

ANALISIS PENGATURAN ARUS ROTOR PADA MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN TIGA FASA MENGGUNAKAN *BUCK* KONVERTER

Azan Rahmadian Putra^{*)}, Tedjo Sukmadi, and Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Soedarto, S.H., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

**)E-mail: azanrputra@gmail.com*

Abstrak

Salah satu pengatur kecepatan pada motor induksi rotor belitan tiga fasa yakni menghubungkan resistor luar tiga fasa pada slip-ring rotornya. Pada metode ini secara teori akan memberikan torsi awal yang tinggi dan arus awal yang rendah. Kemudian resistor tiga fasa ini dapat digantikan dengan satu resistor yang bernilai tetap. Arus bolak balik dari slip-ring rotor motor kemudian disearahkan oleh penyearah tiga fasa dan dihubungkan pada DC-DC konverter. Proses pensaklaran DC-DC konverter menggunakan metode Zero Voltage Switching (ZVS). Dalam metode ZVS, proses pensaklaran dilakukan ketika tegangan antara Drain dan Source pada MOSFET bernilai nol. Penelitian ini bertujuan merancang suatu DC-DC konverter dengan sumber tegangan dari terminal rotor pada motor induksi tiga fasa rotor belitan. DC-DC converter yang dirancang menggunakan mode pensaklaran zero voltage switching (ZVS) dengan komponen induktor dan kapasitor yang diparalel dengan saklar. MOSFET IRF460 digunakan sebagai komponen pensaklaran dan IC TL494 sebagai pengontrol pemicuan MOSFET. Hasil pengukuran pada DC-DC konverter yang dibuat diketahui dapat mengalirkan arus saat mode ZVS terjadi pada MOSFET. Mode ZVS juga dapat merubah kecepatan rotor pada motor induksi tiga fasa rotor lilit tersebut. Efisiensi DC-DC konverter tertinggi sebesar 45,9 % dengan beban resistif 1,4 Ω dan duty cycle 90% dan variasi tegangan stator 110 V.

Kata Kunci: Motor Induksi Rotor Belitan, DC-DC konverter, ZVS

Abstract

One of the speed control for three-phase induction motor wound rotor type is connecting external resistors in three-phase on a slip-ring rotor. These method theoretically will give high starting torque and low starting current. Then, the three-phase resistor can be replaced with a fixed-value resistor. Alternating current from slip-ring rotor is converted to DC by three-phase rectifier and then connected to the DC-DC converter. The Switching on DC-DC converter is conducted by using Zero Voltage Switching (ZVS) method. At ZVS mode, the switching process was performed when the voltage between MOSFET Drain and Source is zero. The research was aimed to design a DC-DC converter with a voltage source taken from the rotor terminals on three-phase induction motor wound rotor. DC-DC converters were designed using by Zero Voltage Switching (ZVS). IRF460 MOSFET was used as switching components and IC TL494 as triggering MOSFET controller. The results of measurements on the DC-DC converters were obtained to know the performed of zero voltage switching current in the MOSFET. The ZVS also can change the speed of the rotor on a three phase induction motor rotor of the convolution. The highest efficiency DC-DC converter was 45.9% at 1.4 Ω resistive load and cycle 90% duty cycle and 110 volt stator voltage.

Keywords: Induction motor wound rotor, DC-DC converters, Zero Voltage Switching

1. Pendahuluan

Salah satu pengatur kecepatan pada motor induksi rotor belitan tiga fasa yakni menghubungkan resistor luar tiga fasa pada slip-ring rotornya[2]. Dengan cara ini akan didapatkan torsi awal yang tinggi dan arus awal yang rendah. Tetapi cara ini tidak efisien bila terjadi ketidakseimbangan tegangan dan arus karena resistansi tiap fasanya tidak seimbang[4]. Untuk mengantisipasi hal

tersebut, resistor tiga fasa ini dapat digantikan dengan satu resistor yang bernilai tetap[1]. Daya slip motor kemudian disearahkan oleh penyearah tiga fasa dan dihubungkan pada DC-DC konverter melalui pensaklaran. Proses pensaklaran DC-DC konverter menggunakan metode Zero Voltage Switching (ZVS). Dengan metode ZVS, proses pensaklaran dapat dilakukan ketika tegangan pada Drain menuju Source pada MOSFET bernilai nol[3]. Dengan menggunakan metode ZVS diharapkan mampu

mengurangi rugi-rugi pensaklaran yang terjadi pada MOSFET[5].

2. Metode

Metode penelitian terdiri dari spesifikasi motor induksi tiga fasa rotor lilit dan perancangan modul *zvs buck* konverter. Modul *zvs buck* konverter yang dirancang terdiri dari dua blok utama, yaitu blok rangkaian daya dan blok rangkaian kontrol pemucuan. Gambar 1 memperlihatkan blok diagram perancangan perangkat keras.



Gambar 1. Blok diagram perancangan alat

2.1. Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa

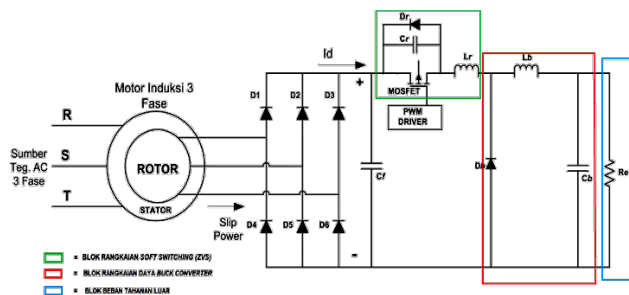
Motor induksi tiga fasa yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa rotor lilit 2HP merk Hampden, model REM 1C.

Tabel 1. Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Lilit Hampden

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Model	REM 1C
Nomor Seri	J-31684
Rating Tegangan Jangkar	220/380 V
Rating Arus Jangkar	8,3/4,8 A
Daya Kuda	2 HP
Rating Kecepatan	1500 Rpm
Rangka	215
Tipe	A000
Frekuensi	50 Hz
Kelas Isolasi	H
Temperatur Maksimal	40° C

2.2. Perancangan Spesifikasi Mode Pensaklaran Zero Voltage Switching

Tegangan sumber DC-DC konverterdidapat dari hasil penyearahan tegangan dari terminal rotor pada motor induksi tiga fasa.



Gambar 2. Rangkaian ZVS Buck Konverter

Frekuensi pensaklaran dan frekuensi resonansi ditentukan berdasarkan Persamaan1 berikut :

$$f_0 \geq f_s \quad (1)$$

Pada penelitian ini frekuensi pensaklaran (f_s) yang diinginkan adalah sebesar 25 kHz– 90 kHz, dan ditetapkan frekuensi resonansi (f_0) sebesar 110 kHz.

Kemudian menentukan nilai C_r dan L_r berdasarkan Persamaan 2 berikut :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (2)$$

Penentuan nilai C_r disesuaikan dengan kapasitor yang ada di pasaran dan dipilih nilai sebesar 10 nF. Dengan mengetahui nilai frekuensi resonansi dan C_r maka dapat dihitung nilai komponen L_r menggunakan Persamaan 2.

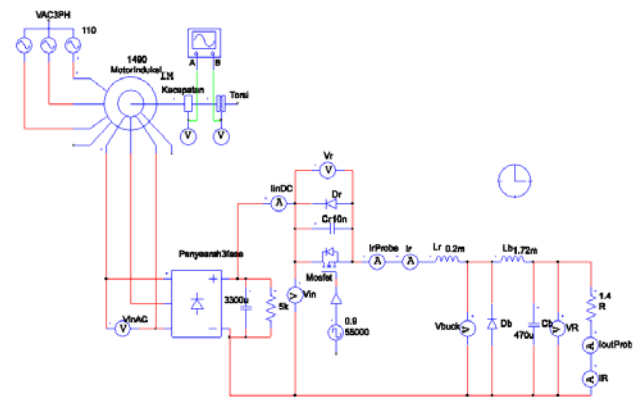
$$110 \cdot 10^3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \cdot 10 \cdot 10^{-9}}}$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \cdot 110 \cdot 10^3)^2 \times 10 \cdot 10^{-9}}$$

$$L_r = 0,2 \text{ mH}$$

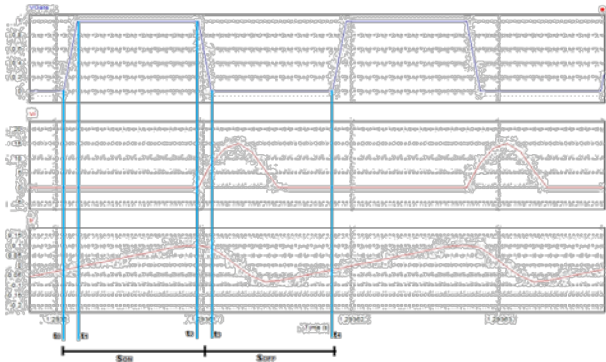
2.2. Simulasi Perancangan Modul DC-DC Konverter

Untuk mengetahui karakteristik dan respon modul yang akan dibuat, maka dilakukan simulasi menggunakan software PSIM 9.0. Pada simulasi ini yang diamati adalah gelombang arus pada induktor L_r dan gelombang tegangan pada kapasitor C_r . Gelombang pemucuan digunakan sebagai pembanding.



Gambar 3. Rangkaian simulasi ZVS Buck konverter dengan motor induksi rotor lilit

Dari hasil simulasi yang dilakukan terlihat bahwa pada tipe pensaklaran ZVS, proses pensaklaran terjadi pada kondisi tegangan pada kapasitor C_r adalah nol.

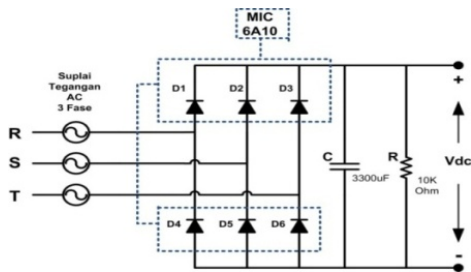


Gambar 4. Hasil simulasi mode pensaklaran Zero Voltage Switching

2.4. Perancangan Rangkaian Blok Daya

2.4.1. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa

Rangkaian penyearah ini berfungsi untuk memberikan suplai tegangan untuk rangkaian DC-DC konverter dari tegangan terminal rotor pada motor induksi.

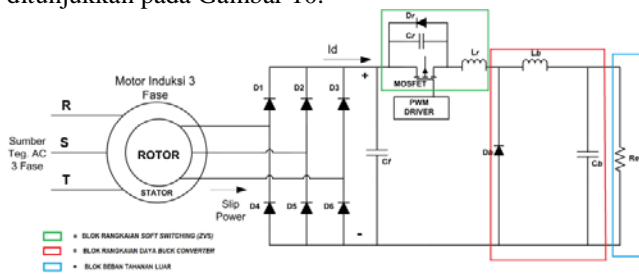


Gambar 5. Rangkaian penyearah gelombang jembatan penuh 3 fasa

Tegangan jala-jala PLN 220 V_{AC} diturunkan menjadi 25 V_{AC} dengan trafo CT kemudian disearahkan sehingga menjadi 35 V_{DC}. Hasil penyearahan kemudian ditapis menggunakan kapasitor. Pada rangkaian ditambahkan fuse 5A sebagai penganaman.

2.4.2. Rangkaian DC-DC Konverter

Skema DC-DC converter jenis Buck konverter mode pensaklaran ZVS dengan motor induksi tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 6. Skema ZVS Buck konverter dengan motor induksi tiga fasa

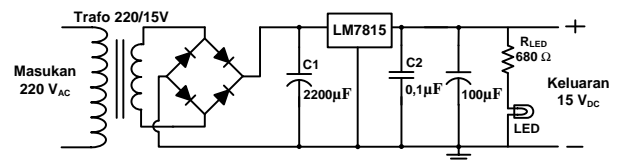
Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa komponen pensaklaran pada rangkaian DC-DC konverter menggunakan MOSFET IRF460. Berikut adalah komponen lengkap penyusun rangkaian DC-DC converter dalam penelitian ini.

- S = MOSFET IRF460
- L_R = Induktor 0,2mH
- C_R = Kapasitor Milar 10 nF
- D_r = Dioda MUR1520
- D_b = Dioda MUR460
- L_b = Induktor 0,6 mH
- C_b = Kapasitor polar 430 µF

2.5. Perancangan Blok Rangkaian Kontrol Pemicuan

2.5.1. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa

Rangkaian penyearah ini berguna untuk mensuplai IC TL494 dan rangkaian isolator pulsa.

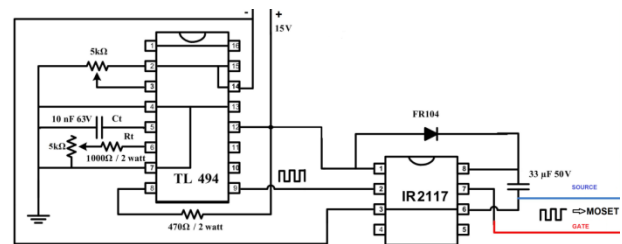


Gambar 7. Rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasa

Penyearah ini menggunakan sumber jala-jala 220 V_{AC} yang diturunkan dengan trafo menjadi 15 V_{AC} yang kemudian disearahkan menggunakan dioda bridge menjadi 21,21 volt. Lalu keluaran tegangan tersebut ditapis menggunakan kapasitor 2200µF/35V. Untuk menstabilkan tegangan menjadi 15 V_{DC} digunakan LM7815.

2.5.2. Rangkaian Kontrol Pemicuan

Dalam penelitian ini menggunakan IC TL494 sebagai komponen utama rangkaian kontrol pemicuan dan IC IR2117 sebagai penguat tegangan sinyal pemicuan skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian kontrol IC TL494

Untuk menentukan nilai frekuensi, resistor dan kapasitor maka digunakan persamaan berikut:

$$f_{osc} = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (3)$$

Kapasitor yang digunakan sebesar 10 nF sehingga nilai resistor adalah

$$R_T = \frac{1,1}{f_{osc} \cdot C_T} \quad (4)$$

Pada frekuensi maksimal 25 kHz

$$R_T = \frac{1,1}{25000 \cdot 10^{-8}} = 4400 \Omega$$

Pada frekuensi minimal 90 kHz

$$R_T = \frac{1,1}{90000 \cdot 10^{-8}} = 1222 \Omega$$

R_T memiliki rentang nilai 1222 Ω – 4400 Ω . Rentang nilai tersebut dicapai menggunakan komponen R dan R_{VAR} yang dirangkai seri. Kemudian menyesuaikan dengan nilai komponen yang tersedia dipasaran yaitu :

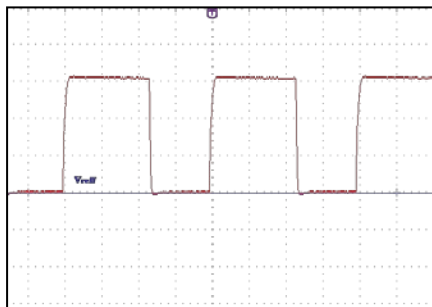
C_T	: 10 nF
R	: 1000 Ω
R_{VAR}	: 5000 Ω

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Masing-Masing Bagian

3.1.1. Pengujian Rangkaian Kontrol

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan probe osiloskop dengan terminal keluaran rangkaian kontrol IC TL494.



Gambar 9. Gelombang keluaran rangkaian kontrol

Dari gambar gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

$$T = 4 \times 1 \mu\text{s/div} = 4 \mu\text{s}, \text{ maka } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \mu\text{s}} = 25 \text{ kHz}$$

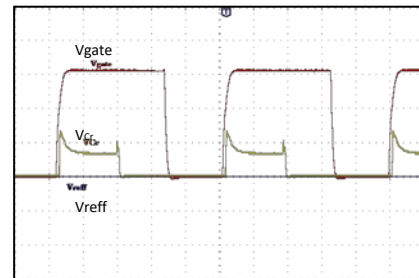
$$V_{pp} = 3,2 \times 4 \text{ V/div} = 12 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 25 kHz dan tegangan V_{pp} 12,8 volt. Gelombang ini selanjutnya menjadi sinyal pemicuan pada MOSFET.

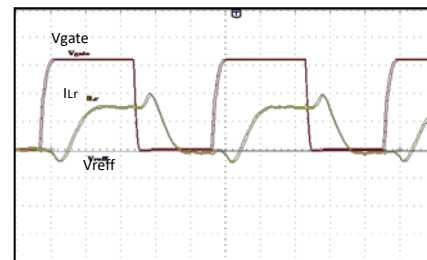
3.1.2. Pengujian Komponen ZVS

Pengujian pensaklaran zero voltage switching (ZVS) dilakukan dengan dua macam sumber tegangan masukan. Sumber tegangan yang pertama berasal dari jala-jala PLN, kemudian yang kedua berasal dari tegangan. Tujuannya untuk mengetahui bentuk gelombang dan pensaklaran

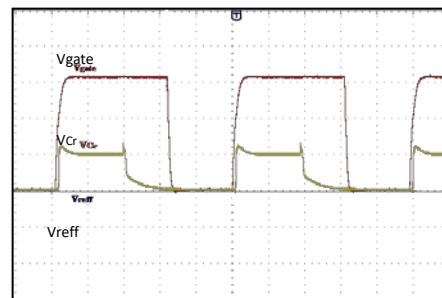
dapat bekerja saat kondisi tegangan sumber stabil dari sumber jala-jala PLN dan dari tegangan sumber terminal rotor motor induksi. berikut bentuk gelombang tegangan C_r dan arus I_r dengan gelombang PWM sebagai pembanding.



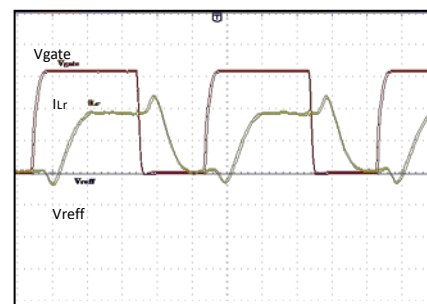
Gambar 10. Bentuk gelombang V_{Gate} (Probe X1)(4v/div) dan V_{Cr} (Probe X2)(0,5v/div) sumber jala PLN



Gambar 11. Bentuk gelombang V_{Gate} (Probe X1)(4v/div) dan I_{Lr} (Probe X2)(1v/div) sumber jala PLN



Gambar 12. Bentuk gelombang V_{Cr} (Probe X1)(4v/div) dan V_{Gate} (Probe X2)(0,5v/div), suplai tegangan rotor Hampden.

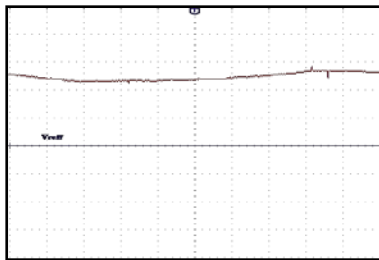


Gambar 13. Bentuk gelombang V_{Gate} (4v/div) dan I_{Lr} (Probe X2)(1v/div), suplai tegangan rotor Hampden.

Pensaklaran pada MOSFET terjadi pada saat tegangan dari *Drain* ke *Source* adalah nol, maka dapat dikatakan bahwa proses *zero voltage switching* terjadi pada semua kondisi sumber tegangan yang berbeda. Pada saat terjadi pensaklaran ON pada MOSFET.

3.1.3. Pengujian DC-DC konverter keseluruhan

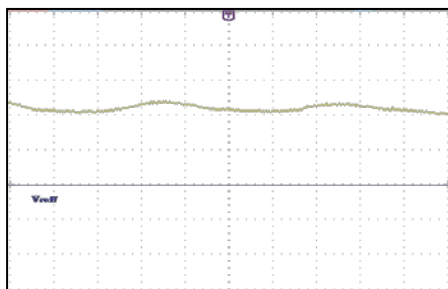
Pengujian rangkaian DC-DC konverter secara keseluruhan dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan dari terminal rotor saat motor induksi bekerja. Pada pengujian keseluruhan ini, dilakukan pengamatan terhadap tegangan dan arus masukan maupun keluaran pada DC-DC konverter untuk mengetahui kinerja dari DC-DC konverter tersebut. Berikut hasil dari pengamatan tersebut.



Gambar 14. Gelombang tegangan masukan DC-DC konverter, Probe X1(1v/div)

Maka besarnya tegangan masukan dapat dihitung sebagai berikut :

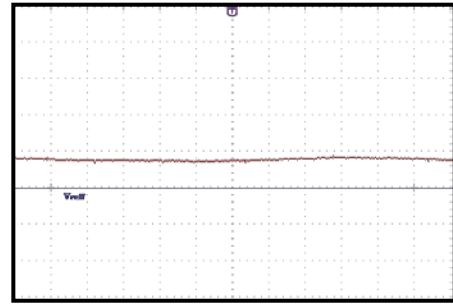
$$\begin{aligned} V_{in} &= 2,4 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} \\ &= 2,4 \text{ Volt} \end{aligned}$$



Gambar 15. Gelombang arus masukan DC-DC konverter, Probe X2 (0,5 v/div)

Maka besarnya arus masukan dapat dihitung sebagai berikut :

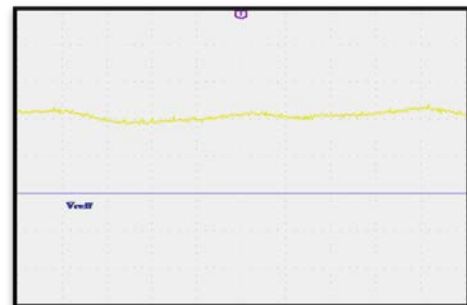
$$\begin{aligned} I_{in} &= 2,2 \text{ div} \times 0,5 \text{ v/div} \\ &= 1,1 \text{ Ampere} \end{aligned}$$



Gambar 16. Gelombang tegangan keluaran DC-DC konverter, Probe X1(1v/div)

Maka besarnya tegangan keluaran dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{in} &= 0,8 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} \\ &= 0,8 \text{ Volt} \end{aligned}$$



Gambar 17. Gelombang arus keluaran DC-DC konverter, Probe X2 (1v/div)

Maka besarnya arus keluaran dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{in} &= 2,2 \text{ div} \times 0,5 \text{ A/div} \\ &= 1,1 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

3.2. Hasil Pengukuran dan Kinerja Motor dengan Rangkaian DC-DC Konverter

3.2.1. Tegangan Stator V_{s1} 110 V

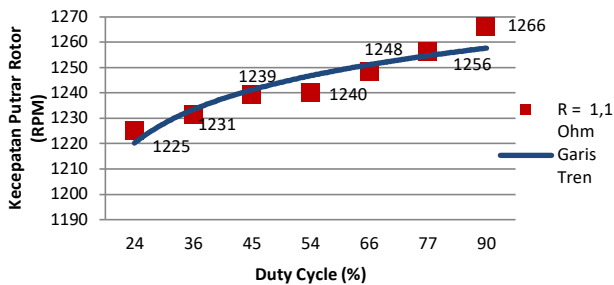
a) Variasi R_1 (1,1 Ohm)

Pengukuran parameter pengujian DC-DC konverter dilakukan dengan menggunakan beban R_1 (1,1 Ohm) dan kondisi frekuensi pensaklaran ditetapkan senilai 55,4 kHz. Variasi *duty cycle* dilakukan dengan kondisi nilai minimal 24% hingga kondisi maksimal senilai 90%.

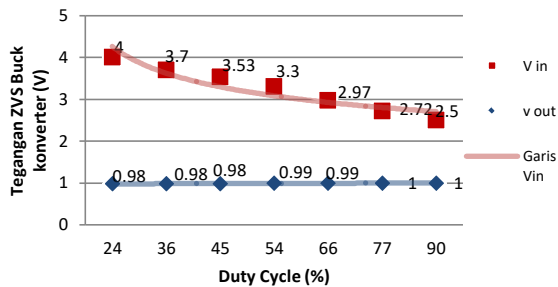
Tabel 2. Data pengukuran variasi *duty cycle* kondisi saat V_{s1} dan R_1 pada DC-DC konverter

No	Duty Cycle (%)	R (Ohm)	Vin (V)	In (A)	Vout (V)	Iout (A)	Nr (rpm)
1	24	1,1	4	1,47	0,98	1,5	1225
2	36	1,1	3,7	1,48	0,98	1,52	1231
3	45	1,1	3,53	1,49	0,98	1,52	1239
4	54	1,1	3,3	1,49	0,99	1,52	1240
5	66	1,1	2,97	1,5	0,99	1,53	1248
6	77	1,1	2,72	1,51	1	1,54	1256
7	90	1,1	2,5	1,52	1	1,56	1266

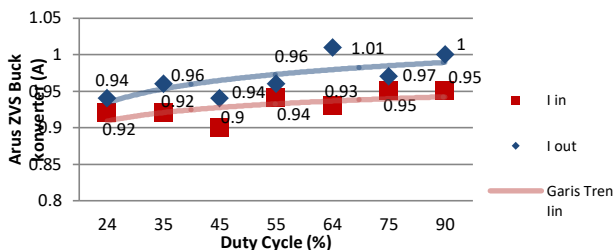
Berdasarkan Tabel 2, maka dapat dibuat grafik hubungan antara *duty cycle* terhadap masing-masing parameter daya masukan-keluaran, efisiensi DC-DC konverter maupun torsi putar rotor motor induksi.



Gambar 18. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan kecepatan putar rotor motor induksi.



Gambar 19. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) pada DC-DC konverter.



Gambar 20. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan arus masukan (I_{in}) dan arus keluaran (I_{out}) pada DC-DC konverter

Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* pada DC-DC konverter, maka tren kecepatan putar rotor juga semakin naik. Kenaikan kecepatan sebesar 41 rpm. Pada Gambar 19 seiring kenaikan *duty cycle*, maka tren tegangan masukan (V_{in}) semakin turun sebesar 1,5V tetapi pada tren tegangan keluaran (V_{out}) sedikit terjadi kenaikan sebesar 0,02V. Nilai tegangan masukan (V_{in}) semakin turun dikarenakan kenaikan arus yang dibutuhkan oleh induktor dalam DC-DC konverter makin meningkat. Nilai tegangan keluaran pada DC-DC konverter tidak akan lebih besar dari tegangan masukan. Hal ini karena dalam penelitian ini, DC-DC konverter yang digunakan adalah tipe *buck* yang berfungsi sebagai penurun tegangan. Pada Gambar 20 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty*

cycle dari minimal hingga maksimal, maka tren perubahan nilai arus masukan (I_{in}) mengalami kenaikan sebesar 0,03 A dan keluaran (I_{out}) mengalami kenaikan sebesar 0,06 A. Ini dikarenakan semakin lebar pulsa pemicuan pensaklaran, maka arus yang mengalir pada MOSFET semakin naik mendekati arus hubung singkat, sehingga tegangan yang mengalir pada MOSFET semakin menurun. Hal tersebut sudah sesuai dengan pengukuran DC-DC konverter ini.

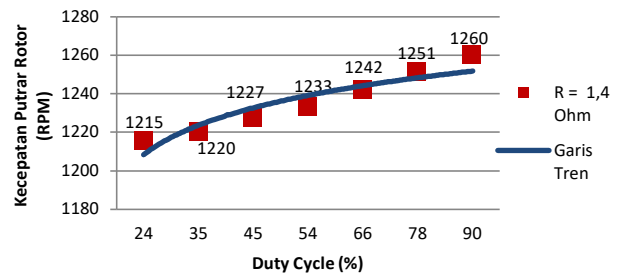
b) Variasi $R_2(1,4 \text{ Ohm})$

Dengan parameter yang sama dilakukan pengukuran parameter pengujian DC-DC konverter dilakukan dengan menggunakan beban $R_2(1,4 \text{ Ohm})$. Berikut adalah hasilnya.

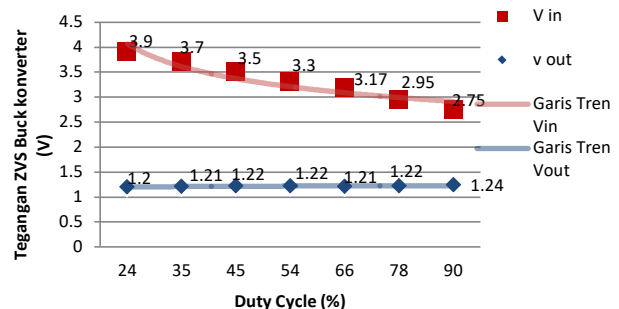
Tabel 3. Data pengukuran variasi *duty cycle* kondisi saat V_{s1} dan R_1 pada DC-DC konverter

No	Duty Cycle (%)	R ohm	Vin (V)	In (A)	Vout (V)	Iout (A)	Nr (rpm)
1	24	1,4	3,9	1,53	1,2	1,55	1215
2	35	1,4	3,7	1,51	1,21	1,54	1220
3	45	1,4	3,5	1,53	1,22	1,55	1227
4	54	1,4	3,3	1,53	1,22	1,56	1233
5	66	1,4	3,17	1,54	1,21	1,57	1242
6	78	1,4	2,95	1,54	1,22	1,57	1251
7	90	1,4	2,75	1,55	1,24	1,58	1260

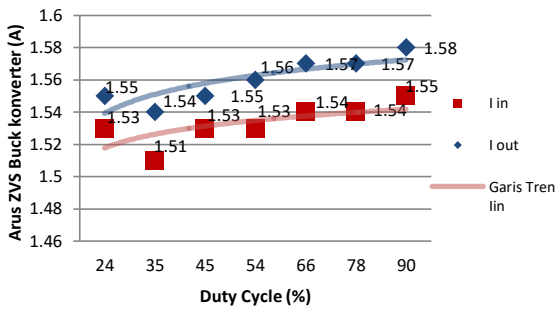
Berdasarkan Tabel 3, maka dapat dibuat grafik hubungan antara *duty cycle* terhadap masing-masing parameter daya masukan-keluaran, efisiensi DC-DC konverter maupun torsi putar rotor motor induksi.



Gambar 21. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan kecepatan putar rotor motor induksi.



Gambar 22. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) pada DC-DC konverter.



Gambar 23. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan arus masukan (*I_{in}*) dan arus keluaran (*I_{out}*) pada DC-DC konverter

Berdasarkan Gambar 21 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* pada DC-DC konverter, maka tren kecepatan putar rotor juga semakin naik. Kenaikan kecepatan sebesar 45 rpm. Pada Gambar 22 seiring kenaikan *duty cycle*, maka tren tegangan masukan (*V_{in}*) semakin turun sebesar 1,15V tetapi pada tren tegangan keluaran (*V_{out}*) sedikit terjadi kenaikan sebesar 0,04V. Nilai tegangan masukan (*V_{in}*) semakin turun dikarenakan kenaikan arus yang dibutuhkan oleh induktor dalam DC-DC konverter makin meningkat. Nilai tegangan keluaran pada DC-DC konverter tidak akan lebih besar dari tegangan masukan. Hal ini karena dalam penelitian ini, DC-DC konverter yang digunakan adalah tipe *buck* yang berfungsi sebagai penurun tegangan. Pada Gambar 23 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* dari minimal hingga maksimal, maka tren perubahan nilai arus masukan (*I_{in}*) mengalami kenaikan sebesar 0,03 A dan keluaran (*I_{out}*) mengalami kenaikan sebesar 0,03 A. Ini dikarenakan semakin lebar pulsa pemicuan pensaklaran, maka arus yang mengalir pada MOSFET semakin naik mendekati arus hubung singkat, sehingga tegangan yang mengalir pada MOSFET semakin menurun. Hal tersebut sudah sesuai dengan pengukuran DC-DC konverter ini.

3.2.2. Tegangan Stator *V_{s2}* 160 V

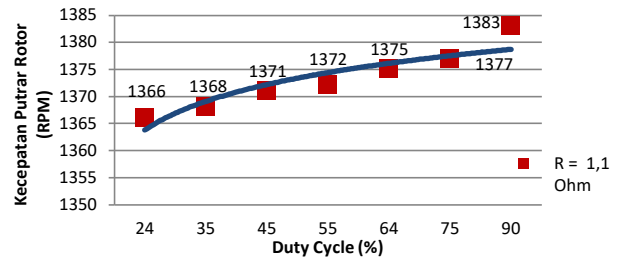
a) Variasi *R₁* (1,1 Ohm)

Pengukuran parameter pengujian DC-DC konverter dilakukan dengan menggunakan beban *R₁*(1,1 Ohm) dan kondisi frekuensi pensaklaran ditetapkan senilai 55,4 kHz. Variasi *duty cycle* dilakukan dengan kondisi nilai minimal 24% hingga kondisi maksimal senilai 90%.

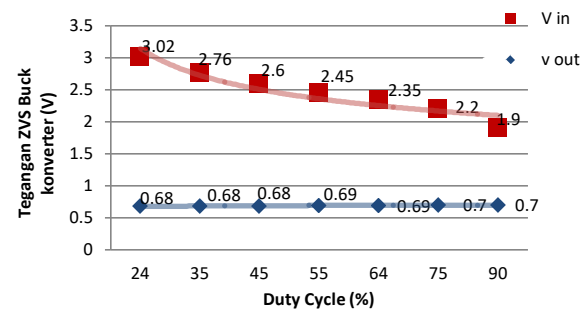
Tabel 4. Data pengukuran variasi *duty cycle* kondisi saat *V_{s1}* dan *R₁* pada DC-DC konverter

No	Duty Cycle (%)	R ohm	<i>V_{in}</i> (V)	<i>I_{in}</i> (A)	<i>V_{out}</i> (V)	<i>I_{out}</i> (A)	nr
1	24	1,1	3,02	0,92	0,68	0,94	1366
2	35	1,1	2,76	0,92	0,68	0,96	1368
3	45	1,1	2,6	0,9	0,68	0,94	1371
4	55	1,1	2,45	0,94	0,69	0,96	1372
5	64	1,1	2,35	0,93	0,69	1,01	1375
6	75	1,1	2,2	0,95	0,7	0,97	1377
7	90	1,1	1,9	0,95	0,7	1	1383

Berdasarkan Tabel 4, maka dapat dibuat grafik hubungan antara *duty cycle* terhadap masing-masing parameter daya masukan-keluaran, efisiensi DC-DC konverter maupun torsi putar rotor motor induksi.

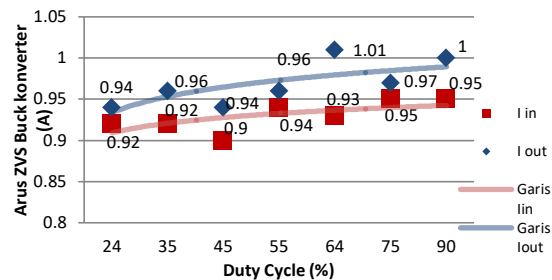


Gambar 24. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan kecepatan putar rotor motor induksi.



Gambar 25. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan masukan (*V_{in}*) dan tegangan keluaran (*V_{out}*) pada DC-DC konverter.

Berdasarkan Gambar 24 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* hingga kondisi maksimal pada DC-DC konverter, maka tren kecepatan putar rotor juga semakin naik. Kenaikan kecepatan sebesar 17 rpm. Pada Gambar 25 seiring kenaikan *duty cycle* hingga kondisi maksimal, maka tren tegangan masukan (*V_{in}*) semakin turun sebesar 1,13V tetapi pada tren tegangan keluaran (*V_{out}*) sedikit naik sebesar 0,02V. Nilai tegangan masukan (*V_{in}*) semakin turun dikarenakan kenaikan arus yang dibutuhkan oleh induktor dalam DC-DC konverter makin meningkat. Nilai tegangan keluaran pada DC-DC konverter tidak akan lebih besar dari tegangan masukan. Hal ini karena dalam penelitian ini, DC-DC konverter yang digunakan adalah tipe *buck* yang berfungsi sebagai penurun tegangan.



Gambar 26. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan arus masukan (*I_{in}*) dan arus keluaran (*I_{out}*) pada DC-DC konverter

Pada Gambar 26 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* dari minimal hingga maksimal, maka tren

perubahan nilai arus masukan (I_{in}) mengalami kenaikan sebesar 0,03 A dan keluaran (I_{out}) mengalami kenaikan sebesar 0,06 A. Ini dikarenakan semakin lebar pulsa pemicuan pensaklaran, maka arus yang mengalir pada MOSFET semakin naik mendekati arus hubung singkat, sehingga tegangan yang mengalir pada MOSFET semakin menurun. Hal tersebut sudah sesuai dengan pengukuran DC-DC konverter ini.

b) Variasi $R_2(1,4 \text{ Ohm})$

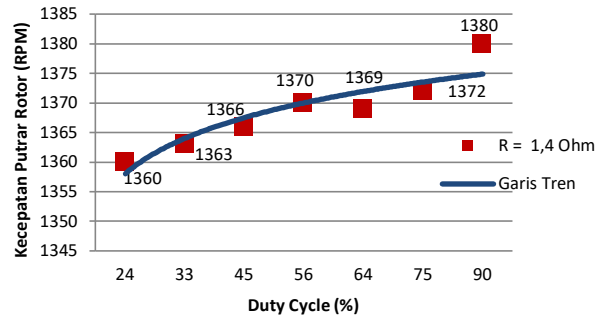
Dengan parameter yang sama dilakukan pengukuran parameter pengujian DC-DC konverter dilakukan dengan menggunakan beban $R_2(1,4 \text{ Ohm})$. Berikut adalah hasilnya.

Tabel 5. Data pengukuran variasi duty cycle kondisi saat V_{s1} dan R_1 pada DC-DC konverter

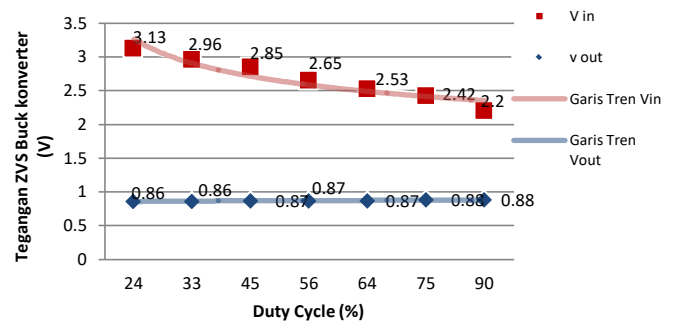
No	Duty Cycle (%)	R	Vin	In	Vout	Iout	nr
		ohm	(V)	(A)	(V)	(A)	
1	24	1,4	3,13	0,94	0,86	0,95	1360
2	33	1,4	2,96	0,95	0,86	0,96	1363
3	45	1,4	2,85	0,96	0,87	0,95	1366
4	56	1,4	2,65	0,94	0,87	0,94	1370
5	64	1,4	2,53	0,93	0,87	0,96	1369
6	75	1,4	2,42	0,97	0,88	0,99	1372
7	90	1,4	2,2	0,97	0,88	0,99	1380

Berdasarkan Tabel 5, maka dapat dibuat grafik hubungan antara *duty cycle* terhadap masing-masing parameter daya masukan-keluaran, efisiensi DC-DC konverter maupun torsi putar rotor motor induksi.

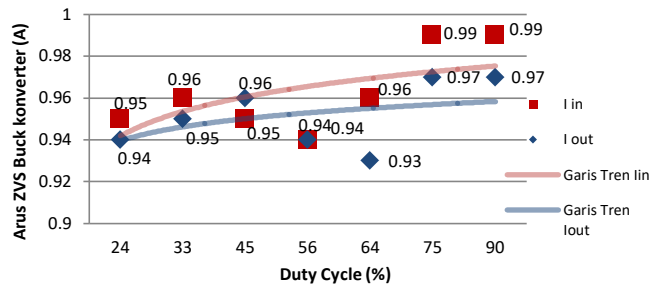
Berdasarkan Gambar 27 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* pada DC-DC konverter, maka tren kecepatan putar rotor juga semakin naik. Kenaikan kecepatan sebesar 20 rpm. Pada Gambar 28 seiring kenaikan *duty cycle*, maka tren tegangan masukan (V_{in}) semakin turun sebesar 0,93V tetapi pada tren tegangan keluaran (V_{out}) mengalami sedikit kenaikan sebesar 0,02V. Nilai tegangan masukan (V_{in}) semakin turun dikarenakan kenaikan arus yang dibutuhkan oleh induktor dalam DC-DC konverter makin meningkat. Nilai tegangan keluaran pada DC-DC konverter tidak akan lebih besar dari tegangan masukan. Hal ini karena dalam penelitian ini, DC-DC konverter yang digunakan adalah tipe *buck* yang berfungsi sebagai penurun tegangan. Pada Gambar 29 dapat dilihat bahwa seiring kenaikan *duty cycle* dari minimal hingga maksimal, maka tren perubahan nilai arus masukan (I_{in}) mengalami kenaikan sebesar 0,03 A dan keluaran (I_{out}) mengalami kenaikan sebesar 0,04A. Ini dikarenakan semakin lebar pulsa pemicuan pensaklaran, maka arus yang mengalir pada MOSFET semakin naik mendekati arus hubung singkat, sehingga tegangan yang mengalir pada MOSFET semakin menurun. Hal tersebut sudah sesuai dengan pengukuran DC-DC konverter ini.



Gambar 27. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan kecepatan putar rotor motor induksi.



Gambar 28. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) pada DC-DC konverter.



Gambar 29. Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan arus masukan (I_{in}) dan arus keluaran (I_{out}) pada DC-DC konverter

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, DC-DC konverter tipe *buck* dengan mode pensaklaran *zero voltage switching* sudah dibuat dengan *duty cycle* maksimal mencapai 90%. Hal ini dibuktikan dengan adanya pensaklaran pada MOSFET saat tegangan antara *Drain* dan *Source* atau antara terminal kaki kapasitor resonan (C_r) adalah nol. Variasi pengaturan *duty cycle* dan frekuensi dapat mempengaruhi karakteristik nilai tegangan dan arus pada sisi input maupun output. Hal ini dibuktikan dengan kecenderungan perubahan tegangan dan arus masukan maupun keluaran pada DC-DC konverter. Berdasarkan kecenderungan perubahan kinerja

pada DC-DC converter, maka dapat mempengaruhi karakteristik pada kecepatan putar rotor dari motor induksi rotor belitan. Hal ini dibuktikan dengan kecenderungan perubahan kecepatan putar rotor seiring perubahan kinerja pada DC-DC konverter. Untuk kepentingan pengembangan penelitian ini, dalam pengaturan arus pada rotor belitan motor induksi tiga fasa dapat menggunakan topologi DC-DC konverter selain *buck* konverter, seperti *boost*, *cuk*, *sepic*, untuk mengetahui karakteristik kinerja motor dan DC-DC konverter. Diharapkan pada penelitian selanjutnya bisa tercapai efisiensi DC-DC konverter yang lebih baik dan perubahan kecepatan putar rotor yang lebih.

Referensi

- [1]. Rashid, Muhammad H. *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications 3rd ed.* Prentice-Hall International Inc. United States. 2011.
- [2]. Wildi, Theodore. *Electrical Machines, Drives, and Power Systems Fifth Edition*. Prentice-Hall International. 2002.
- [3]. Rashid, Muhammad H. *Power Electronics Handbook*. Prentice-Hall International Inc. United States. 2001.
- [4]. Chapman, Stephen. J. *Electric Machinery Fundamentals Fourth Edition*. McGraw-Hill Companies Inc. 2005.
- [5]. El-Sharkawi, Mohamed A. *Fundamentals of Electric Drives*. Brooks/Cole Company. United States. 2000.
- [6]. Hart, Daniel W. *Introduction To Power Electronics*. Prentice-Hall International Inc. New Jersey. 1997.
- [7]. Mohan, Ned, T.M. Undeland, and W.P. Robbins. *Power Electronics: Converters Applications, and Design 2nd ed.* John Wiley & Sons Inc. New York. 1989.
- [8]. Knight, David W. *Solenoid Inductance Calculation With Emphasis On Radio-Frequency Applications*. Ottery St Mary. England. 2012.
- [9]. Kazimierczuk, Marian K. *Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters 2nd ed.* John Wiley & Sons Inc. Ohio. United States. 2008.
- [10]. Prasad, Maruthi. *Rotor Side Control of High Power Slip Induction Motor using a Single Thyristor*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering. Vol. 9. Issue 2, Ver. VII, April. 2014.
- [11]. Marsal, Renaldo. *Perancangan DC-DC Converter Buck Quasi Resonant dengan Mode Pensaklaran Zero Current Switching dan Zero Voltage Switching*. Transient, Vol. 3, No. 3, September. 2014.
- [12]. Andreyck, Bill. *Zero Voltage Switching Resonant Power Conversion*. Texas Instruments Inc. United States. 1999.
- [13]. Hosseini, S.H. and M. Almaleki. *Frequency & Duty Cycle Control Considerations for Soft-Switching Buck Chopper*. University of Tabriz.
- [14]. <http://www.alldatasheet.com/>