

DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN KECEPATAN RENDAH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN ATAU BAYU (PLTB)

Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Azis Ardiyatmoko

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura, Surakarta

Telp. (0271)717417 ext. 223

E-mail: asy_98ari@yahoo.com

ABSTRAK

Potensi kecepatan angin di Indonesia terutama wilayah tengah tergolong rendah, yaitu berkisar 3-5 m/s, hal ini menjadi salah satu faktor kendala belum optimalnya pemanfaatan potensi angin menjadi energi listrik. Generator sinkron yang ada di pasaran secara umum membutuhkan energi listrik untuk menghasilkan medan magnet dengan generator tersebut mampu menghasilkan energi listrik serta memiliki karakter kecepatan tinggi, yaitu 1350 – 1500 rpm, dengan potensi kecepatan angin yang rendah pemanfaatan gear box adalah salah satu metode untuk menaikkan putaran generator, tetapi energi listrik yang dihasilkan terkadang lebih kecil dari pada energi listrik yang diserap. Tujuan utama penelitian ini adalah rancangan khusus generator magnet permanen tiga fase yang bekerja pada 1000 rpm untuk memanfaatkan wind energy. Metode penelitian ini terdiri atas beberapa tahap, pertama dengan mendesain rotor dan stator. Mendesain rotor adalah menentukan jumlah dan ukuran magnet permanen, dan mendesain stator adalah menentukan jumlah belitan serta diameter belitan yang digunakan, tahap kedua adalah perakitan serta pengujian skala laboratorium, yaitu rotor generator tersebut diputar dengan motor DC sebagai prime mover dengan putaran 1000 rpm. Hasil pengujian generator magnet permanen pada 1000 rpm menghasilkan tegangan keluaran 38 volt dan arus 114,1 mA antar fase. Pengukuran tegangan dan arus pada kecepatan 1000 RPM dengan fase nol mempunyai tegangan keluaran 20 volt dan arus 83,1 mA. Penelitian ini menghasilkan tegangan keluaran dan arus yang berbeda untuk pengukuran antara fase nol dan antar fase dengan beban yang berbeda.

Kata Kunci: Generator Magnet Permanen, Kecepatan Rendah, Wind Energy

1. PENDAHULUAN

Sumber energi yang berasal dari fosil, yang saat ini menyumbang 87,7% dari total kebutuhan energi dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru. cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Kondisi keterbatasan sumber energi di tengah semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ketahun (pertumbuhan konsumsi energi tahun 2004 saja sebesar 4,3%), serta tuntutan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi yang terbaharukan (Brian, 2006).

Krisis energi yang melanda Indonesia, khususnya energi listrik telah memaksa berbagai pihak untuk mencari solusi dalam mengatasi persoalan ini. Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif selain minyak bumi dan batubara. Pemanfaatan energi matahari, angin, dan air sudah banyak dilakukan baik dalam skala kecil maupun besar. Akhir-akhir ini yang sedang populer adalah pemanfaatan tenaga air dan angin. Banyak sekali orang membuat kincir angin dan kincir air untuk diubah menjadi energi listrik. Kedua jenis kincir ini

membutuhkan generator untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik yang tepat.

Generator yang tersedia banyak di pasaran biasanya berjenis *high speed induction generator* yang membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Sedangkan untuk penggunaan kincir angin/listrik dibutuhkan generator yang berjenis *low speed* dan tanpa energi listrik awal, karena biasanya ditempatkan di daerah-daerah yang tidak memiliki aliran listrik. Oleh sebab itulah, kami mengembangkan generator mini yang bisa digunakan pada kincir angin/air ataupun sumber penggerak yang lain. Generator yang dibuat haruslah murah, mudah dibuat, mudah perawatannya, *low speed*, *high torque* serta bisa dikembangkan (*scaled up*).

Generator magnet permanen sangat efisien karena mampu bekerja baik pada kecepatan putar yang rendah. Kemudahan dalam pembuatan dan juga *scale up* generator magnet permanen sangat memudahkan dalam mendesain generator dengan kapasitas daya tertentu, tegangan tertentu, dan kecepatan kerja tertentu hanya dengan mengubah parameter seperti kekuatan fluks magnet, jumlah kumparan dan belitannya, jumlah magnet serta ukuran diameter kawat (Hariyotejo P, 2009)

Generator magnet permanen satu fase pada putaran 100 sampai 700 rpm menghasilkan tegangan

tanpa beban 2,89 volt sampai 18,84 volt, dengan kenaikan tegangan rata-rata 2,68 volt tiap kenaikan kecepatan putar 100 rpm, generator tiga fase hubung bintang pada putaran 100 sampai 700 rpm menghasilkan tegangan tanpa beban fase ke fase 4,27 volt sampai 33,33 volt, dengan kenaikan tegangan rata-rata 4.81 volt tiap kenaikan kecepatan putar 100 rpm, generator tiga fase hubung delta pada putaran 100 sampai 700 rpm menghasilkan tegangan tanpa beban fase ke fase 2.7 volt sampai 21.02 volt, dengan kenaikan kecepatan putar 100 rpm (Arif, 2012).

Prototipe generator kecepatan rendah yang dirancang untuk bekerja pada spesifikasi 500 rpm, 220 V, 3 kW belum berhasil memenuhi sasaran. Hasil evaluasi diketahui bahwa penyebab utama rendahnya unjuk-kerja generator adalah kesalahan dalam menentukan nilai kerapatan fluks rata-rata di celah udara (Pudji, 2006).

Perencanaan generator listrik 100 watt putaran rendah untuk pembangkit listrik tenaga angin dan air mikro masih belum mencapai daya *output* yang maksimal (hanya 25 watt) dengan 180 rpm (Suhardi, 2008).

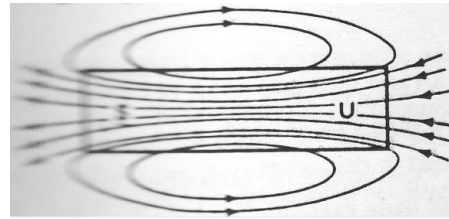
Prosedur desain generator magnet permanen *multipole* untuk pembangkit listrik tenaga angin dengan kapasitas 20 kW selain dioperasikan secara otonomi juga dapat terhubung dengan *electrical grid* (S.A. Papathanassiou, A.G. Kladas, M.P. Papadopoulos, 2000).

1.1 Prinsip Medan Magnet Permanen

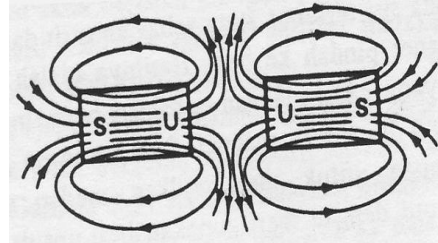
Apabila sepotong bahan *magnetik* keras mengalami suatu gaya *pemagnetan* yang kuat, domain-domainnya akan tersusun secara teratur pada arah yang sama. Jika gaya *pemagnetan* dihilangkan, maka sebagian besar domain tetap dalam kedudukan yang teratur dan dihasilkan suatu *magnet permanen*. Kutub utara merupakan tempat keluarnya garis gaya *magnetik* dari *magnet* dan kutub selatan merupakan tempat garis masuk ke *magnet*.

Garis gaya yang mengelilingi kawat pembawa arus akan saling tolak menolak jika garis-garis tersebut mempunyai arah yang sama. Magnet tersebut akan saling tarik menarik jika mempunyai arah yang berlawanan. Hal tersebut berlaku pula pada medan *magnet permanen*.

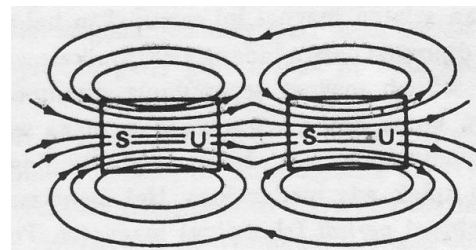
Pada gambar (1a, 1b, dan 1c) ditentukan dari arah garis-garis gaya keluar melalui utara, masuk ke selatan. Jika kutub yang sama didekatkan satu sama lain, maka garis-garis yang sama arah akan saling berlawanan, sehingga cenderung untuk saling memisahkan kedua *magnet* secara fisik. Kutub-kutub yang berlainan jika didekatkan satu sama lain akan menghasilkan suatu efek tarik-menarik secara fisik karena garis-garis gaya dari kedua *magnet* akan bergabung menjadi simpal (*loop*) panjang yang menyatu. Medan dengan garis-garis yang sama mendorong dan memisahkan kedua *magnet*.



Gambar 1a. Kutub-kutub Magnet



Gambar 1b. tolak menolak antar magnet



Gambar 1c. tarik menarik antar magnet

Garis-garis yang tidak sama akan tarik-menarik, bergabung dan menarik magnet secara bersama-sama.

1.2 Generator AC

Bagian utama generator AC terdiri atas magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida). Cincin geser, dan sikat. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC. Adanya arus AC ini ditunjukkan oleh menyalnya lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Sebagaimana percobaan Faraday, GGL induksi yang ditimbulkan oleh generator AC dapat diperbesar dengan cara:

- Memperbanyak lilitan kumparan,
- Menggunakan magnet permanen yang lebih kuat
- Mempercepat perputaran kumparan, dan menyisipkan inti besi lunak ke dalam kumparan.

Generator AC yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah dinamo sepeda. Bagian utama dinamo sepeda adalah sebuah magnet tetap dan kumparan yang disisipi besi lunak. Jika magnet tetap diputar, perputaran tersebut menimbulkan GGL induksi pada kumparan. Jika sebuah lampu pijar (lampu sepeda) dipasang pada kabel yang menghubungkan kedua ujung kumparan. Lampu tersebut akan dilalui arus induksi AC. Akibatnya, lampu tersebut menyala. Nyala lampu akan makin

terang jika perputaran magnet tetap makin cepat (laju sepeda makin kencang).

Kecepatan medan putar stator berbanding terbalik dengan jumlah kutub, hal ini ditunjukkan pada persamaan (1).

$$n_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- n_s : Kecepatan putaran (RPM)
- f : frekuensi (Hz)
- P : kutup

1.3 Bagian Generator

Generator dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian generator yang berputar dan bagian generator yang tidak berputar. Bagian generator yang berputar disebut rotor, dan rotor ini terbagi atas:

- a. Poros jangkar (Armatur)
- b. Inti Jangkar
- c. Komutator
- d. Kumparan Jangkar

Bagian generator yang tidak berputar disebut stator dan stator ini terdiri atas:

- a. Kerangka Generator
- b. Kutub utama bersama belitannya
- c. Bantalan-bantalan poros
- d. Sikat arang (*Pull Brush*)

1. Rangka Stator

Rangka stator adalah salah satu bagian utama dari alternator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator.

2. Stator

Stator terdiri dari *stator core* (inti) dan kumparan stator dan diletakkan pada *frame* depan dan belakang. *Stator core* dibuat dari beberapa lapis plat besi tipis dan mempunyai alur pada bagian dalamnya untuk menempatkan kumparan stator.

3. Rotor

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet. Rotor berputar bersama poros, karena gerakannya maka disebut generator dengan medan magnet berputar. Rotor terdiri dari : inti kutub (*pole core*), kumparan medan, *slip ring*, poros dan lain lain. Inti kutub berbentuk seperti cakram dan didalamnya terdapat kumparan medan.

4. Slip ring atau cincin geser

Cincin geser terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slepring ini berputar secara bersama-sama dengan poros (as) dan rotor. Banyaknya *slip ring* ada 2 dan pada tiap-tiap *slip ring* dapat menggeser borstel positif dan borstel negatif, guna penguatan (*Excitation Current*) ke lilitan magnet pada rotor.

1.4 Reaksi Jangkar

Bila generator diberi beban maka pada belitan stator akan mengalir arus yang besar. Ini berarti di

sekitar belitan stator akan terbentuk medan magnet. Medan magnet tersebut akan membentuk fluks jangkar. Pengaruh adanya fluks jangkar ini dinyatakan dengan A (Ampere belitan per kutub) atau *Ampere Turn per Pole*.

$$A = 0,9 m K_d K_p I T \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- A: Besarnya reaksi jangkar (Ampere belitan)
- m: Jumlah fase
- K_d : Faktor Langkah
- K_p : Faktor Distribusi
- I: Arus fase (Ampere)
- T: Banyaknya belitan tiap fase.

1.5 Hubungan Tegangan dengan Jumlah Lilitan

Suatu generator pasti ada tegangan dan besarnya tegangan tersebut di tentukan oleh berapa banyak lilitan yang ada, dengan kata lain jika suatu generator semakin banyak jumlah lilitannya maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan (3).

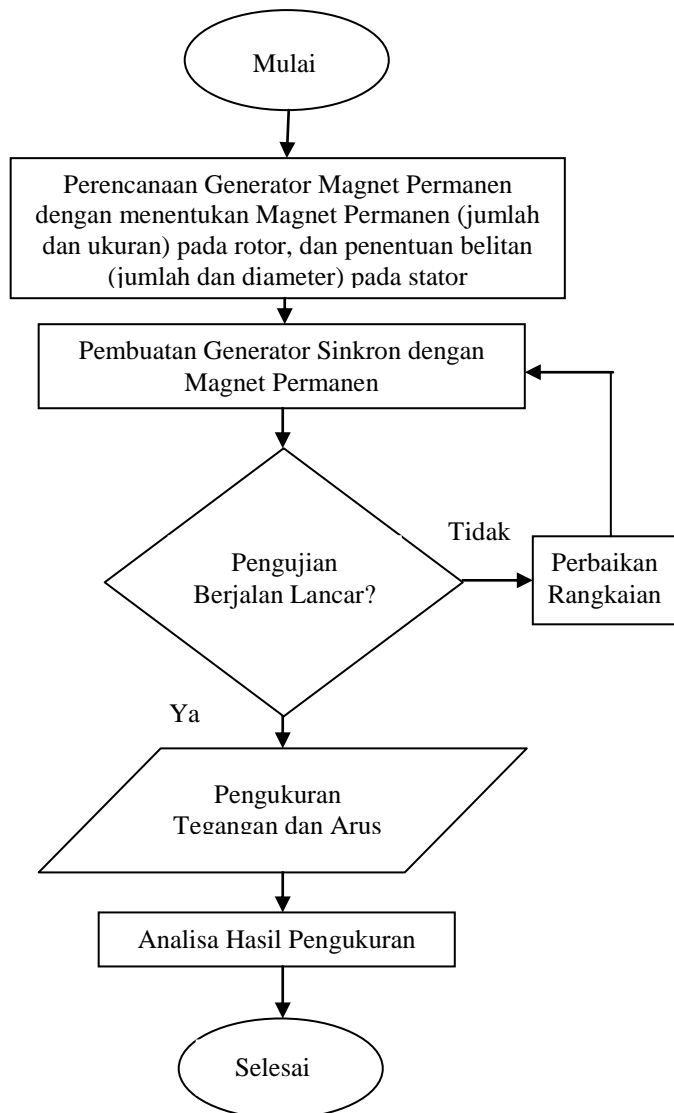
$$e = N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

- N : banyak lilitan dari kumparan
- $d\Phi$: perubahan fluks magnet (webber)
- dt : perubahan waktu dalam satuan detik (dt)
- e : tegangan (volt)

2. METODE PENELITIAN

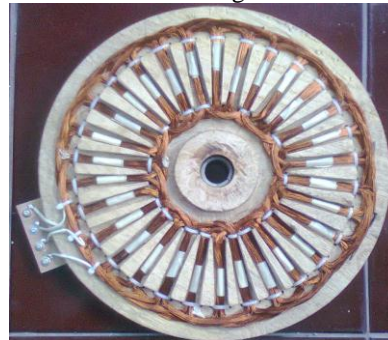
Penelitian diawali dengan penentuan magnet permanen pada rotor (jumlah dan ukuran), mengukur kuat medan magnet, menentukan belitan pada stator (diameter dan jumlah belitan), dan menentukan jarak antara rotor dengan stator. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar (2).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 Rotor Magnet Permanen



Gambar 4 Stator Generator



Gambar 5. Hasil Perakitan Generator Magnet Permanen

2.1 Peralatan Utama Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian:

- Tachometer (mengukur RPM)
- Multimeter (mengukur tegangan dan arus)
- Motor DC (penggerak awal)
- Lampu sepeda motor 24 V, lampu 5 w dan fan 24 V.
- Magnet permanen (pada rotor)
- Elektromagnetik field meter (mengukur medan magnet).

2.2 Rotor dan Stator Generator Magnet Permanent

Rotor generator magnet permanen terdiri dari 10 magnet permanen yang berukuran 60 x 40 x 5 mm, rotor tersebut ditunjukkan pada gambar (3), stator memiliki 30 slot, setiap slot stator berisi 60 belitan dengan diameter belitan 0,3 mm ditunjukkan pada gambar (4), dan hasil perakitan generator magnet permanen ditunjukkan pada gambar (5).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian generator magnet permanent tiga fase ditunjukkan pada tabel (1), (2), dan tabel (3).

Tabel.1 Data Pengujian Generator Magnet Permanen Tiga Fase Dibeban Lampu DC 24 Volt

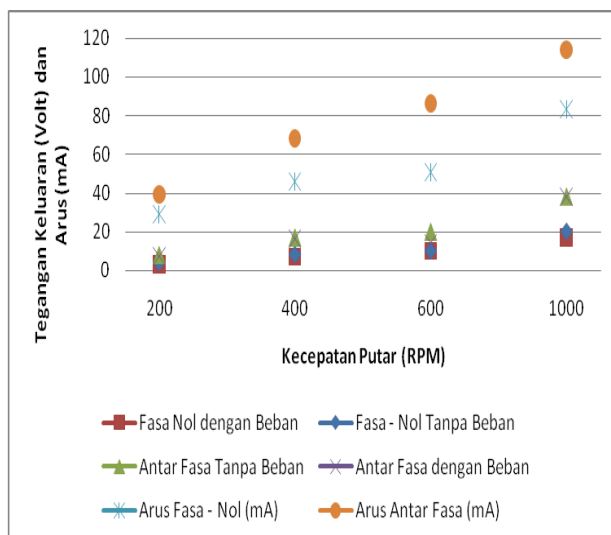
No	R P M	Tegangan (volt)				Arus (mA)	
		Fase Nol		Antar Fase		Fase Nol	Antar Fase
		No load	Load	No load	Load		
1	200	4	3	8	7	28,7	39,2
2	400	8	7	17	16	45,6	68,4
3	600	10	10	20	14	50,6	86,4
4	1000	20	17	38	27	83,1	114,1

Tabel.2 Data Pengujian Generator Magnet Permanen Tiga Fase Dibeban Lampu 5 Watt

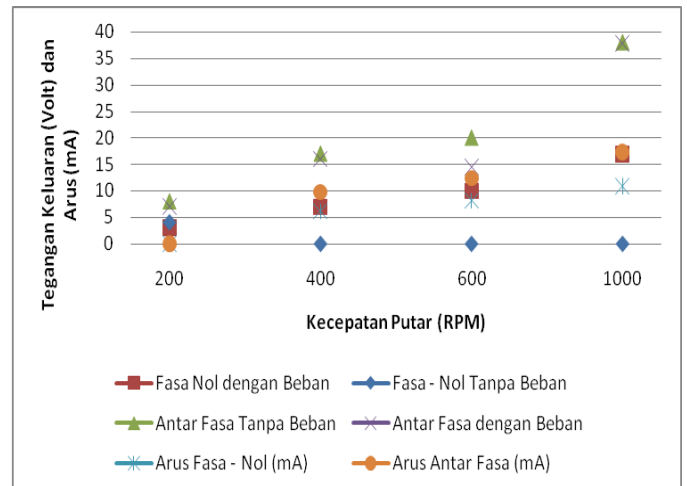
No	R P M	Tegangan (volt)				Arus (mA)	
		Fase Nol		Antar Fase		Fase Nol	Antar Fase
		No load	Load	No load	Load		
1	200	4	3	8	7	4,8	6,3
2	400	7,8	7	17	16	6,2	9,8
3	600	9,8	10	20	14,5	8,2	12,4
4	1000	19,8	17	38	37,8	11	17,4

Tabel.3 Data Pengujian Generator Magnet Permanen Tiga Fase Dibeban Fan 24 Volt

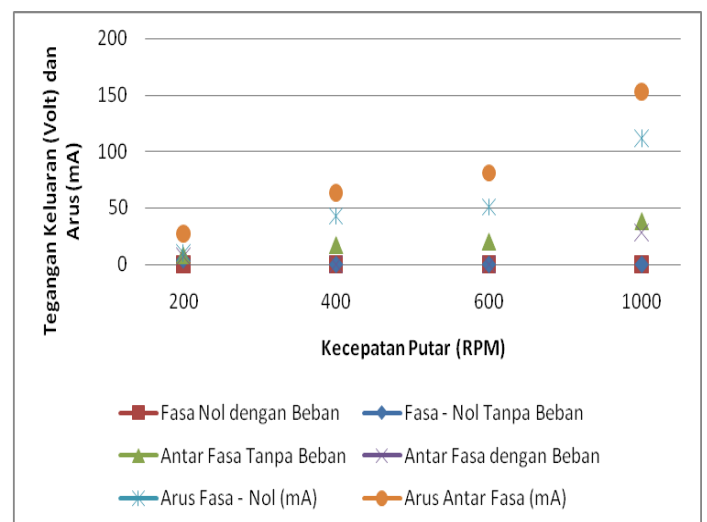
No	R P M	Tegangan (volt)				Arus (mA)	
		Fase Nol		Antar Fase		Fase Nol	Antar Fase
		No load	Load	No load	Load		
1	200	4	3,8	8	7	9,4	26,9
2	400	7,8	6,5	17	9,5	42,6	63,2
3	600	9,8	7,5	20	12,5	50,4	80,8
4	1000	19,8	17,5	38	28	112	153



Gambar 6 Grafik Fase Netral dengan Beban Lampu Sepeda Motor 24 volt.



Gambar 7 Grafik Antar fase dengan Beban Lampu 5 watt.



Gambar 8 Grafik dengan Beban Fan 24 V.

Grafik pada Gambar 6, 7, dan 8 terlihat bahwa tegangan keluaran pada fase-nol dan antar fase mengalami penurunan pada saat kondisi tanpa beban dan pada saat dibebani. Tegangan fase – nol mengalami jatuh tegangan antara 1 sampai 3 volt sedangkan tegangan antarfase mengalami jatuh tegangan 1 sampai 11 volt. Jatuh tegangan tertinggi pada saat dibebani lampu DC 24 Volt yaitu 11 volt. Jatuh tegangan sebesar 1 volt terjadi untuk semua jenis beban pada saat generator berputar dengan kecepatan 200 rpm.

RPM pengujian pada range 200–1000, tegangan tertinggi tanpa beban pada saat 1000 rpm baik fase-nol maupun antar fase, tegangan keluaran berturut adalah 19,8 volt dan 38 volt.

4. KESIMPULAN

Dari uraian hasil pengujian dan analisis maka dapat disimpulkan dua hal berikut:

- Generator magnet permanen dengan 10 kutup dan berjumlah 60 belitan dengan diameter kawat email 0,3 mm akan mengalami penurunan

tegangan dari 38 V menjadi 27 V untuk antar fase dan untuk fase nol mengalami penurunan dari 20 V menjadi 17 V pada kondisi 1000 RPM.

- b. Arus dan tegangan antar fase maupun fase dengan nol pun juga berbeda, untuk fase nol dengan 200 rpm menghasilkan arus dan tegangan 28,7 ma dan 4 v tetapi untuk antar fase dengan rpm yang sama menghasilkan arus dan tegangan 39,2 ma dan 8 v.

PUSTAKA

- Arif, N., Tejo, S., dan Karnoto, (2012). *Perancangan Generator Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis FE Fluks Aksial*. Undip, Semarang
- Brian Yulianto, 2006. Mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi yang terbarukan.
- Hariyotejo, P., dkk. (2009), *Pengembangan Generator Mini dengan Menggunakan Magnet Permanen*. Teknik Mesin Pasca Sarjana, Universitas Indonesia.
- Puji I, Nurafni, DH, 2006, *Analisis Prototipe Generator Kecepatan Rendah untuk Pembangkit Listrik Skala Kecil*, LIPI Press, Bandung.
- S.A. Papathanassiou, A.G. Kladas, M.P. Papadopoulos, (2000). *Direct-Coupled Permanent Magnet Wind Turbine Design Considerations*, NTU, Singapura.
- Suhardi, D, 2008, *Generator Listrik 100 Watt Putaran Rendah untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air dan Angin Mikro*, UMM, Malang
- Zuhal. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.