

PENGARUH PENGATURAN BOOST CONVERTER TERHADAP TORSI DAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASE ROTOR BELITAN

Reza Lendyarto^{*)}, Tejo Sukmadi, and Jaka Windarta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail: rlendyarto07@gmail.com}

Abstrak

Salah satu metode pengaturan kecepatan yang dapat diterapkan pada motor induksi jenis rotor belitan adalah dengan menambahkan tahanan luar. Karakteristik torsi dan kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan pemasangan variabel resistor tiga fase. Pengaturan variabel resistor dilakukan secara mekanik untuk mengubah kecepatan motor. Untuk memudahkan pengaturan kecepatan motor, digunakan rangkaian arus searah yang hanya membutuhkan satu tahanan luar. Tegangan keluaran rotor disearahkan menggunakan penyearah tiga fase dan dihubungkan dengan konverter DC. Penelitian ini dirancang konverter DC topologi boost dengan mode *zero voltage switching* untuk mengatur kecepatan putar motor. Pensaklaran ZVS terjadi ketika tegangan *drain* ke *source* bernilai nol. Hasil pengukuran variasi tahanan luar didapat kecepatan motor pada tegangan 300V sebesar 1433- 1483 rpm dan pada tegangan 200V adalah 1366- 1445 rpm. Torsi maksimum yang dihasilkan masing- masing sebesar 17,229N.m dan 7,657N.m.

Kata kunci: motor induksi rotor belitan, *boost converter*, *zero voltage switching*.

Abstract

One of speed control methods that can be used on the wound rotor induction motor is add external resistor. The torque and speed characteristics produced in accordance with installation of three phase variable resistor. Variable resistor arrangement mechanically to change motor speed. To simple the speed of motor, DC chopper is used which requires only an external resistance. The rotor output voltage is converted to DC by three-phase rectifier and connected to DC converter. The research was aimed to design a boost converter by zero voltage switching to control speed of motor. Zero voltage switching was performed when the voltage between drain to source is zero. The results of measurement of the external resistance variant obtained the motor speed at 300V is 1433- 1483 rpm and at 200V is 1366- 1445 rpm. The maximum torque generated is each 17,229N.m and 7,657N.m.

Keywords: wound rotor induction motor, boost converter, zero voltage switching.

1. Pendahuluan

Salah satu metode pengaturan kecepatan yang dapat diterapkan pada motor induksi jenis rotor belitan adalah dengan menambahkan tahanan luar pada rangkaian rotor[1]. Dengan metode tersebut diperlukan penambahan tiga variabel resistor yang dipasang pada rotornya. Karakteristik torsi dan kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan yang diperoleh pada pemasangan variabel resistor tiga fase, namun pengaturan variabel resistor dilakukan secara mekanik untuk mengubah kecepatan motor. Semua dapat dibuat melalui kontrol elektronik yaitu dengan cara menggunakan rangkaian konverter DC dan resistor dengan nilai tetap yang sebelumnya telah disearahkan melalui rangkaian penyearah tiga fase[2]. Dengan mengatur *duty cycle* konverter DC maka nilai tegangan dan arus pada

rotor dapat diatur, sehingga kecepatan motor dapat dibuat bervariasi. Tegangan keluaran rotor akan disearahkan menggunakan penyearah tiga fase dihubungkan dengan konverter DC. Proses pensaklaran yang digunakan berupa *zero voltage switching*. Pensaklaran terjadi ketika tegangan pada *drain* ke *source* MOSFET bernilai nol[3].

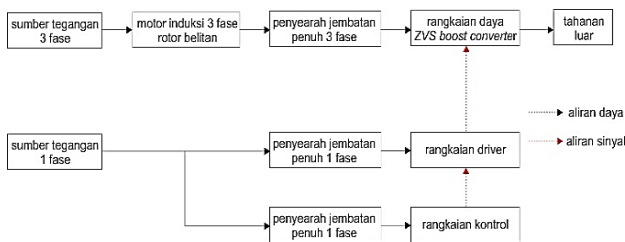
Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya[4] tentang analisis pengaturan arus rotor menggunakan *zvs buck converter*, kecepatan putar motor berubah sebesar 45 rpm pada tegangan stator 110V dengan beban 1,4 Ω . Torsi cenderung berubah dengan nilai perubahan terbesar adalah 0,00035N.m pada tegangan dan beban yang sama .

Penelitian ini dirancang dan direalisasikan modul perangkat keras konverter DC topologi *boost* mode

pensaklaran *zero voltage switching* dengan variasi resistor luar. Modul tersebut digunakan untuk mengatur nilai tahanan yang dipasang pada rotor yang dapat mempengaruhi torsi dan kecepatan motor induksi tiga fase rotor belitan.

2. Metode

Metode penelitian berisikan data spesifikasi motor induksi tiga fasa rotor belitan dan perancangan konverter DC topologi *boost* dengan mode pensaklaran *zero voltage switching*. Gambar 1 memperlihatkan blok diagram perancangan perangkat keras.



Gambar 1. Blok diagram perancangan alat.

Perancangan perangkat keras dibagi menjadi dua blok utama, yaitu blok rangkaian kontrol pemunculan PWM dan rangkaian daya.

2.1. Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis rotor belitan merk Hampden. Modul Hampden seri REM 1C berisikan modul motor yang disertai dengan modul alat ukur. Motor induksi tiga fase rotor belitan dikopel dengan generator DC.

Tabel 1. Spesifikasi motor induksi tiga fase rotor belitan

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

2.2. Simulasi Mode Pensaklaran Zero Voltage Switching

Frekuensi pensaklaran konverter DC dan frekuensi resonansi ditentukan berdasarkan Persamaan 1 berikut:

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

Penelitian ini menggunakan frekuensi pensaklaran 25kHz dan frekuensi resonansi sebesar 90kHz. Menggunakan

Persamaan 2 dapat ditentukan nilai induktor resonansi L_r sebagai berikut[3]:

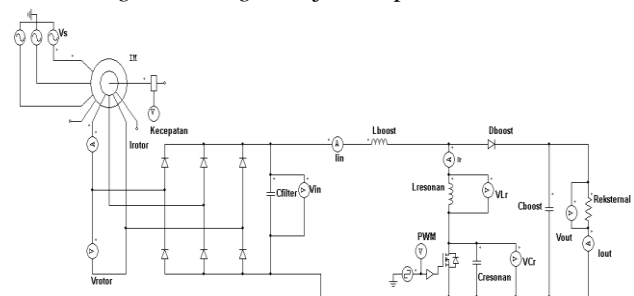
$$L_r = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 C_R} \quad (2)$$

Besar nilai kapasitor dipilih sebesar 330nF. Nilai induktor resonansi yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut :

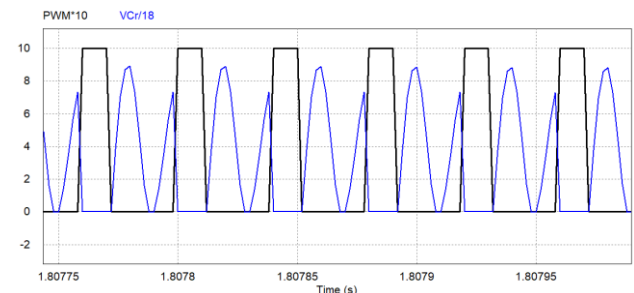
$$L_r = \frac{1}{(2\pi 90000)^2 \times 330 \times 10^{-9}}$$

$$L_r = 9,48 \mu H$$

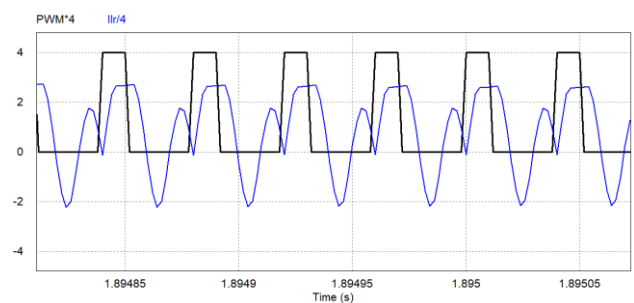
Skema dari rangkaian perancangan konverter DC dengan *zero voltage switching* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian ZVS boost converter.



Gambar 3. Simulasi gelombang PWM- Vcr.



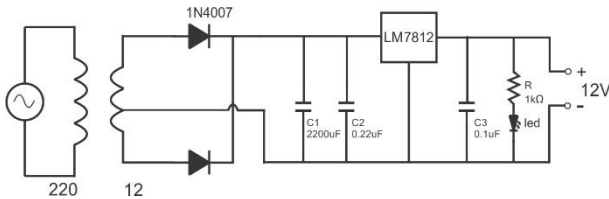
Gambar 4. Simulasi gelombang PWM- ILr.

Simulasi menggunakan software PSIM 9.0. gelombang yang diamati berupa tegangan kapasitor resonansi dan arus induktor resonansi terhadap pemunculan MOSFET sebagai pembanding. Tegangan pada kapasitor resonansi akan bernilai nol selama pemunculan MOSFET terjadi. Induktor akan mengisi muatan saat PWM *on* dan melepaskan muatan saat kondisi PWM *off*.

2.3. Perancangan Rangkaian Penyearah

2.3.1 Perancangan Penyearah 12V

Penyearah 12V digunakan untuk suplai IC TL494 yang membutuhkan tegangan tipikal sebesar 7- 40V DC[5]. Rangkaian skematik penyearah 12V dapat dilihat pada Gambar 5 berikut :

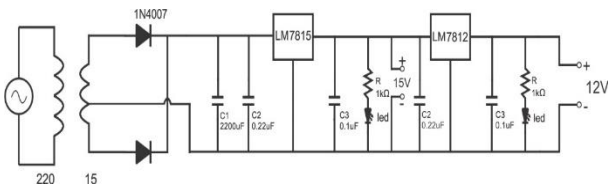


Gambar 5. Rangkaian penyearah 12V.

Tegangan 220V AC diturunkan menggunakan trafo CT *step down* 12V AC kemudian disearahkan dan ditapis oleh kapasitor 2200uF dan masuk IC LM7812 sehingga dihasilkan tegangan ±12V DC.

2.3.2 Perancangan Penyearah 15V

Penyearah 15V digunakan untuk suplai TLP250[6]. Rangkaian skematik penyearah 15V dapat dilihat pada Gambar 6 berikut :

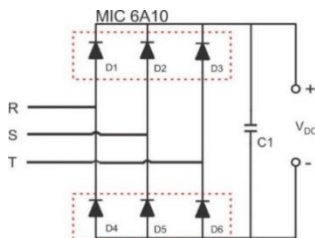


Gambar 6. Rangkaian penyearah 15V.

Tegangan 220V AC diturunkan menggunakan trafo CT *step down* 15V AC kemudian disearahkan dan ditapis oleh kapasitor *filter* 2200uF dan masuk IC LM7815 sehingga dihasilkan tegangan ±15V DC. Keluaran LM7815 digunakan sebagai masukan LM7812 yang *output* tegangannya digunakan untuk kipas pendingin 12V.

2.3.3 Perancangan Penyearah Daya

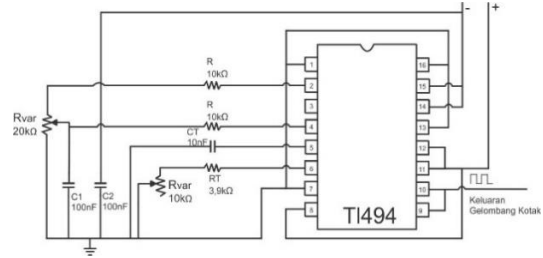
Penyearah tiga fase tak terkontrol jembatan penuh digunakan untuk menyearahkan keluaran rotor. Digunakan enam buah dioda pada penyearah tiga fase gelombang penuh tak terkontrol.



Gambar 7. Rangkaian penyearah daya.

2.4. Perancangan Rangkaian Kontrol PWM

Rangkaian pemucuan PWM digunakan untuk memicu MOSFET yang digunakan sebagai saklar elektronik pada rangkaian konverter DC. Pada penelitian ini menggunakan IC TL494 sebagai komponen utama dalam pembangkit tegangan pulsa termodulasi.



Gambar 8. Rangkaian pemucuan TL494.

Besar jangkauan frekuensi pemucuan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut[5]:

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

Nilai kapasitor CT sebesar 10nF, maka dapat dihitung nilai resistor RT yang dibutuhkan dengan menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut :

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

Pada frekuensi maksimal 30000 Hz,

$$R_T = \frac{1,1}{30000 \times 10^{-8}}$$

$$R_T = 3666\Omega$$

Pada frekuensi minimal 10000 Hz,

$$R_T = \frac{1,1}{10000 \times 10^{-8}}$$

$$R_T = 11000\Omega$$

Karena nilai komponen yang dibutuhkan tidak tersedia di pasaran, dapat ditentukan nilai komponen yang digunakan dalam penyusunan rangkaian yaitu :

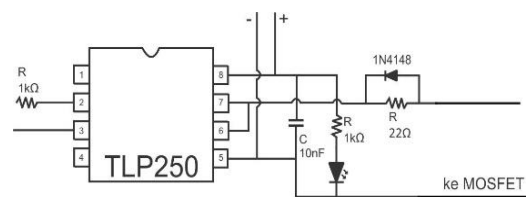
$$C_T = 10nF$$

$$R_T = 3,9k\Omega$$

$$R_{var} = 10k\Omega$$

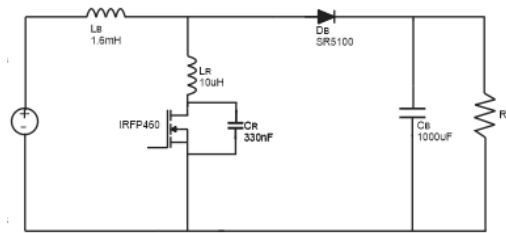
2.5. Perancangan Rangkaian TLP250

Rangkaian TLP250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal dari keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*), tegangan yang dihasilkan PWM dapat dibangkitkan menjadi level tegangan yang sama, lebih rendah maupun lebih tinggi dengan sistem ground terpisah.



Gambar 9. Rangkaian TLP250.

2.6. Perancangan Rangkaian Daya



Gambar 10. Skematik ZVS boost converter.

Skematik rangkaian daya ZVS boost converter ditunjukkan pada Gambar 10. Berikut komponen lengkap penyusun rangkaian daya dalam penelitian ini.

- S = MOSFET IRFP460
- Lb = Induktor 1,6mH
- Cb = Kapasitor 1000uF/100V
- Db = Dioda SR5100
- Lr = Induktor 10uH
- Cr = Kapasitor milar 330nF

3. Hasil dan Analisa

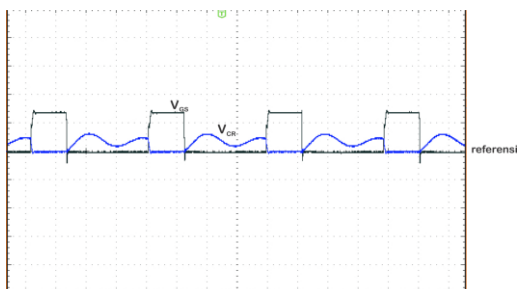
3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol Pemicuan

Hasil pengujian gelombang pemicuan PWM menunjukkan bentuk pemicuan adalah gelombang kotak dengan V_{pp} sebesar 16V. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 11. Gelombang keluaran PWM.

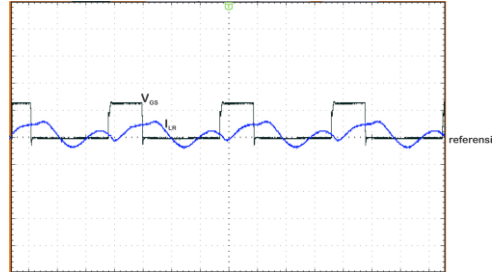
3.2. Pengujian Komponen ZVS



Gambar 12. Gelombang keluaran Vgs- Vcr.

Tegangan pada kapasitor resonan akan bernilai nol selama pemicuan MOSFET terjadi. Dalam kondisi ini, kapasitor mengalami pengosongan muatan selama durasi waktu

MOSFET aktif. Pensaklaran pada MOSFET terjadi saat tegangan dari *drain* ke *source* adalah nol, maka dapat dikatakan proses *zero voltage switching* pada konverter DC terjadi.



Gambar 13. Gelombang keluaran Vgs- Icr.

Induktor akan mengisi muatan saat PWM *on* dan melepaskan muatan saat kondisi PWM *off*. Pada saat PWM *off*, MOSFET dalam keadaan tidak aktif atau sambungan dari *drain* ke *source* terputus. Energi yang tersimpan di induktor resonan menuju kapasitor resonan.

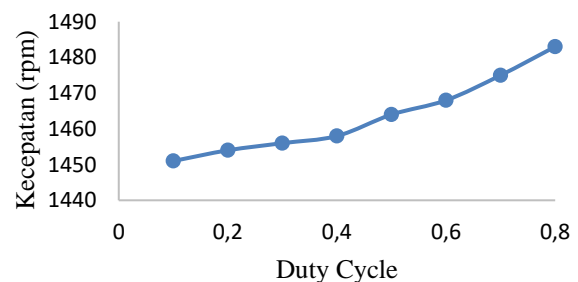
3.3. Hasil Pengukuran dan Kinerja Motor Induksi 3 Fase Rotor Belitan

3.3.1 Variasi Tegangan Stator 300V

A. Variasi Beban 9Ω

Tabel 2. Data pengukuran variasi R 9Ω

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Nr (rpm)
10	10,8	1,97	11,2	1,78	1451
20	10,3	2,05	10,9	1,76	1454
30	9,2	2,2	10,4	1,73	1456
40	7,6	2,41	9,5	1,68	1458
50	6,81	2,56	9,2	1,62	1464
60	6,42	2,6	9	1,56	1468
70	5,8	2,65	8,5	1,47	1475
80	4,39	2,84	7,18	1,37	1483



Gambar 14. Grafik hubungan *duty cycle* terhadap kecepatan motor.

Perubahan kenaikan kecepatan motor bervariasi mulai dari 1451-1483 rpm. Semakin besar nilai *duty cycle* konverter DC, tahanan eksternal yang dilihat dari sisi motor akan semakin mengecil. Sebaliknya, jika *duty cycle* semakin kecil maka tahanan eksternal rotor yang dirasakan oleh motor semakin membesar.

Perhitungan torsi menggunakan Persamaan 7 sebagai berikut[1]:

$$\tau_n = \frac{3V_{TH}^2 \cdot (R_r + R_{eks}) / s}{\left(\frac{2\pi \cdot N_s}{60}\right) [(R_{TH} + \frac{R_r + R_{eks}}{s})^2 + (X_{TH} + X_2)^2]} \quad (7)$$

$$\tau_n = \frac{3 \times 161,2^2 \times (1,1 + 9) / 0,029}{\left(\frac{2\pi \cdot 1500}{60}\right) [(1,44 + \frac{1,1+9}{0,029})^2 + (6,48 + 6,48)^2]}$$

$$\tau_n = 1,43 N.m$$

Penggunaan konverter DC dengan variasi *duty cycle* dapat mengubah besarnya nilai R yang dipikul oleh motor di sisi rotor. Nilai beban R yang dipikul motor dapat dihitung sebagai berikut:

$$R^* = (1 - 0,3) \times 9\Omega = 6,3\Omega$$

Perhitungan torsi awal menggunakan Persamaan 8 sebagai berikut[1]:

$$\tau_{start} = \frac{3V_{TH}^2 \cdot (R_r + R^*)}{\left(\frac{2\pi \cdot N_s}{60}\right) [(R_{TH} + R_r + R^*)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]} \quad (8)$$

$$\tau_{start} = \frac{3 \times 161,52^2 \times (1,1 + 6,3)}{\left(\frac{2\pi \cdot 1500}{60}\right) [(1,4 + 1,1 + 6,3)^2 + (6,48 + 6,48)^2]}$$

Torsi maksimum dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 9[7]:

$$\tau_{max} = \frac{3V_{TH}^2}{2 \left(\frac{2\pi \cdot N_s}{60}\right) (R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2})} \quad (9)$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \times 161,52^2}{2 \left(\frac{2\pi \cdot 1500}{60}\right) (1,44 + \sqrt{1,44^2 + (6,48 + 6,48)^2})}$$

$$\tau_{max} = 17,229 N.m$$

Slip torsi maksimum saat *duty cycle* 30% adalah sebagai berikut[1]:

$$s = \frac{(1,1 + 6,3)}{\sqrt{1,44^2 + (6,48 + 6,48)^2}}$$

$$s = 0,57$$

Sehingga kecepatan motor saat torsi maksimum dengan variasi *duty cycle* 30% adalah sebagai berikut:

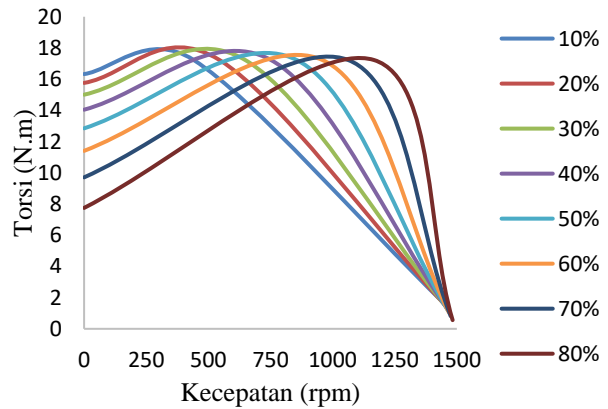
$$N_{max} = (1 - 0,57) \times 1500 = 648 \text{ rpm}$$

Data hasil perhitungan torsi awal, torsi maksimum dan kecepatan torsi maksimum menggunakan perhitungan seperti diatas ditampilkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Perhitungan torsi motor pada R 9Ω

Duty Cycle (%)	Tstart (N.m)	Tmax (N.m)	Tn (N.m)	Nstart (rpm)	Nmax (rpm)	Nn (rpm)
10	16,32	17,229	1,59	0	441	1451
20	15,76	17,229	1,50	0	545	1454
30	15,00	17,229	1,43	0	648	1456
40	14,04	17,229	1,37	0	752	1458
50	12,84	17,229	1,18	0	855	1464
60	11,40	17,229	1,05	0	959	1468
70	9,706	17,229	0,82	0	1063	1475
80	7,749	17,229	0,56	0	1166	1483

Parameter perhitungan torsi motor dapat dibuat dalam grafik perbandingan variasi *duty cycle* terhadap torsi motor ditunjukkan sebagai berikut :



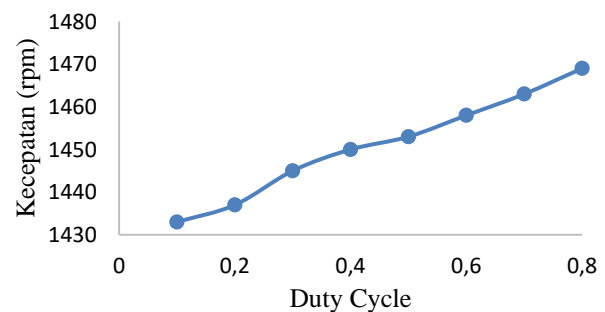
Gambar 15. Variasi *duty cycle* terhadap kinerja motor.

Berdasarkan Gambar 15 dan Tabel 3, ketika *duty cycle* diperbesar nilai torsi nominal akan semakin menurun, torsi awal akan berkurang, tetapi nilai torsi maksimum tidak berubah. Hal ini dapat dilihat saat variasi *duty cycle* 10% dan 20% yang memiliki nilai torsi maksimum 17,229N.m, torsi awal masing- masing 16,328N.m dan 15,006N.m dengan torsi nominal keduanya adalah 1,59N.m dan 1,5N.m.

B. Variasi Beban 12Ω

Tabel 4. Data pengukuran variasi R 12Ω

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Nr (rpm)
10	1,01	1,84	12,45	1,67	1433
20	1,03	1,93	12,4	1,63	1437
30	1,10	2,08	11,8	1,6	1445
40	1,20	2,33	11,2	1,54	1450
50	1,26	2,48	10,6	1,5	1453
60	1,39	2,55	10	1,48	1458
70	1,44	2,68	9,45	1,45	1463
80	1,54	2,8	8,37	1,3	1469



Gambar 16. Grafik hubungan *duty cycle* terhadap kecepatan motor.

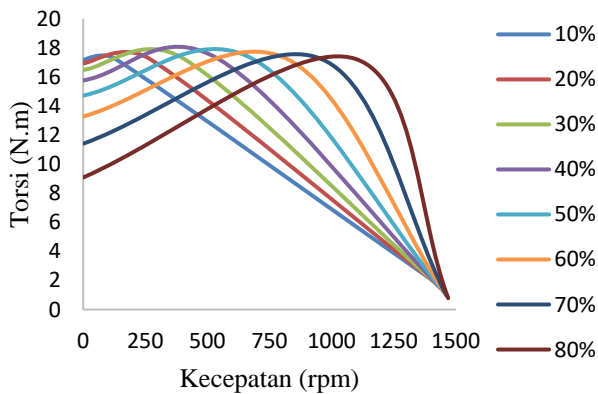
Perubahan kenaikan kecepatan motor bervariasi mulai dari 1433- 1469 rpm. Semakin besar nilai *duty cycle* konverter

DC, tahanan eksternal yang dilihat dari sisi motor akan semakin mengecil. Sebaliknya, jika *duty cycle* semakin kecil maka tahanan eksternal rotor yang dirasakan oleh motor semakin membesar.

Tabel 5. Perhitungan torsi motor pada R 12Ω

Duty Cycle (%)	Tstart (N.m)	Tmax (N.m)	Tn (N.m)	Nstart (rpm)	Nmax (rpm)	Nn (rpm)
10	17,165	17,229	1,68	0	130	1433
20	16,932	17,229	1,58	0	268	1437
30	16,481	17,229	1,38	0	407	1445
40	15,760	17,229	1,26	0	545	1450
50	14,710	17,229	1,18	0	683	1453
60	13,274	17,229	1,06	0	821	1458
70	11,406	17,229	0,93	0	959	1463
80	9,081	17,229	0,78	0	1097	1469

Parameter perhitungan torsi motor dapat dibuat dalam grafik perbandingan variasi *duty cycle* terhadap torsi motor ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 17. Variasi *duty cycle* terhadap kinerja motor.

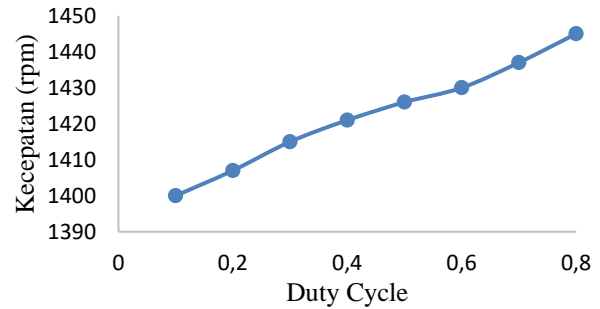
Berdasarkan Gambar 17 dan Tabel 5, ketika *duty cycle* diperbesar nilai torsi nominal akan semakin menurun, torsi awal akan berkurang, tetapi nilai torsi maksimum tidak berubah. Hal ini dapat dilihat saat variasi *duty cycle* 50% dan 60% yang memiliki nilai torsi maksimum 17,229N.m, torsi awal masing- masing 14,71N.m dan 13,27N.m dengan torsi nominal keduanya adalah 1,18N.m dan 1,06N.m.

3.3.2 Variasi Tegangan Stator 200V

A. Variasi Beban 9Ω

Tabel 6. Data pengukuran variasi R 9Ω

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Nr (rpm)
10	8,57	1,72	8,88	1,57	1400
20	8	1,78	8,63	1,54	1407
30	7	1,84	8	1,49	1415
40	5,61	1,92	7,18	1,35	1421
50	4,78	2,11	6,7	1,32	1426
60	4,55	2,16	6,42	1,3	1430
70	4,27	2,18	6,06	1,27	1437
80	2,95	2,21	4,74	1,11	1445

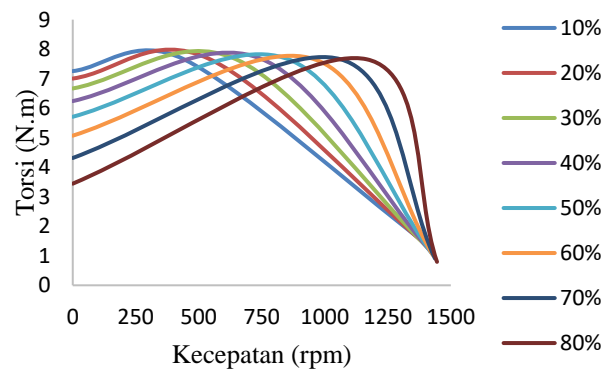


Gambar 18. Grafik hubungan *duty cycle* terhadap kecepatan motor.

Perubahan kenaikan kecepatan motor bervariasi mulai dari 1400- 1445 rpm. Semakin besar nilai *duty cycle* konverter DC, tahanan eksternal yang dilihat dari sisi motor akan semakin mengecil. Sebaliknya, jika *duty cycle* semakin kecil maka tahanan eksternal rotor yang dirasakan oleh motor semakin membesar.

Tabel 7. Perhitungan torsi motor pada Vs 200V R 9Ω

Duty Cycle (%)	Tstart (N.m)	Tmax (N.m)	Tn (N.m)	Nstart (rpm)	Nmax (rpm)	Nn (rpm)
10	7,257	7,657	1,42	0	441	1400
20	7,004	7,657	1,33	0	545	1407
30	6,669	7,657	1,22	0	648	1415
40	6,241	7,657	1,13	0	752	1421
50	5,711	7,657	1,06	0	855	1426
60	5,069	7,657	1,01	0	959	1430
70	4,314	7,657	0,91	0	1063	1437
80	3,444	7,657	0,79	0	1166	1445



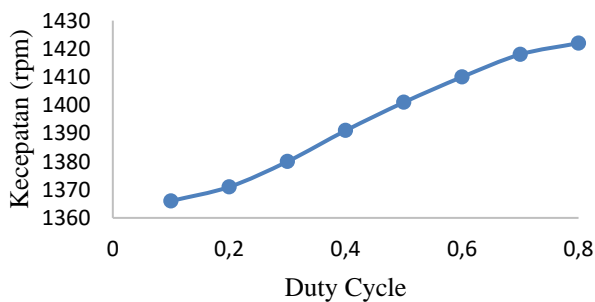
Gambar 19. Variasi *duty cycle* terhadap kinerja motor.

Berdasarkan Gambar 19 dan Tabel 7, ketika *duty cycle* diperbesar nilai torsi nominal akan semakin menurun, torsi awal akan berkurang, tetapi nilai torsi maksimum tidak berubah. Hal ini dapat dilihat saat variasi *duty cycle* 10% dan 20% yang memiliki nilai torsi maksimum 7,657N.m, torsi awal masing- masing 7,257N.m dan 7,004N.m dengan torsi nominal keduanya adalah 1,42N.m dan 1,33N.m.

B. Variasi Beban 12Ω

Tabel 8. Perhitungan torsi motor pada Vs 200V R 9Ω

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Nr (rpm)
10	10	1,67	10,8	1,47	1366
20	9,13	1,71	10,4	1,4	1371
30	8,5	1,75	9,8	1,38	1380
40	6,53	1,91	8,57	1,3	1391
50	5,41	2,05	8,12	1,2	1401
60	5,14	2,07	7,91	1,15	1410
70	4,53	2,11	6,94	1,13	1418
80	3,62	2,21	5,88	1,1	1422



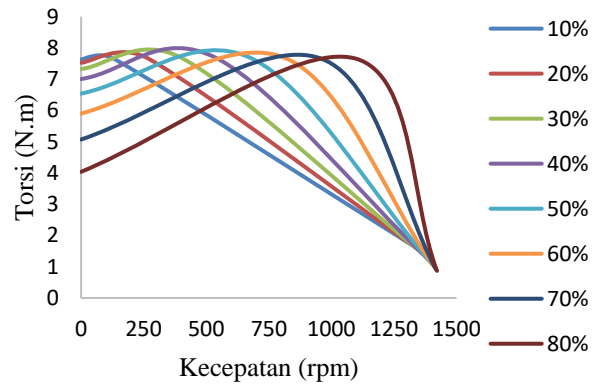
Gambar 20. Grafik hubungan *duty cycle* terhadap kecepatan motor.

Perubahan kenaikan kecepatan motor bervariasi mulai dari 1366- 1422 rpm. Semakin besar nilai *duty cycle* konverter DC, tahanan eksternal yang dilihat dari sisi motor akan semakin mengecil. Sebaliknya, jika *duty cycle* semakin kecil maka tahanan eksternal rotor yang dirasakan oleh motor semakin membesar.

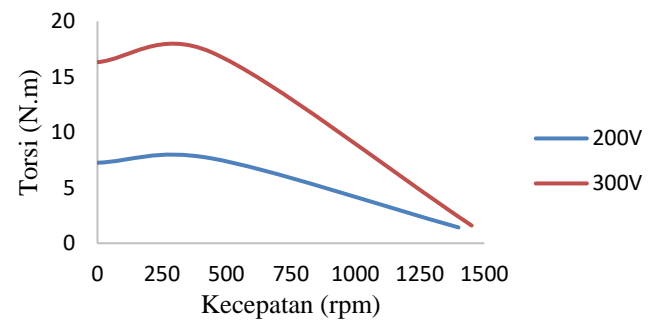
Tabel 9. Perhitungan torsi motor pada R 12Ω

Duty Cycle (%)	Tstart (N.m)	Tmax (N.m)	Tn (N.m)	Nstart (rpm)	Nmax (rpm)	Nn (rpm)
10	7,629	7,657	1,47	0	130	1366
20	7,525	7,657	1,42	0	268	1371
30	7,325	7,657	1,32	0	407	1380
40	7,004	7,657	1,20	0	545	1391
50	6,538	7,657	1,10	0	683	1401
60	5,900	7,657	1,00	0	821	1410
70	5,069	7,657	0,91	0	959	1418
80	4,036	7,657	0,87	0	1097	1422

Berdasarkan Gambar 21 dan Tabel 9, ketika *duty cycle* diperbesar nilai torsi nominal akan semakin menurun, torsi awal akan berkurang, tetapi nilai torsi maksimum tidak berubah. Hal ini dapat dilihat saat variasi *duty cycle* 50% dan 60% yang memiliki nilai torsi maksimum 7,657N.m, torsi awal masing- masing 6,538N.m dan 5,9N.m dengan torsi nominal keduanya adalah 1,1N.m dan 1N.m.

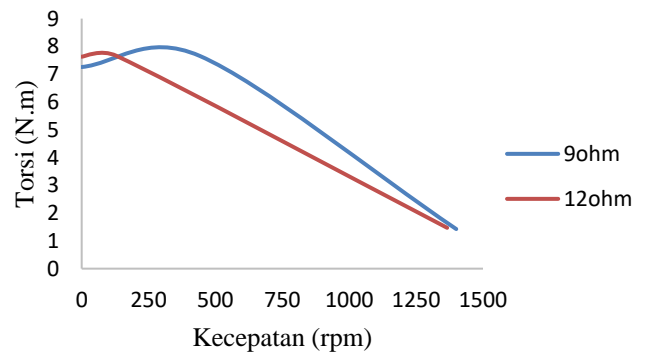


Gambar 21. Variasi *duty cycle* terhadap kinerja motor.



Gambar 22. Kurva torsi kecepatan variasi Vs.

Berdasarkan Gambar 22, torsi maksimum akan membesar jika tegangan stator diperbesar. Hal ini dapat dilihat saat tegangan stator 200V, nilai torsi maksimum sebesar 7,657N.m sementara tegangan stator diperbesar menjadi 300V mengakibatkan torsi maksimum meningkat menjadi 17,22N.m.



Gambar 23. Kurva torsi kecepatan variasi R luar.

Pengaruh yang diakibatkan variasi tahanan luar yaitu proses terjadinya torsi maksimum yang berhubungan dengan kecepatan motor tersebut mencapai torsi maksimum. Hal ini dapat dilihat saat variasi 9Ω, kecepatan motor untuk mencapai torsi maksimum pada kecepatan 441 rpm sedangkan varisasi 12Ω akan mencapai kondisi torsi maksimum pada kecepatan 130 rpm.

4. Kesimpulan

Konverter DC topologi *boost* dengan mode pensaklaran *zero voltage switching* sudah berhasil dibuat. Hal ini dibuktikan pada frekuensi pensaklaran konverter DC sebesar 25kHz, pensaklaran pada MOSFET terjadi saat tegangan dari *drain* ke *source* adalah nol, maka dapat dikatakan proses *zero voltage switching* pada konverter DC berhasil. Variasi tegangan stator akan mempengaruhi besar torsi maksimum dan torsi awal. Tegangan stator yang diperbesar akan meningkatkan torsi maksimum motor. Torsi maksimum pada variasi tegangan stator 200V yaitu 7,657N.m dan meningkat menjadi 17,229N.m saat tegangan diperbesar menjadi 300V. Variasi tahanan luar mempengaruhi besar kecepatan motor untuk mencapai torsi maksimum. Hal ini dapat dilihat saat variasi 9Ω tegangan 200V dan 300V, kecepatan motor untuk mencapai torsi maksimum pada kecepatan tercepat pada 441 rpm sedangkan varisasi 12Ω tegangan 200V dan 300V akan mencapai kondisi torsi maksimum tercepat pada kecepatan 130 rpm. *Duty cycle* diperbesar nilai torsi nominal akan semakin mengecil, torsi awal akan berkurang, tetapi nilai torsi maksimum tidak berubah dan kecepatan motor berputar semakin cepat. Hasil pengukuran variasi tahanan luar didapat kecepatan motor pada tegangan 300V sebesar 1433- 1483 rpm dan pada tegangan 200V.

Referensi

- [1] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 4th ed. Australia: McGraw-Hill Companies, 2003.
- [2] B. J. Chalmers, *Electric Motor Handbook*. Manchester: Butterworth & Co., 1988.
- [3] M. K. Kazimierczuk, *Pulse-width Modulated DC – DC Power Converters*, 3rd ed. Ohio: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [4] A. R. Putra, T. Sukmadi dan M. Facta, "Analisis Pengaturan Arus Rotor Pada Motor Induksi Rotor Belitan Tiga Fasa Menggunakan Buck Konverter", *Transient*, vol.5, No.3, Sept 2016,
- [5] *Switchmode Pulse-Width-Modulation Control Circuits*. 2017.
- [6] Toshiba, "Toshiba Photocoupler GaAIAs Ired & Photo-IC," vol. 5, pp. 1–8, 2004.
- [7] N. P. Mosfet, N. High, and P. Products, "IRF460 Series IRF460 Series," pp. 1–7.
- [8] Secos, "SR5100," pp. 1–2, 2009.