

# Pengaruh Harmonisa Penggerak Kecepatan Variabel terhadap Kinerja Motor DC Fan *Test Set*

SITI SAODAH, I MADE WIWIT, AHMAD DENI, DJAFAR SODIQ,  
BAMBANG PUGUH

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia  
Email: [siti.saodah@polban.ac.id](mailto:siti.saodah@polban.ac.id)

*Received* 29 januari 2021 | *Revised* 25 Februari 2021 | *Accepted* 21 Maret 2021

## ABSTRAK

*Fan test set merupakan salah satu peralatan penting laboratorium di Jurusan Teknik Konversi Energi yang digunakan untuk menguji karakteristik laju perpindahan fluida. Alat ini terdiri dari gandengan motor DC penguatan bebas dan kipas. Fan test set ini dapat menghasilkan aliran udara yang tetap atau berubah-ubah dengan menetapkan atau mengubah-ubah kecepatan putaran kipasnya. Kecepatan putaran kipas ini sendiri diatur melalui kecepatan putaran motor dc penggerakannya. Dalam kegiatan penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan konverter ac/dc terkendali yang dapat mengubah daya listrik arus ac menjadi daya listrik arus dc yang dapat dikendalikan. Daya listrik dc variabel yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menyuplai belitan jangkar motor dc agar kecepatan putaran kipas dan aliran udara dapat dikendalikan. Perangkat ini dapat menghasilkan tegangan keluaran dalam rentang 10 – 100 V dc yang mampu memutar motor dc dari 203,6 – 1849 rpm dan menghasilkan harmonisa yang sebesar 6,7% saat vibrasi motor mencapai 2,8 mm/s.*

**Kata kunci:** beban nol, fan test set, harmonisa, konverter ac/dc

## ABSTRACT

*Fan test set is one of the important laboratory equipment in the Department of Energy Conversion Engineering which is used to test the characteristics of the fluid transfer rate. It consists of a coupled free-amplifying DC motor and fan. This fan test set can produce a fixed or changing airflow by setting or varying the fan speed. The rotational speed of the fan itself is regulated through the rotational speed of the dc motor driving it. In this research activity, the design and manufacture of a controlled ac/dc converter that can convert ac into controllable dc power has been carried out. The resulting variable dc power is then used to supply the DC motor anchor winding so that the fan rotation speed and air flow can be controlled. This device can produce an output voltage in the range of 10 - 100 V dc which is capable of rotating a dc motor from 203.6 - 1849 rpm and producing a harmonic of 6.7% when the motor vibration reaches 2.8 mm / s.*

**Keywords:** no load, fan test set, harmonics, ac/dc converter

## 1. PENDAHULUAN

Laboratorium Jurusan Teknik Konversi Energi memiliki berbagai macam peralatan untuk mendukung kegiatan praktikum mahasiswa dalam rangka mengasah keterampilan psikomotoriknya serta memperdalam pemahaman pengetahuannya akan materi-materi yang terkait dalam bidang konversi energi. Salah satu diantara peralatan tersebut adalah *fan test set* yang merupakan mesin pengujian fluida, khususnya fluida udara. Peralatan ini digunakan untuk melakukan percobaan mencari karakteristik laju perpindahan fluida udara serta pengukuran terhadap rugi-rugi dan karakteristik kipas angin. Percobaan ini memerlukan dua kondisi berbeda yaitu kecepatan kipas angin tetap/konstan dan kecepatan kipas angin yang berubah-ubah untuk menghasilkan aliran fluida udara tetap/konstan dan berubah-ubah.

Kipas angin pada *fan test set* ini diputar atau digerakkan oleh sebuah motor dc bertipe penguat/eksitasi terpisah dengan kapasitas daya 3 kW dan tegangan kerja 220 V. Motor DC tipe penguatan bebas digunakan karena mudah dalam hal pengendalian kecepatan motor. Pengendalian dilakukan dengan pengaturan tegangan nominal, semakin kecil tegangan nominal maka kecepatan motor semakin menurun. Kecepatan putaran kipas untuk menghasilkan aliran fluida tetap atau berubah-ubah oleh karenanya akan terkait dengan kecepatan putaran motor dc penggerakannya. Kecepatan putaran motor dc penguat terpisah secara prinsip dapat diatur melalui pengaturan tegangan belitan jangkar dengan arus belitan eksitasi konstan atau sebaliknya (Theraja, 2013) (Robak, 2016) (Saidur, 2011) (Claiton, 2019) (Gray, 2013). Metode pengaturan kecepatan putaran motor dc dengan pengaturan tegangan jangkar memiliki keuntungan pada aspek rentang/jangkauan pengaturan yang lebih lebar (Theraja, 2013) (Fitzgerald, 2013). Idealnya tegangan yang dikenakan pada belitan jangkar motor merupakan tegangan dc murni (memiliki bentuk gelombang rata/datar tanpa riak/harmonisa) serta memiliki magnituda/besar yang dapat diatur-aturnya. Karakteristik tegangan jangkar yang seperti ini dapat diperoleh melalui penggunaan sumber tegangan dc variabel yang telah tersedia dari utilitas. Namun kondisi ini sangat jarang ditemui karena umumnya utilitas daya listrik saat ini lebih banyak menyediakan sumber tegangan ac tiga-fasa atau satu-fasa (Amir, 2017).

Oleh karena itu maka metode yang dapat digunakan untuk memperoleh tegangan dc yang diperlukan adalah melalui penggunaan konverter daya ac/dc yang lazim dikenal juga sebagai penyearah. Ada dua jenis penyearah yang umum digunakan yaitu penyearah tak-terkendali dengan saklar statis dioda serta penyearah terkendali dengan saklar statis thyristor. Untuk penyearah tak-terkendali, besarnya tegangan dc keluaran yang diperoleh tidak dapat dikendalikan melalui proses penyaklaran. Oleh karena itu jika diinginkan tegangan dc keluaran dengan besar yang dapat diatur-aturnya maka perlu penggunaan autotransformator untuk menjembatani sisi masukan penyearah dan sumber tegangan ac utilitas. Lalu untuk memperoleh bentuk gelombang tegangan dc keluaran yang mendekati bentuk gelombang tegangan dc murni maka topologi penyearah tak-terkendali yang digunakan dapat berupa penyearah tak-terkendali multifasa (tiga-fasa atau lebih) atau penyearah tak-terkendali satu-fasa dengan kapasitor perata tegangan (Rashid, 2011) Metode lainnya adalah menggunakan penyearah terkendali. Besarnya tegangan dc keluaran yang dihasilkan oleh penyearah ini dapat dikendalikan melalui pengendalian sudut penyalaan (*phase angle control*) saklar statis thyristor yang digunakan sehingga penggunaan autotransformator dapat dihindari. Namun, secara umum bentuk gelombang tegangan dc keluaran yang akan dihasilkan tidak dapat mendekati bentuk gelombang tegangan dc murni. Dengan kata lain, tegangan dc keluaran yang dihasilkan merupakan tegangan dc yang mengandung harmonisa. Lebih jauh, pengendalian sudut penyalaan saklar statis thyristor penyearah ini juga dapat berakibat pada

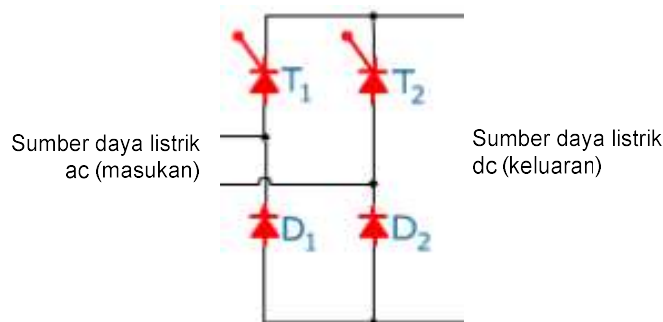
terbangkitkannya arus di sisi sumber ac utilitas yang memiliki bentuk non-sinusoidal yang banyak mengandung harmonisa (Mahar, 2011).

Harmonisa tegangan dan arus dapat mengakibatkan dampak buruk terhadap sistem kelistrikan dan peralatan-peralatan didalamnya (Ojaghi, 2011) (Patel, A, 2009) (Pinyol, 2011). Pengaruh harmonisa terhadap peralatan listrik diantaranya mencakup pengaruh terhadap kapasitor, transformator serta motor tiga fasa (Tony, 2015) (Amir, 2017) (Zulkarnaini, 2013). Harmonisa dapat mempengaruhi unjuk kerja kapasitor sebagai akibat berkurangnya nilai reaktansi kapasitor pada frekuensi tinggi. Adapun pada motor listrik, harmonisa akan berakibat pada meningkatnya rugi-rugi belitan motor yang berujung pada menurunnya efisiensi motor listrik. Sementara itu, harmonisa pada transformator akan berakibat pada meningkatnya rugi-rugi inti dan rugi-rugi belitan transformator yang bermuara pada menurunnya efisiensi transformator. Pembahasan dalam penelitian ini adalah melihat seberapa besar pengaruh harmonik terhadap unjuk kerja motor dc yang disuplai oleh sumber daya listrik tidak ideal, tetapi tidak membahas tentang bagaimana cara mengeliminasi/mereduksi harmonik tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

Konverter ac/dc, dikenal juga sebagai penyearah, merupakan perangkat daya listrik yang digunakan untuk mengubah daya listrik ac menjadi daya listrik dc. Penyearah ini umum digunakan sebagai sumber daya dc untuk memenuhi kebutuhan daya berbagai peralatan yang bekerja pada besaran listrik dc seperti *battery charger*, motor listrik dc, lampu *led* dan lain sebagainya. Secara umum terdapat dua jenis penyearah yaitu penyearah tak-terkendali dengan saklar statis dioda serta penyearah terkendali dengan saklar statis thyristor. Untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan daya listrik dc dengan tegangan berubah-ubah/variabel, misalnya untuk penggerak motor dc, jenis penyearah yang lebih umum digunakan adalah penyearah terkendali. Pada penyearah terkendali ini, tegangan dc keluaran variabel dapat diperoleh melalui pengaturan sudut penyalaan (*phase angle control*) saklar statis thyristornya (Rashid, 2011) (Mohan, 2019) (Vladimir, 2017).

Jika utilitas yang tersedia adalah sumber ac satu-fasa maka jenis penyearah terkendali yang banyak digunakan adalah *single phase semiconverter* yang memiliki struktur jembatan penuh (*bridge*) dengan dua buah saklar statis diode (D1 dan D2) serta dua buah saklar statis thyristor (T1 dan T2) seperti ditunjukkan oleh Gambar 1 di bawah ini.



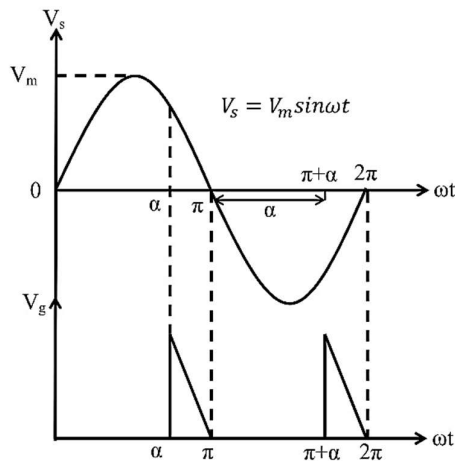
Gambar 1. Penyearah Terkendali Jenis *Single Phase Semiconverter* (Rashid, 2011)

Kedua buah saklar statis thyristor penyearah ini dapat diatur sudut penyalannya secara terpisah (masing-masing) atau secara bersamaan. Jika sudut penyalannya diatur secara bersamaan (jenis yang lazim ditemui) maka tegangan dc keluaran yang dihasilkan akan memiliki nilai rata-rata ( $V_{dc}$ ) dan efektif ( $V_{rms}$ ) yang dirumuskan oleh persamaan berikut ini:

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (1)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d\omega t} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} (\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2})} \quad (2)$$

Lebih lanjut, Gambar 2 di bawah ini menunjukkan gelombang tegangan ac sinusoidal sumber dan gelombang tegangan dc keluaran yang dihasilkan oleh penyearah terkendali *single phase semiconverter* pada Gambar 1.



**Gambar 2. Gelombang Tegangan AC Sinusoidal Sumber dan Gelombang Tegangan Dc Keluaran Penyearah Terkendali *Single Phase Semiconverter* (Rashid, 2011)**

Dapat dilihat dari Gambar 2 di atas bahwa bentuk gelombang tegangan dc keluaran yang dihasilkan tidak memiliki bentuk gelombang tegangan dc murni. Gelombang tegangan dc keluaran seperti ini memiliki kandungan harmonisa yang cukup tinggi, yang tergantung pada sudut penyalan thyristornya. Motor dc yang disuplai dengan tegangan dc yang memiliki kandungan harmonisa seperti ini tentu akan memiliki unjuk kerja berbeda dengan motor dc yang disuplai dengan tegangan dc murni tanpa harmonisa. Lebih jauh, proses penyaklaran thyristor pada penyearah terkendali *single phase semiconverter* ini juga dapat berakibat pada terdistorsinya gelombang arus sumber menjadi gelombang arus non sinusoidal yang mengandung banyak harmonisa. Dari uraian latar belakang sebelumnya, telah disebutkan bahwa secara umum harmonisa tegangan dan arus dapat mengakibatkan dampak buruk terhadap sistem kelistrikan dan peralatan-peralatan didalamnya.

Secara umum kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan dalam dua tahapan besar. Pertama adalah tahap perancangan dan pembuatan unit penyearah terkendali *single phase semiconverter* yang secara garis besar dapat dibagi menjadi dua komponen utama yaitu

rangkaian daya penyearah terkendali *single phase semiconverter* dengan dua buah saklar statis dioda dan dua buah saklar statis thyristor serta rangkaian kendali sudut penyalaan untuk kedua saklar statis thyristornya. Tahapan kedua adalah uji coba laboratorium dari penyearah terkendali *single phase semiconverter* yang telah dibuat. Uji coba laboratorium ini dilakukan dengan menggunakan penyearah terkendali *single phase semiconverter* untuk mensuplai tegangan dc belitan jangkar dari sebuah motor dc penguatan bebas sebagaimana ditunjukkan oleh blok diagram Gambar 3. Pada uji coba laboratorium ini akan dilakukan pengukuran besaran tegangan dan arus sisi sumber ac, tegangan dan arus sisi keluaran dc dan sudut penyalaan thyristor dari penyearah terkendali *single phase semiconverter* serta putaran motor dc dalam kondisi tanpa beban dan berbeban. Pengukuran tegangan dan arus baik di sisi sumber ac maupun sisi keluaran dc ini akan meliputi nilai rata-rata dan efektif serta bentuk gelombang dan harmonisanya. Hasil pengukuran diverifikasi dengan menggunakan Persamaan 1. Analisis pengaruh harmonisa terhadap terhadap unjuk kerja motor dc yang digerakkan oleh penyearah terkendali *single phase semiconverter* dilakukan berdasarkan data-data pengukuran tersebut diatas. Analisis pertama melihat hubungan antara putaran dengan tegangan jangkar yang merupakan output dari semiconverter.

$$N = \frac{V_m - I_a \cdot R_a}{K \cdot \Phi} \quad (3)$$

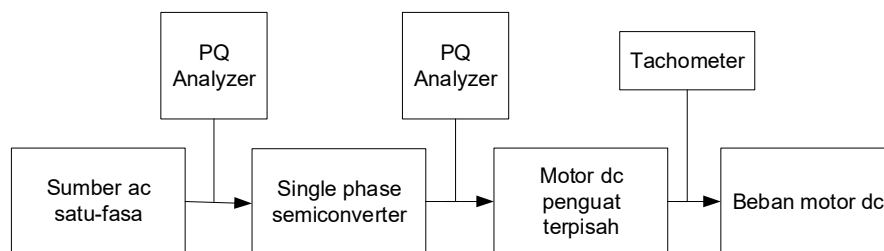
Dari Persamaan 3 dapat dilihat jika fluks konstan maka putaran dengan tegangan jangkar berbanding lurus. Analisis selanjutnya adalah perhitungan efisiensi motor dengan dua kondisi yaitu motor yang disuplai oleh dc murni dan yang disuplai konverter.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{input}} \quad (4)$$

$$P_{out} = T \cdot \omega = T \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \right) \quad (5)$$

$$P_{input} = V_{dc} \cdot I_{dc} \quad (6)$$

Tahapan lebih rinci dari kegiatan penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.



**Gambar 3. Blok Diagram Pengujian Laboratorium**

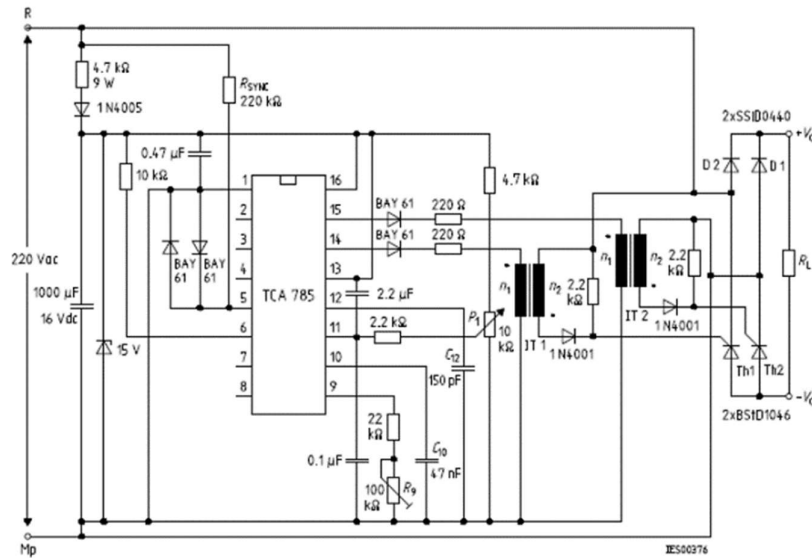
Gambar 3 menjelaskan tentang tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan. Pengujian dilakukan disisi input dan disisi output. Pengukuran disisi input menghasilkan parameter arus, tegangan dan harmonisa. Begitu juga pengukuran disisi input akan menghasilkan parameter

arus, tegangan dan harmonisa. Selain itu dilakukan pengukuran putaran motor menggunakan alat ukur tachometer.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Perancangan dan pembuatan alat

Unit penyearah terkendali *single phase semiconverter* yang dibuat memiliki topologi yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Komponen utamanya adalah dua buah saklar statis dioda (D1 dan D2) serta dua buah saklar statis thyristor ( $T_1$  dan  $T_2$ ). Penyearah terkendali ini bekerja pada tegangan input ac satu-fasa 220 V, 50 Hz. Karena beban motor dc yang disuplai memiliki kapasitas 3 kW maka saklar statis dioda dan thyristor yang dipilih dan digunakan memiliki spesifikasi 400 V, 20 A. Kendali sudut penyalaan ( $\alpha$ ) saklar statis thyristor direalisasikan melalui rangkaian analog dengan IC TCA 785 yang mampu menghasilkan pulsa penyalaan simetris yaitu  $\alpha$  pada interval  $0 - \alpha$  dan  $(\alpha + \alpha)$  pada interval  $\alpha - 2\alpha$ .



Gambar 4. Rangkaian Unit Penyearah Terkendali



Gambar 5. Rangkaian Pengendali Sudut Penyalaan Thyristor Unit Penyearah Terkendali

### 3.2 Pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik penyearah terkendali yang telah dibuat. Rangkaian pengujian laboratorium ditunjukkan oleh Gambar 5, namun dengan tidak menggunakan beban motor. Dengan kata lain pengujian yang telah dilaksanakan adalah pengujian beban nol. Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran besaran dan bentuk gelombang tegangan dan arus sisi sumber ac, tegangan dan arus sisi keluaran dc dan sudut penyalan thyristor dari penyearah terkendali serta putaran motor dc dalam kondisi tanpa beban. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan proses pengujian beban nol yang telah dijalankan.



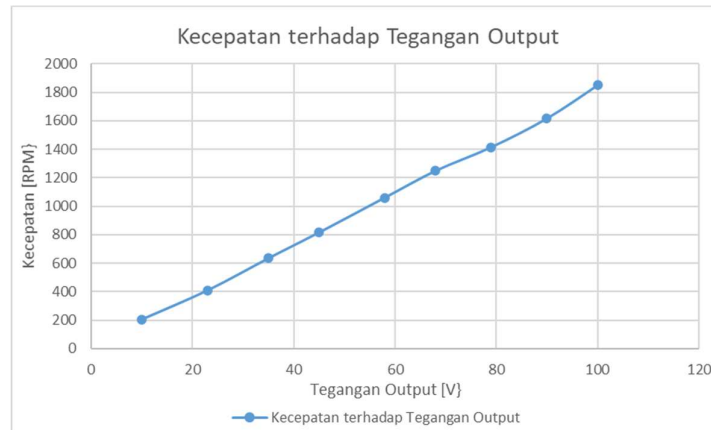
**Gambar 6. Uji Beban Penyearah Terkendali sebagai Penggerak Motor DC**

Beberapa data yang diperoleh dari pengujian beban nol ini ditampilkan dalam Tabel 1 di bawah. Data dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa tegangan dc keluaran variabel yang dihasilkan penyearah terkendali juga dapat digunakan untuk mengatur putaran motor dc dalam rentang yang cukup lebar yaitu 203,6 rpm sampai dengan 1849 rpm.

**Tabel 1. Nilai  $\alpha$  Berdasarkan Nilai  $V_{rms}$  Output**

No	Kecepatan	$V_{rms,out}$ (V)	$\alpha$ (°)	$V_{dc,out}$ (V)
1	203.6	16,6	160,7	5,6
2	408.5	28,6	154,4	9,7
3	633.7	42,7	147,2	15,8
4	815.2	56,4	150,3	13,0
5	1060	70	133,4	30,9
6	1248	83,1	126,8	39,7
7	1414	98,8	118,9	51,2
8	1616	109,5	113,4	59,7

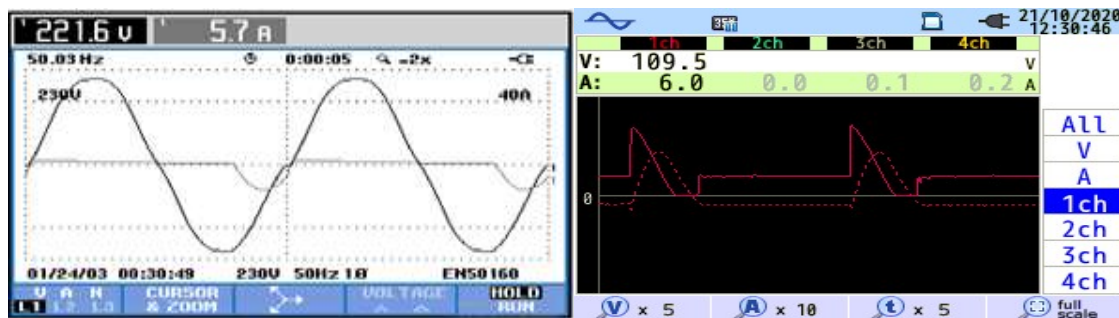
Seperti ditunjukkan oleh Gambar 7, semakin besar nilai tegangan dc keluaran penyearah terkendali akan menghasilkan putaran motor dc yang semakin tinggi. Perubahan nilai tegangan dc keluaran penyearah berelasi secara proporsional terhadap perubahan putaran motor dc.



**Gambar 7. Grafik Perubahan Nilai Tegangan DC Keluaran Penyearah Terkendali terhadap Putaran Motor DC**

### 3.3 Karakteristik Keluaran Penyearah Satu Fasa Terkendali

Tegangan sumber untuk Motor DC yang bersumber dari penyearah satu fasa ini diatur berdasarkan sudut penyalaan dari komponen thyristor. Rangkaian control penyalaan sudut thyristor ini menggunakan rangkaian control dengan IC 785. IC ini adalah IC *phase control* yang dimaksudkan untuk mengendalikan thyristor, triac dan transistor. Pulsa pemicu menggunakan IC ini dapat diatur dalam sudut fase antara  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$ . Sumber tegangan untuk rangkaian penyearah satu fasa ini adalah sebesar 220 volt atau 311,127 untuk besar tegangan *root mean square* dengan frekuensi 50Hz. Bentuk gelombang input ini ditampilkan menggunakan PQ analyzer. Bentuk gelombang input dan output dapat dilihat pada Gambar 8



**Gambar 8. Gelombang Input dan Output**

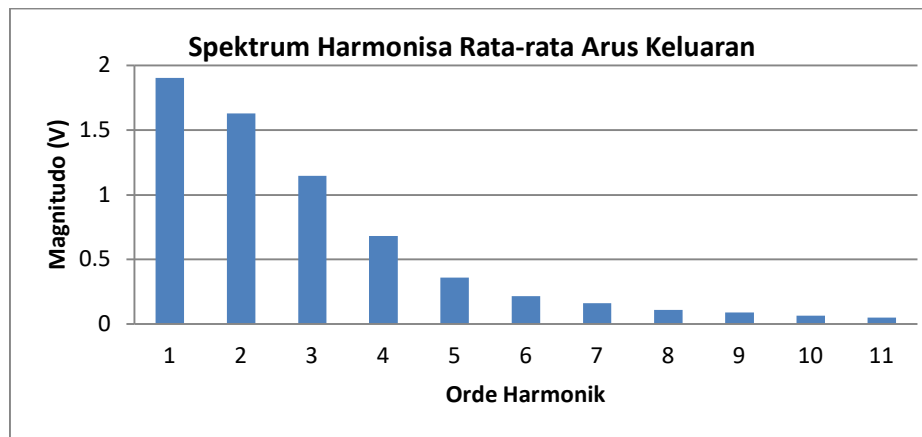
Motor DC menghasilkan tegangan  $E_a$  yang membuat bentuk gelombang juga naik pada saat gelombang tegangan muncul setelah terdapat celah dengan amplitude sebesar 0 V. Gambar 9 menunjukkan bentuk gelombang untuk data ke-8 yaitu Ketika tegangan sebesar 109,5 Volt dan arus sebesar 6 Ampere. Tegangan keluaran dari rangkaian penyearah satu fasa semikonverter bergantung dengan nilai sudut penyalaan thyristor. Thyristor mampu bekerja dalam keadaan *forward bias* apabila kaki *gate* pada thyristor diberi tegangan pemicu. Tegangan pemicu ini pada rangkain penyearah satu fasa semikonverter dikeluarkan berdasarkan sudut yang ditentukan atau biasa disebut  $\alpha$ .



Motor DC yang digunakan pada mesin *fan test* ini memiliki spesifikasi kecepatan maksimum hingga 4000 rpm, namun pada pengujian pada kecepatan 1618 rpm arus beban sudah mencapai 6,1 ampere yang sudah mendekati nilai *rated current* motor DC sebesar 8,1 ampere. Pada pengujian ini dihentikan sampai arus tersebut karena kondisi motor yang sudah bergetar juga dan sudah mencapai 2 mm/s yang tertera pada vibrasi meter.

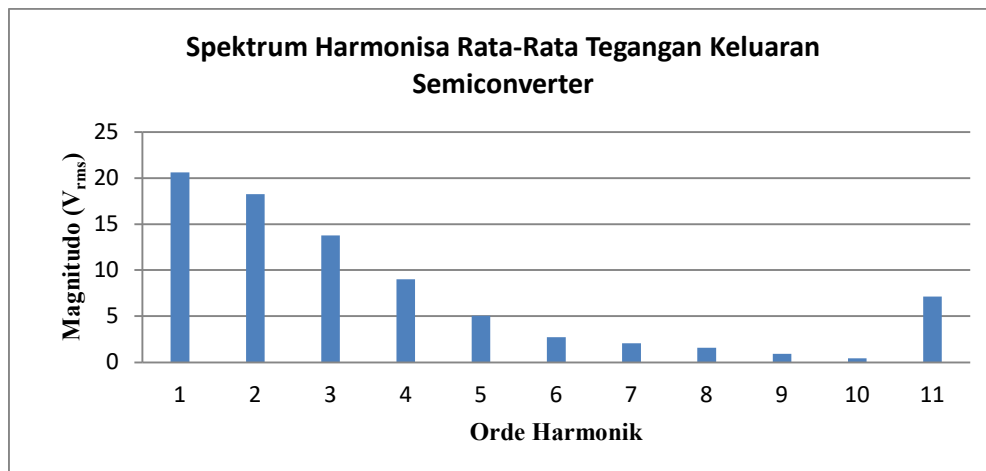
### 3.4 Pengaruh Harmonisa Arus terhadap Torka dan DayaKeluaran

Dari hasil uji coba di lapangan, besarnya torka yang didapatkan sebanding dengan besarnya arus yang melewati jangkar. Vibrasi muncul karena disebabkan oleh perubahan arus beban yang memasok belitan jangkar. Adanya harmonisa dalam arus DC berakibat kepada beberapa permasalahan dalam kinerja motor DC.



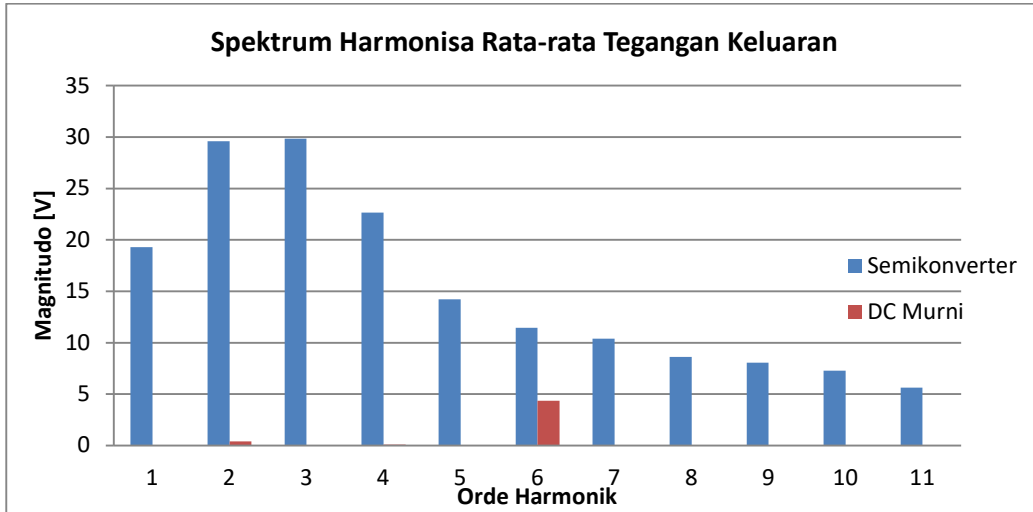
**Gambar 9. Spektum Harmonisa Arus dari Penyearah Satu Fasa**

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa harmonisa arus muncul dari harmonisa orde 1 sampai orde 11. Harmonisa orde 1 merupakan nilai fundamentalnya. Pada putaran motor 600 sampai 1800 rpm, terlihat nilai harmonisa yang cukup besar pada orde kedua, ketiga dan keempat. Pada orde kelima sampai kesebelas nilai harmonisa mulai turun.



**Gambar 10. Spektum Harmonisa Tegangan dari Semiconverter**

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa harmonisa tegangan muncul dari harmonisa orde 1 sampai orde 11. Harmonisa orde 1 merupakan nilai fundamentalnya. Pada putaran motor rendah, harmonisa akan selalu muncul pada setiap ordenya. Sedangkan pada putaran tinggi, mendekati putaran nominalnya, nilai harmonisa menurun pada setiap ordenya.



**Gambar 11. Spektum Harmonisa Tegangan dari DC Murni**

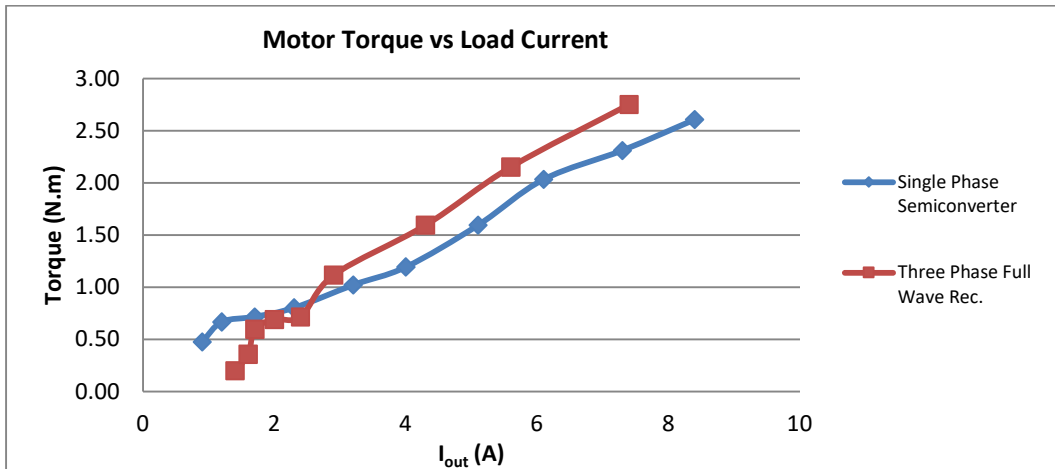
Untuk sumber dc murni, harmonisa tegangan muncul pada orde ke enam. Sedangkan pada orde yang lainnya, nilai harmonisa relatif kecil. Semakin besar putaran maka nilai harmonisa tegangan semakin besar pula. Gambar 11 memperlihatkan perbandingan antara harmonisa tegangan keluaran yang ditimbulkan oleh sumber daya listrik yang berasal dari semiconverter dan dc murni. Sumber dc murni menghasilkan nilai harmonisa yang kecil dibandingkan dengan semiconverter. Selain itu, terlihat bahwa harmonisa dengan sumber dc murni muncul pada orde ke enam, sedangkan pada orde lainnya relatif kecil. Sementara untuk semiconverter harmonisa muncul pada setiap ordenya.

**Tabel 2. Nilai Kecepatan, Torka, Efisiensi dan Harmonisa dari Motor**

Data	Putaran		Torka		Kecepatan Sudut		Tegangan Motor DC		Arus Motor DC		Efisiensi		Harmonisa di sisi keluaran			
	Semikonverter	DC Murni	Semikonverter	DC Murni	Semikonverter	DC Murni	Semikonverter	DC Murni	Semikonverter	DC Murni	Semikonverter	DC Murni	Semikonverter	Pure DC		
	[rpm]		[N.m]		[rad/s]		[V]		[A]		[%]		vTHD [%]	iTHD [%]	vTHD [%]	iTHD [%]
1	187,5	244,3	0,48	0,199	19,63	25,58	16,6	13,8	0,9	1,4	62,78%	26,40%	468,7	149,2	0	0
2	380,2	420,7	0,67	0,359	39,81	44,06	28,6	25,5	1,2	1,6	77,59%	38,75%	466,4	154,8	0	0
3	598,5	624,4	0,72	0,598	62,67	65,39	42,7	34,8	1,7	1,7	61,87%	66,11%	425,5	144,8	0	0
4	801,7	811,1	0,8	0,691	83,95	84,94	56,4	45,4	2,3	2	51,94%	64,65%	369,2	134,1	0	0
5	994,7	1017	1,02	0,718	104,16	106,5	70	57,8	3,2	2,4	47,54%	55,10%	324,4	123,3	0	0
6	1206	1465	1,19	1,117	126,29	153,41	83,1	83,7	4	2,9	45,38%	70,57%	288,2	114,9	0	0
7	1436	1832	1,6	1,595	150,38	191,85	98,8	105,5	5,1	4,3	47,62%	67,45%	249,9	104,8	0	0
8	1618	2119	2,04	2,153	169,44	221,9	109,5	122,2	6,1	5,6	51,62%	69,82%	221,3	97,4	0	0
9	1832	2432	2,31	2,752	191,85	254,68	122,2	141,1	7,3	7,4	49,72%	67,11%	190,8	89,3	0	0
10	2014		2,61		210,91		132,1		8,4		49,58%		164,8	80,8		

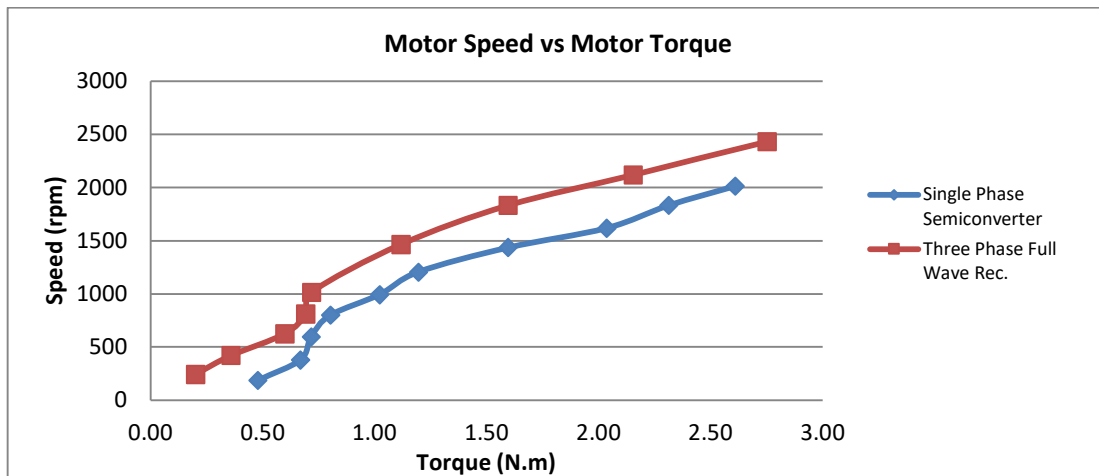
Tabel 2 menunjukkan bahwa dengan kenaikan nilai putaran akan menyebabkan kenaikan nilai torka. Tetapi sebaliknya dengan nilai harmonisa, torka semakin besar maka harmonisa semakin kecil.

Jika kita membandingkan torka yang dihasilkan oleh penyearah satu fasa dengan penyearah gelombang penuh tiga fasa (dc murni), maka kita dapat melihat torka yang dihasilkan oleh penyearah gelombang penuh tiga fasa lebih tinggi. Kurva hubungan torka terhadap arus beban ditunjukkan pada Gambar 12.



**Gambar 12. Kurva Hubungan Torka Terhadap Arus Beban**

Selain torka, kecepatan putaran poros yang dihasilkan oleh penyearah gelombang penuh tiga fasa (dc murni) lebih besar dari penyearah satu fasa, seperti yang ditunjukkan Gambar 13. Hal ini terjadi akibat dari fluksi balik pada penyearah gelombang penuh tiga fasa yang sangat kecil dibandingkan dengan penyearah satu fasa.



**Gambar 13. Kurva Hubungan Torka Terhadap Kecepatan**

Berdasarkan pada grafik Gambar 13 atas kita dapat mengetahui bahwa penyearah gelombang penuh tiga fasa (dc murni) menghasilkan daya keluaran mekanik yang lebih tinggi dibandingkan penyearah satu fasa.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh harmonis terhadap vibrasi dan torka pada mesin dc *fan test*, dapat disimpulkan bahwa penyearah semikonverter satu fasa yang diaplikasikan pada motor dc bebas memiliki efisiensi penyearahan sebesar 40%, harmonisa mempengaruhi torka motor dengan adanya vibrasi yang ditimbulkan, torka yang dihasilkan adalah fungsi arus beban sehingga bentuk gelombang dari torka yang dihasilkan akan mengikuti bentuk gelombang arus beban. Selain itu, adanya harmonisa mengakibatkan efisiensi menjadi turun karena harmonisa berpengaruh terhadap faktor daya yang dihasilkan oleh semikonverter. Semakin besar PF maka semakin daya aktif yang terserap oleh motor dc. Kinerja motor *dc seri* tidak mampu mencapai *rated power*-nya hal ini dapat dilihat pada pengujian dengan kecepatan 1618 rpm arus *ouput* sudah mencapai 6,1 ampere. *Name plate* dari motor ini menunjukkan *rated current* 8,1 ampere, kinerja dari motor juga sudah dipengaruhi oleh kondisi motor yang sudah berbeban dengan fan. Harmonisa yang timbul pada mesin ini adalah karena komponen *non linier* pada penyearah satu fasa yaitu dioda dan thyristor. Harmonisa yang dihasilkan sebesar 6,7 %, diatas 5% untuk *bus voltage* diantara 1 KV dan 69 KV. Nilai harmonisa ini didapat pada pengujian motor ketika kecepatan 1618 rpm dan vibrasi motor mencapai 2,8 mm/s.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Amir, M. (2017). Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Akibat Penggunaan Variabel Speed Drive pada Motor Induksi Tiga Fasa. *Jurnal Sinusoida*, XIX(20), 20 - 29.
- Claiton, M. (2019). *Electrical Machine Drive : Fundamental Basic and Practice*. New York: CRC Press.
- Fitzgerald, C. K. (2013). *Electric Machinery*. New York: McGraw-Hill.
- Gray, A. (2013). *Electrical Machine Design*. New York: Mc Graw Hill Book Company Inc.
- Mahar. (2011). Harmonic Analysis of AC-DC Topologies and Their Impacts on Power System. *Mehan University Research Journal of Engineering & Tevhnology*, 1(30).
- Mohan, T. M. (2019). *Power Electronics Converters Applications And Design 3Rd Edition*. Wiley.
- Ojaghi, D. T. (2011). Analysis of Harmonics and Harmonics Mitigation Methods in Distributions System. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 1(5), 996 - 1005.
- Patel, A. R. P. (2009). Use of PWM Techniques for Power Quality Improvement. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(4).
- Pinyol, R. (2011). *Harmonics : Cause, Effects and Minimization*. Barcelona: Salicru.
- Rashid, M. (2011). *Power Electronic : Circuits, Devices, and Applications (3nd ed)*. New Jersey: Printice Hall.
- Robak, a. e. (2016). *Variable Speed Drive (VSD) - Toward Modern Industry and Electricity Power System*. Przegląd Elektrotechniczny.
- Saidur, a. e. (2011). *Aplications of Variable Speed Drive in Electrical Motor Energy Savings*. Elsevier : Renewable and Sustainable Energy Reviews.

- Theraja. (2013). *A Textbook of Electrical Technology in SI Units Volume II AC and DC Machines*. S. Chand.
- Tony, K. (2015). Harmonisa Akibat Variable Speed Drive Lift. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7(1), 160 - 166.
- Vladimir, G. (2017). *Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering*. New York: CRC Press.
- Zulkarnaini. (2013). Pengaruh Harmonik Akibat Penggunaan Variabel Speed Drive Terhadap Piranti Bridge Crane PLTU Teluk Sirih (2X112MW). *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 2(1), 53 - 62.