	4,39 <i>Watt</i>
Kebutuhan daya motor DC untuk menarik stator	1,05 <i>Watt</i>
Maks. Jumlah stator yang mampu ditarik	4 stator
Torsi putaran dengan jumlah magnet stator maksimal	2,06 <i>Nm</i>
Daya mekanik dengan jumlah magnet stator maksimal	29.936 <i>Watt</i>

Hasil perhitungan pada tabel diketahui bahwa daya mekanik pada rotor sebesar 7,524 Watt, daya tersebut hanya mampu menggerakkan generator mini, yang menghasilkan daya listrik sebesar 5,52 Watt. Sementara pada sistem pembangkit ini

konsumsi daya untuk operasi 8,24 Watt. Tentunya daya yang dihasilkan dari sistem pembangkit ini minus (tidak cukup untuk mengoperasikan sistem itu sendiri). Sehingga perlu diidentifikasi kembali apakah jumlah atau jenis maupun dimensi magnet sudah disesuaikan dengan energi yang dikonsumsi sistem pembangkit itu sendiri. Dari hasil perhitungan output daya mekanik yang dimiliki motor penarik stator adalah 4,39 Watt, sementara untuk menarik stator hanya dibutuhkan daya mekanik 1,05 Watt. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa motor penarik stator ini mampu menarik 4 stator, dimana 1 stator terdiri dari dua magnet stator. Dari Perhitungan yang dilakukan sistem pembangkit ini dapat dioptimasi dengan menambah jumlah magnet stator menjadi 8 pcs. Sehingga dari perhitungan daya mekanik yang dihasilkan sebesar 29,936 Watt, daya tersebut apabila digunakan untuk membangkitkan listrik dengan generator yang memiliki efisiensi sebesar 85 % maka dapat menghasilkan listrik sebesar 25,44 Watt. Dengan daya sebesar tersebut mampu menghasilkan energi listrik untuk dikonsumsi sistem itu sendiri dan kemudian sisa energi listriknya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan penerangan skala rumah tangga.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan percobaan lapangan dan melakukan pengujian terhadap besar sudut dan jarak pangkal V-Gate dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Susunan magnet pada rotor yang optimal adalah dengan sudut V-Gate sebesar 5° dan jarak pangkal sebesar 24mm, kemudian magnet pada stator dipasang berhadapan di tengah pola susunan magnet rotor, dari susunan magnet tersebut mampu menghasilkan putaran rotor sebesar 146 rpm.
2. Daya dalam sistem pembangkit dapat dihitung dengan mengetahui torsi dari motor bertenaga magnet permanen yaitu sebesar 0,51 Nm, kemudian dikalikan dengan kecepatan sudut dari motor bertenaga magnet permanen, daya mekanik yang diperoleh dari perhitungan sebesar 7,524 Watt.
3. Daya listrik yang didapat dari hasil pengujian adalah sebesar 5,52 Watt.
4. Kebutuhan daya listrik untuk operasi sistem pembangkit sebesar 8,24 Watt.
5. Daya listrik yang dihasilkan dari sistem pembangkit listrik yang telah dibuat belum cukup untuk mengoperasikan sistem itu sendiri, namun sistem tersebut masih dapat dioptimasi.
6. Optimasi energi dari sistem pembangkit ini bisa dilakukan dengan cara memaksimalkan kinerja dari motor penarik stator, dari hasil perhitungan magnet stator bisa ditambah 8 pcs, sehingga apabila dilakukan maka daya yang dihasilkan mampu mencapai 29,936 Watt.
7. Perlu diteliti lebih lanjut terhadap motor penarik stator, dimana dalam sistem pembangkit ini motor penarik bergerak maju-mundur, selain memerlukan kekuatan tarikan motor ini harus memiliki respon gerak yang cepat, dikarenakan motor tersebut bergerak sesuai sinyal yang diberikan oleh sensor proximity yang membaca sambungan pangkal saat melewati stator.
8. Perlu diteliti lebih lanjut terhadap generator yang sesuai untuk sistem pembangkit ini, dimana efisiensi generator sangat berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, Ebt dan Listrik*. (2017).
2. K. B. Triana, K. R. Dantes, I. N. P. Nugraha, P. Studi, P. Teknik, and U. P. Ganesha, "Pengembangan Desain Free Energy Generator Berbahan Magnet Neodymium Berbasis Solidworks Untuk Sistem Recharging Prototype Ganesha Electric," *Jurnal Pendidik Teknik Mesin Undiksha*, vol. 7, no. 3, pp. 111–121, (2019).
3. Mastuki, M. A. Baqiya, and Darminto, "Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur," *Jurnal Sains Dan Seni Its*, vol. 1, no. 1, pp. 76–80, (2012).
4. Djuhana, Muljadi, Sunardi, and P. Sardjono, "Pembuatan dan Pengujian Bulk Density, Fluks Magnetik, dan Mikrostruktur pada Hybrid Magnet Berbasis NdFeB / BaFe 12O19," *Journal of Technical Engineering Piston*, vol. 1, no. 2, pp. 25–29, (2018)..
5. N. Idayanti, A. Manaf, and D. Dedi, "Magnet Nanokomposit Sebagai Magnet Permanen Masa Depan [Nanocomposite Magnets as Future Permanent Magnets]," *Metalurgi*, vol. 33, no. 1, p. 1, (2018).
6. B. Slusarek, M. Karbowiak, B. Jankwski, D. Kapelski, and M. Przybylski, "Physical properties of permanent magnets for magnetic circuits of electric machines," *Polimery*, vol. 58, no. 2, pp. 127–134, (2013).
7. S. H. Susilo, Z. Jannah, L. D. Mustofa, and Y. Effendhi, "Design of permanent magnet motor," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 732, no. 1, (2020).

8. L. S. & U. Abdul Samad Mansuri, Afzal Dodhiya, Imranahemad Sandhi and Gadhia, "Symmetrical Permanent Magnet Motor," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, vol. 3, no. 2, pp. 105–112, (2013).
9. Y. Liklikwatil, H. Setiawan, S. R, R. Hidayat, and G. D. Ramady, "Turbin Magnet Permanen Sebagai Penggerak Alternatif Generator Yang Bebas Energi," *Isu Teknologi STT Mandala*, vol. 14, no. 1, pp. 51–61, (2019).
10. Sumarno, "Analisa Rancang Bangun Turbin Tenaga Magnet," *Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Tangerang*, vol. 8, no. 2, pp. 22–32, (2019).
11. Isnadi., "Pembuatan Alat Peraga Magnetic Perpetual Circular Motion" , Program Studi Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret, Surakarta, (2015).
12. A. Rashid, K. Saleem, M. Amin, and S. Shah, "Permanent Magnetic Theory and Design Methodology of Variable Field Spiral Efficient Motor," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology (IJSRST)*, vol. 1, no. 5, pp. 255–263, (2015).
13. AMF Magnetics, "Australia's Largest Supplier," 2020. [Online]. Available: <https://magnet.com.au>. [Accessed: 14-Apr-2020].
14. Ningbo Leison Motor, "RS-385 Mini 10000rpm 20000rpm High Rpm 12V 24V DC Motor," 2020. [Online]. Available: <https://leisonmotor.en.made-in-china.com/product/eBWnNGXJbgUv/China-RS-385-Mini-10000rpm-20000rpm-High-Rpm-12V-24V-DC-Motor.html>. [Accessed: 17-Oct-2020].
15. S. H. Lubis, S. Sutrisno, and L. Oktonovrilna, "Analisa Gangguan Medan Magnet Kereta Api Listrik terhadap Pengamatan Geomagnet," *Jurnal Al-Fiziya:Journal of Material Sciences, Geophysics, Instrumentation, and Theoretical Physics*, vol. 1, no. 2, pp. 25–35, (2019).
16. O. Paulina., *Fisika Kelompok Teknologi dan Kesehatan*. Bandung: Grafindo Media Pratama, (2006).
17. M. Udin, B. S. Kaloko, and T. Hardianto, "Peramalan Kapasitas Baterai Lead Acid pada Mobil Listrik Berbasis Levenberg Marquardt Neural Network," *Berkala Sainstek*, vol. 5, no. 2, p. 112, (2017).
18. B. S. Hari., *Mengenal Fisika Listrik Dan Magnet*. Depok: Penerbit Duta, 2019.
19. R. Sirait, "Percepatan Berdasarkan Hukum II Newton," *Jurnal Ilmu Fisikas dan Teknol*, vol. 2, no. 2, pp. 11–17, (2018).
20. M. A. Yaz, *Fisika 2*, 1st ed. Bogor: Yudhistira, (2007).