

# APLIKASI KONVERTER ARUS SEARAH TIPE *BUCK* PADA Pengereman Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa Metode Injeksi Arus Searah

Maulinda Setiawan<sup>\*</sup>, Tejo Sukmadi, and Jaka Windarta

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

<sup>\*</sup>E-mail: [maulindasetiawan@gmail.com](mailto:maulindasetiawan@gmail.com)

## Abstrak

Motor induksi tiga fasa di berbagai industri sangat penting untuk dapat dihentikan dalam waktu singkat atau dijaga pada keadaan diam. Pengereman dinamik motor induksi tiga fasa telah umum digunakan untuk menghentikan motor induksi secara elektrik. Umumnya, metode pengereman dinamik tidak dapat menghentikan putaran motor secara cepat layaknya pengereman mekanis. Dalam penelitian ini, akan dibahas mengenai pengereman dinamik menggunakan metode injeksi arus searah. Perancangan Buck Converter dibuat sebagai sumber DC pada pengereman injeksi arus searah motor induksi tiga fasa. Berdasarkan hasil pengukuran *buck converter* dapat beroperasi pada *duty cycle minimal* yaitu 10% dengan tegangan keluaran 11,3V dan arus keluaran 0,16A. Pada *duty cycle* maksimal yaitu 90% dengan tegangan keluaran 29,95V dan arus keluaran 1,15A. Hasil pengujian juga membuktikan bahwa *buck converter* berhasil diaplikasikan pada pengereman injeksi arus searah motor induksi tiga fasa dan telah berhasil menghentikan motor paling cepat dalam waktu 0,18 detik pada saat kondisi tidak terkopel generator DC dan 1,7 detik untuk kondisi terkopel dengan generator DC.

*Kata kunci: motor induksi tiga fasa, buck converter, injeksi arus searah.*

## Abstract

Three phase induction motors in various industries are very important to be stopped within a short time. Dynamic braking of three phase induction motor have been commonly used to brake an induction motor electrically. However, dynamic braking method does not stop the rotation of the motor as quick as mechanical braking. In this research, will discuss about dynamic braking using direct current method. Buck Converter design is made as DC source for direct current braking in three phase induction motors. Based on the result of measurement, buck converter can operate on minimum duty cycle 10% with output voltage 11,3V and output current 0,16A. When duty cycle operate at maksimum duty cycle 90%, output voltage is 29,95V and output current is 1,15A. The test results also prove that the buck converter was successfully applied to direct current braking of the three phase induction motor and has succeeded in stopping the motor fastest in 0.18 seconds when the motor are not coupled with DC generator and 1.7 seconds for the condition is coupled with the DC generator.

*Keywords: 3-ph induction motor, buck converter, direct current braking.*

## 1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan peralatan yang sudah umum digunakan di berbagai industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, penggunaan yang mudah, ketahanan yang tinggi, keandalan yang tinggi, dan biaya perawatan yang rendah. Pada penggunaannya dalam industri salah satu parameter kendali yang penting adalah pengereman. Pengereman sangat dibutuhkan ketika suatu sistem membutuhkan proses berhenti, baik ketika operasi alat sudah selesai digunakan maupun ketika terjadi

kesalahan pada sistem untuk mengamankan peralatan yang sedang bekerja.

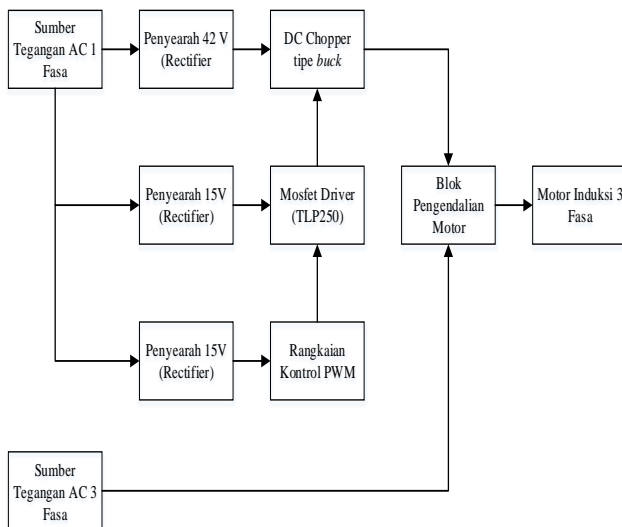
Salah satu metode dalam pengereman motor induksi tiga fasa adalah metode pengereman dinamik (dynamic braking) yaitu dengan cara menginjeksikan arus searah pada kumparan stator motor induksi tiga fasa setelah hubungan kumparan stator dilepas dari sumber tegangan suplai arus bola-balik. Metode pengereman dinamik memiliki keuntungan, antara lain kemudah pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa dan kerugian mekanis dapat dikurangi.

Penelitian mengenai pengereman injeksi arus DC pada motor induksi 3 fasa yang dilakukan sebelumnya oleh M. Anantha B P, pada penelitian tersebut membahas pengereman dinamik dengan metode injek arus DC, tetapi dalam injeksi arus DC masih menggunakan penyearah AC-DC tak terkontrol sehingga tidak bisa melakukan variasi injeksi arus searah[1]. Penelitian selanjutnya yang berjudul “Pemodelan Dan Simulasi Pengereman Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa” oleh Elvys Hirsley Anthon Masihin membahas tentang pengereman motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode pengereman Dinamik. Penulis juga mensimulasikan dengan menggunakan MATLAB R2007b sebelum melakukan pemodelan pengereman dinamik pada motor tiga fasa[16]. Pada penelitian ini akan dibuat perancangan alat untuk proses pengereman dinamik dengan menggunakan metode injeksi arus searah. Penelitian ini menggunakan rangkaian elektronika daya DC-DC Konverter tipe *Buck* sebagai catudaya arus searah yang berfungsi sebagai sumber injeksi arus searah pada proses pengereman motor induksi tiga fasa. Sehingga injeksi arus searah pada pengereman dinamik dapat divariasikan sesuai dengan keadaan motor dan kebutuhan proses pengereman pada penggunaan motor itu sendiri.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan alat pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 1



Gambar 1. Blok Diagram Alat.

### 2.2. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi 3 fasa 1 HP/ 0,75 kW merk Siemens.



Gambar 2. Motor Induksi 3Fasa.

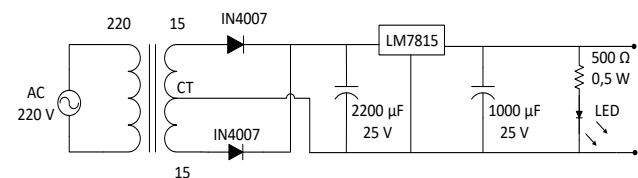
Pengukuran dengan LCR dilakukan pada motor induksi tiga fasa yang digunakan. Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui besar resistansi ( $R$ ) dan induktansi ( $L$ ) pada salah dua terminal motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai beban rangkaian daya pada *buck converter*.

Tabel 1. Hasil Pengukuran nilai R dan L motor induksi tiga fasa

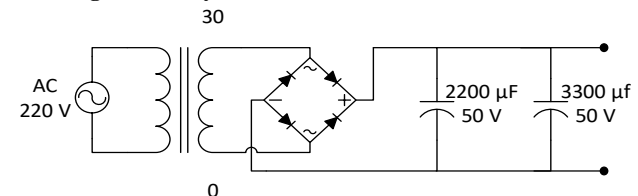
Jenis motor	Induktansi (mH)			Resistansi ( $\Omega$ )		
	R-S	S-T	T-R	R-S	S-T	T-R
Motor Induksi 3 Fasa 1 HP	96,8	95,6	96,3	26,4	26,63	26,63

### 2.3. Penyearah

Penyearah berfungsi sebagai pengubah sinyal bolak-balik (AC) menjadi sinyal searah (DC). Rangkaian penyearah ini digunakan sebagai suplai daya DC *Chopper* dan Rangkaian PWM DC Chopper.



(a) Rangkaian Penyearah Kontrol

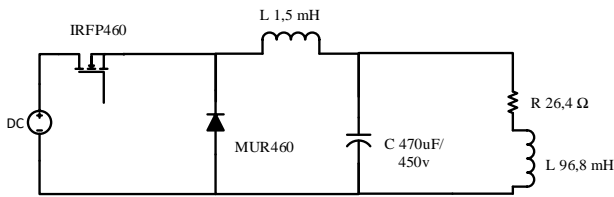


(b) Rangkaian Penyearah Daya

Gambar 3. Rangkaian Penyearah.

### 2.4. Buck Converter

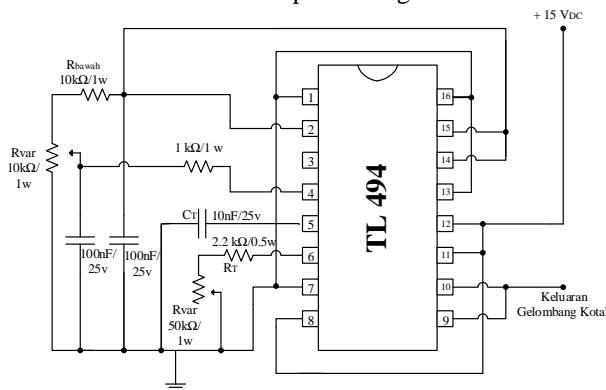
DC *Chopper* tipe *Buck Converter* digunakan sebagai sumber DC untuk proses pengereman injeksi arus searah motor induksi tiga fasa.



Gambar 4. Rangkaian Buck Converter

Komponen – komponen penyusun yang digunakan pada DC-DC Converter tipe Buck Converter antara lain:

1. Sumber DC  
Sumber DC yang dibutuhkan untuk mensuplai DC Chopper didapatkan dari rangkaian penyearah sebesar 42,42 V.
2. MOSFET  
MOSFET digunakan sebagai pensaklar atau *Switch*. MOSFET yang digunakan pada penelitian ini adalah MOSFET IRFP 460 yang mempunyai tegangan *Breakdown Drain-Source*  $V_{(BR)DS}$  adalah 500 V dan kemampuan arus drain maksimal 20 A[13]. MOSFET tipe ini aman untuk digunakan sebagai saklar DC Chopper.
3. Rangkaian PWM  
PWM digunakan untuk pemicuan MOSFET pada rangkaian daya *buck converter*. Penelitian ini menggunakan IC TL494 sebagai IC pemicuan MOSFET. Gambar 5 merupakan rangkaian IC TL494.



Gambar 5. Rangkaian kontrol IC TL494.

Frekuensi osilasi pada pemicuan ini diatur dengan kaki 5 (CT) dan 6 (RT) dari IC TL 494, dimana RT adalah *Resistor Timer* dan CT adalah *Capacitor Timer*.

Besar nilai komponen yang digunakan adalah:

CT	: 10nF / 50 V
RT	: 2,2 kΩ / 0,5 W
R <sub>var</sub>	: 50 kΩ

Besar frekuensi osilasi maksimal dari rangkaian PWM dapat ditentukan dengan Persamaan (1)[10]:

$$f = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (1)$$

Dimana: RT = *Resistor Timer*

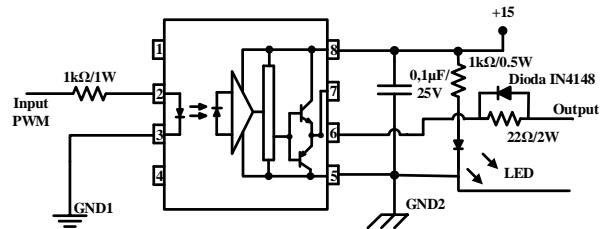
CT = *Capacitor Timer*

Sesuai dengan Persamaan (1), maka:

$$f_{osc(max)} = \frac{1.1}{2200 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 50 \text{ kHz (R}_{var} = 0\Omega)$$

$$f_{osc(min)} = \frac{1.1}{52200 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 2107,28 \text{ Hz (R}_{var} = 50 \text{ k}\Omega)$$

Pada penelitian ini Driver yang digunakan adalah MOSFET Driver. Driver digunakan sebagai penguat sinyal pemicuan untuk MOSFET. MOSFET Driver tipe TLP250 ini mempunyai 1 masukan dan 1 keluaran.



Gambar 6. Rangkaian skematik TLP250.

4. Dioda  
Dioda yang digunakan pada penelitian ini adalah MUR 460. Dioda ini dipilih karena mempunyai sifat *Fast Recovery*, dimana dioda dan mempunyai waktu pemulihan yang sangat singkat yaitu 75 ns, sedangkan DC Chopper dioperasikan pada periode 40 us, sehingga *delay ON-OFF* dioda masih beroperasi dengan normal[14].
5. Induktor  
Induktor yang digunakan pada DC Chopper ini diperhitungkan nilainya untuk disesuaikan dengan parameter lain  
Berikut rumus perhitungan induktor[6]

$$L_{min} = \frac{(1-D) \cdot R}{2 \cdot f} \quad (2)$$

$$L_{min} = \frac{(1 - D)R}{2f_s} = \frac{(1 - 0.7)26}{2.25000} = 0,15\text{mH}$$

Dimana:

L<sub>min</sub> = Induktor

D = *duty cycle*

R = Hambatan depan Chopper

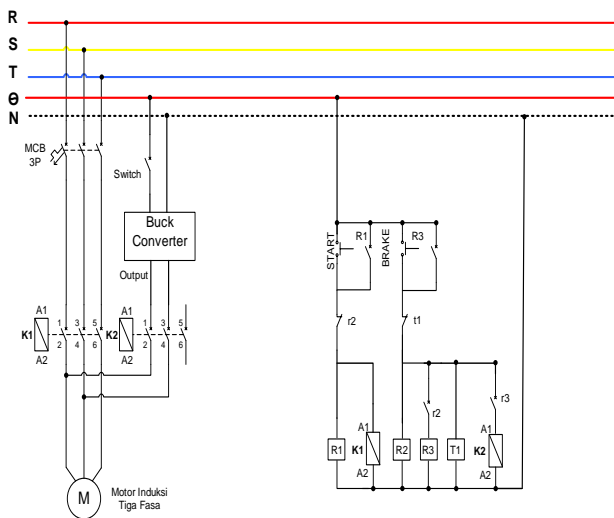
f = Frekuensi operasi DC Chopper

Berdasarkan perhitungan pada persamaan (2) maka dipakai induktor lebih dari  $L_{min}$ , agar buck bekerja pada mode CCM.

6. Kapasitor

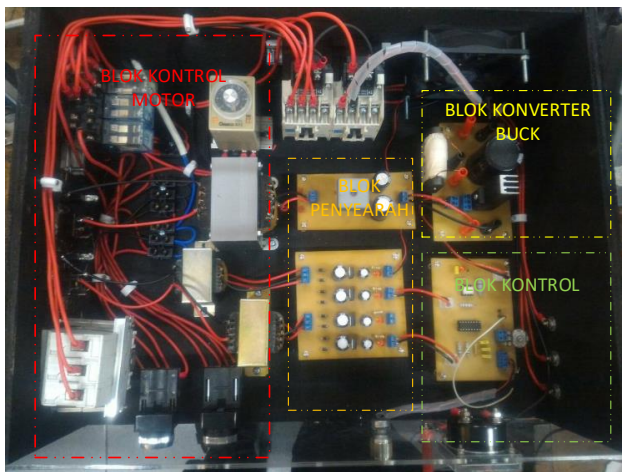
Kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan untuk membatasi *ripple* tegangan pada keluaran DC Chopper.

2.5 Perancangan Kontrol Pengereman Dinamik Metode Injeksi Arus Searah



Gambar 7. Rangkaian daya dan rangkaian kontrol motor.

Gambar 7 merupakan skema pengendalian yang terdiri dari starting dan pengereman motor induksi 3 fasa. Skema pengendalian motor pada penelitian menggunakan konfigurasi kontaktor, *push button*, *relay*, dan *timer*.



Gambar 8. Realisasi rangkaian keseluruhan.

3. Pengukuran dan Analisis

3.1. Pengukuran Rangkaian Buck Converter

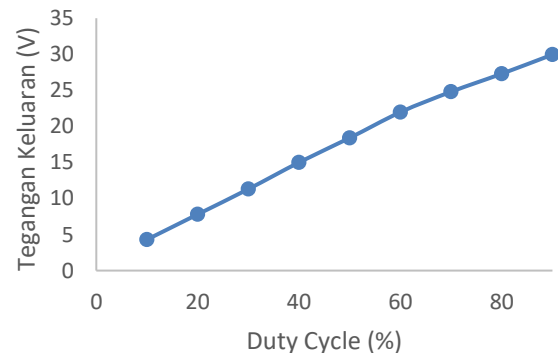
3.1.1 Pengukuran Tegangan Keluaran dengan Beban Induktif (Kumparan R-S Motor Induksi 3 Fasa)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tegangan keluaran dari *Buck converter*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran Tegangan keluaran *buck converter*.

Duty cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Tegangan masukan (volt)	Tegangan keluaran (volt)
10	25	43,3	4,3
20	25	42,34	7,8
30	25	42	11,33
40	25	41	15
50	25	40,01	18,41
60	25	38,98	21,97
70	25	37,9	24,8
80	25	36,9	27,3
90	25	36	29,95

Berdasarkan tabel 2 maka dapat dibuat hubungan antara *duty cycle* dan tegangan keluaran, seperti yang tertera pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan antara *duty cycle* dengan tegangan keluaran beban induktif.

Berdasarkan Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin tinggi *duty cycle*, maka tegangan keluaran yang dihasilkan dari *Buck converter* juga semakin tinggi. Hal ini menunjukkan hubungan antara tegangan keluaran berbanding lurus dengan *duty cycle*.

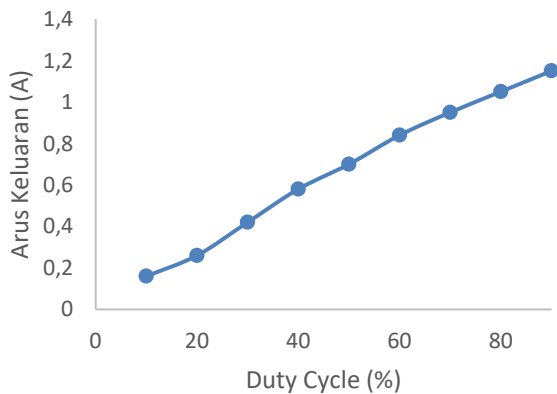
3.1.2 Pengukuran Arus Keluaran dengan Beban Induktif (Kumparan R-S Motor Induksi 3 Fasa)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui arus keluaran dari *Buck converter*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran arus keluaran *buck converter*.

Duty cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Arus Masukan (A)	Arus Keluaran (A)
10	25	0,02	0,16
20	25	0,06	0,26
30	25	0,13	0,42
40	25	0,24	0,58
50	25	0,37	0,7
60	25	0,52	0,84
70	25	0,68	0,95
80	25	0,85	1,05
90	25	1,04	1,15

Berdasarkan tabel 3 maka dapat dibuat tabel hubungan antara *duty cycle* dan arus keluaran, seperti yang tertera pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik perbandingan antara *duty cycle* dengan arus keluaran (pengukuran) beban induktif.

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bahwa arus keluaran berbanding lurus dengan *duty cycle*. Semakin tinggi picuan *duty cycle*, maka arus keluaran pada *Buck converter* juga semakin tinggi.

3.1.3 Perhitungan Efisiensi Buck Converter

Efisiensi *buck converter* dapat dicari dengan cara menghitung daya input ( $P_{in}$ ) dan daya output ( $P_{out}$ ) pada *buck converter* pada masing – masing percobaan, dengan menggunakan Persamaan (3) berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana :

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

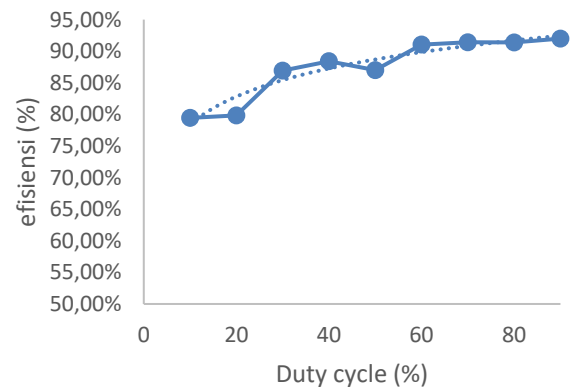
$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

Berdasarkan persamaan (3) maka didapatkan data seperti tertera pada Tabel 4

Tabel 4. Data perhitungan *buck converter* beban induktif.

Duty Cycle (%)	Frekuensi (kHz)	Daya masukan (Pin)	Daya Keluaran (Pout)	Efisiensi (%)
10	25	43,3	0,02	4,3
20	25	42,34	0,06	7,8
30	25	42	0,13	11,3
40	25	41	0,24	15
50	25	40,01	0,37	18,4
60	25	38,98	0,52	21,97
70	25	37,9	0,68	24,8
80	25	36,9	0,85	27,3
90	25	36	1,04	29,95

Berdasarkan tabel 4, maka dapat dibuat grafik hubungan antara *duty cycle* dengan efisiensi pada *buck converter*.



Gambar 11. Grafik perbandingan antara *duty cycle* dengan efisiensi *buck converter* beban induktif.

Gambar 11 menunjukkan bahwa pada saat frekuensi 25 kHz seiring naiknya nilai *duty cycle*, maka nilai efisiensi *buck converter* akan semakin naik.

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan pada *buck converter* beban induktif frekuensi 25 kHz terjadi pada saat nilai *duty cycle* sebesar 90%, yaitu sebesar 91,99%, sedangkan nilai efisiensi yang terendah terjadi pada saat *duty cycle* 10% yaitu sebesar 79,45%. Rata-rata efisiensi yang dihasilkan pada *buck converter* yaitu sebesar 87,50%.

**3.2. Pengujian Aplikasi Buck Converter Pada Pengereman Dinamik Metode Injeksi Arus Searah Motor Induksi 3 Fasa**

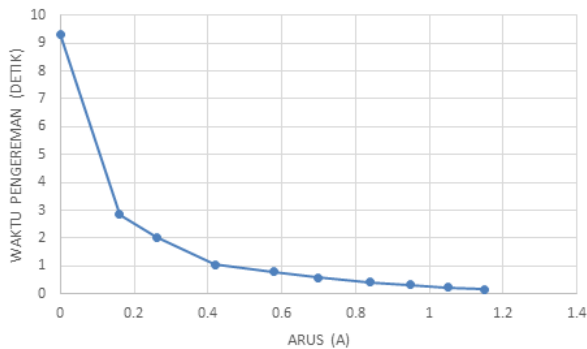
**3.2.1 Pengujian Pengereman Dinamik Metode Injeksi Arus Searah Pada Motor Induksi 3 Fasa Tanpa Kopel Generator DC**

Pengujian pengereman injeksi arus searah dilakukan untuk mengetahui pengaruh injeksi arus searah yang dihasilkan dari keluaran DC *Chopper Buck* yang di hubungkan ke dua terminal dari motor induksi 3 fasa. Hasil pengujian tertera pada Tabel 5.

**Tabel 5. Data hasil pengujian pengereman injeksi arus DC pada motor induksi tiga fasa.**

Duty Cycle (%)	Vout (V)	Injeksi Arus DC (A)	Waktu Rata-rata Berhenti Motor (s)
	Tanpa Pengereman		9,32
10	4,3	0,16	9,32
20	7,8	0,26	2,84
30	11,33	0,42	2,04
40	15	0,58	1,06
50	18,41	0,7	0,8
60	21,97	0,84	0,58
70	24,8	0,95	0,42
80	27,3	1,05	0,32
90	29,95	1,15	0,19

Berdasarkan Tabel 5 dapat disajikan grafik perbandingan arus keluaran terhadap lama waktu yang diperlukan motor induksi untuk berhenti.



**Gambar 12. Grafik perbandingan arus injeksi dengan lama waktu pengereman.**

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa pengujian pengereman dinamik metode injeksi arus DC pada motor induksi tiga fasa tanpa terkopel Generator DC sudah sesuai teori. Hubungan antara injek arus DC dan waktu pengereman adalah berbanding lurus. Semakin besar injeksi arus DC yang di suplai pada proses pengereman, maka semakin cepat pula waktu yang diperlukan motor induksi tiga fasa untuk berhenti. Arus DC dapat menyebabkan medan stasioner pada rotor, sehingga semakin besar arus injeksi searah, medan stasioner yang

timbul pada stator semakin besar dan menyebabkan rotor berhenti.

Nilai rata-rata torsi pengereman dapat dihitung dengan penurunan rumus pada persamaan (4).

$$\Delta t = J \frac{(\omega_1 - \omega_0)}{T_d(t) - T_L(t) + T_b(t)} \quad (4)$$

Keterangan :

$J$  = Momen inersia (kg.m<sup>2</sup>)

$\omega_0$  = Kecepatan awal (Rad)

$\omega_1$  = Kecepatan akhir (Rad)

$T_d$  = Torsi motor (N.m)

$T_L$  = Torsi beban (N.m)

$T_b$  = Torsi pengereman (N.m)

$\Delta t$  = Waktu berhenti (detik)

Nilai kecepatan sudut ( $\omega_1 - \omega_0$ ) dikalikan  $\frac{2\pi}{60}$  untuk

mengkonversi dari rpm ke radian. Contoh perhitungan nilai torsi pengereman pada saat *duty cycle* 10% dengan nilai arus injeksi 0,16A adalah sebagai berikut :

1. Variasi nilai arus injeksi DC 0,16 A :

$$T_b \text{ arus injeksi DC 0,16 A} = \frac{j(\omega_1 - \omega_0)(2\pi)}{\Delta t(60)} - T_d$$

$$T_b \text{ arus injeksi DC 0,16 A} = \frac{0,0069(1498 - 0)(2\pi)}{2,84(60)} - 0,116$$

$$T_b \text{ arus injeksi DC 0,26 A} = 0,265 \text{ N.m}$$

Berdasarkan data yang telah diperoleh pada pengujian, maka dapat dilihat torsi pengereman yang dihasilkan pada setiap variasi injek DC.

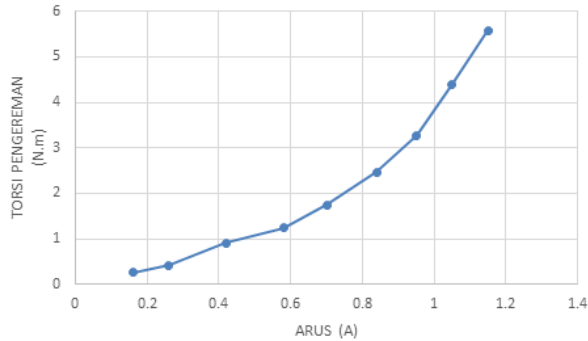
**Tabel 6. Perhitungan torsi pengereman motor induksi 3 fasa**

Arus Injeksi (A)	Waktu Pengereman (detik)	Torsi Pengereman (N.m)
Tanpa pengereman	9,32	-
0,16	2,84	0,265
0,26	2,04	0,414
0,42	1,06	0,905
0,58	0,8	1,237
0,7	0,58	1,750
0,84	0,42	2,461
0,95	0,32	3,266
1,05	0,24	4,394
1,15	0,16	5,580

Berdasarkan tabel 6, menunjukkan bahwa metode pengereman dengan injeksi arus DC 0,16 A sampai dengan 1,15 memiliki torsi pengereman sebesar 0,265 Nm sampai dengan 5,58 Nm. Torsi pengereman memiliki arah yang



berlawanan dengan arah putar motor induksi sehingga rotor dapat berhenti. Berdasarkan tabel 6 dapat disajikan grafik seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik hubungan arus injeksi terhadap torsi pengereman.

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa pengujian pengereman dinamik metode injeksi arus DC pada motor induksi tiga fasa tanpa terkopel Generator DC sudah sesuai teori. Hubungan antara injek arus DC dan besar torsi pengereman adalah berbanding lurus. Semakin besar injeksi arus DC yang di suplai pada proses pengereman, maka semakin besar pula torsi pengereman yang ditimbulkan. Torsi pengereman mempunyai arah yang berlawanan dengan arah putar motor induksi. Sehingga semakin besar torsi pengereman yang ditimbulkan, maka semakin cepat pula motor induksi berhenti.

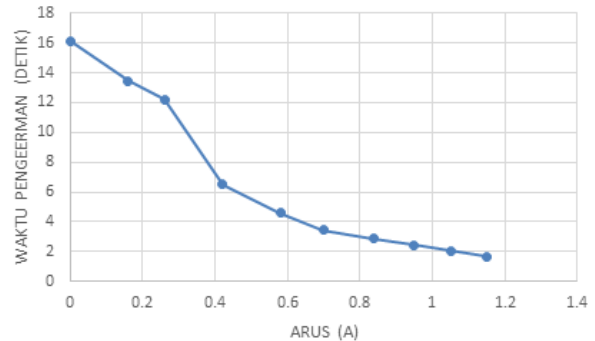
### 3.2.2 Pengujian Pengereman Dinamik Metode Injeksi Arus Searah Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Kopel Generator DC

Pengujian pengereman injeksi arus searah pada motor induksi tiga fasa dengan menggunakan kopel generator DC dilakukan untuk mengetahui pengaruh kopel terhadap lama waktu pengereman pada motor. Beban kopel generator DC digunakan sebagai beban mekanik untuk motor induksi tiga fasa

Tabel 7. Data hasil pengujian pengereman injeksi arus DC pada motor induksi tiga fasa dengan kopel generator DC.

Duty Cycle (%)	Vout (V)	Injeksi Arus DC (A)	Waktu Rata-rata Berhenti Motor (s)
	Tanpa Pengereman		16,12
10	4,3	0,16	13,44
20	7,8	0,26	12,2
30	11,33	0,42	6,5
40	15	0,58	4,6
50	18,41	0,7	3,46
60	21,97	0,84	2,88
70	24,8	0,95	2,46
80	27,3	1,05	2,04
90	29,95	1,15	1,7

Berdasarkan Tabel 7 dapat disajikan grafik perbandingan arus keluaran terhadap lama waktu yang diperlukan motor induksi untuk berhenti.



Gambar 14. Grafik perbandingan arus injeksi dengan lama waktu pengereman.

Berdasarkan Gambar 14 dapat dilihat bahwa hubungan antara injek arus DC dan waktu pengereman adalah berbanding lurus. Semakin besar injeksi arus DC yang di suplai pada proses pengereman, maka semakin cepat pula waktu yang diperlukan motor induksi tiga fasa untuk berhenti. Arus DC dapat menyebabkan medan stasioner pada rotor, sehingga menimbulkan torsi pengereman yang mempunyai arah yang berlawanan dengan arah putar motor. Semakin besar arus injeksi searah, medan stasioner yang timbul pada stator semakin besar dan menyebabkan rotor semakin cepat berhenti.

Nilai rata-rata torsi pengereman dapat dihitung dengan penurunan rumus pada persamaan (4). Contoh perhitungan nilai torsi pengereman pada saat *duty cycle* 10% dengan nilai arus injeksi 0,16A adalah sebagai berikut :

1. Variasi nilai arus injeksi DC 0,16 A :

$$T_b \text{ arus injeksi DC } 0,16 \text{ A} = \frac{j(\omega_1 - \omega_0)(2\pi)}{\Delta t(60)} - T_d$$

$$T_b \text{ arus injeksi DC } 0,16 \text{ A} = \frac{0,029(1495 - 0)(2\pi)}{13,44(60)} - 0,282$$

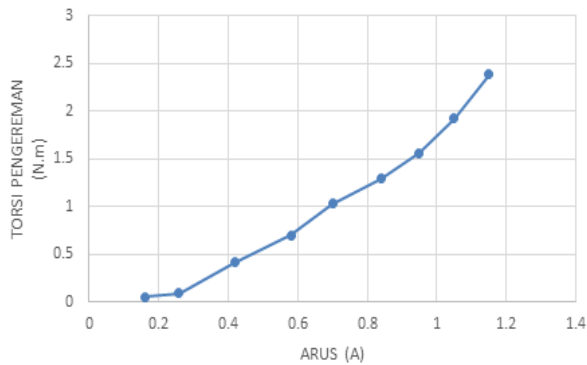
$$T_b \text{ arus injeksi DC } 0,16 \text{ A} = 0,0553 \text{ N.m}$$

Berdasarkan data yang telah diperoleh pada pengujian, maka dapat dilihat torsi pengereman yang dihasilkan pada setiap variasi injek DC, seperti yang ertera pada tabel 8.

**Tabel 8. Perhitungan torsi pengereman motor induksi 3 fasa dengan kopel generator DC.**

Arus Injeksi (A)	Waktu Pengereman (detik)	Torsi Pengereman (N.m)
Tanpa pengereman	16,22	-
0,16	13,44	0,055
0,26	12,2	0,089
0,42	6,5	0,415
0,58	4,6	0,703
0,7	3,46	1,028
0,84	2,88	1,292
0,95	2,46	1,561
1,05	2,06	1,918
1,15	1,7	2,384

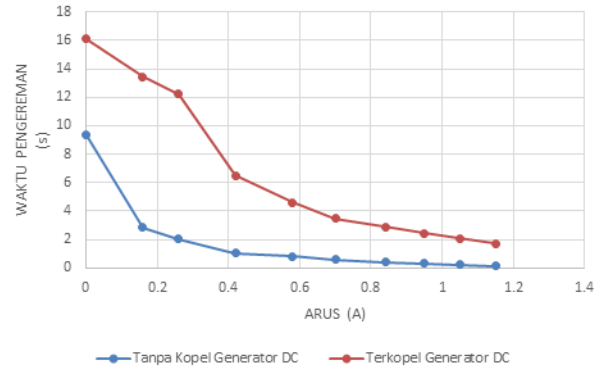
Berdasarkan tabel 8, dapat dilihat bahwa metode pengereman dengan injeksi arus DC 0,16 A sampai dengan 1,15 memiliki torsi pengereman sebesar 0,055 Nm sampai dengan 2,384 Nm. Torsi pengereman memiliki arah yang berlawanan dengan arah putar motor induksi sehingga rotor dapat berhenti. Berdasarkan tabel 8 dapat disajikan grafik seperti pada gambar 15.



**Gambar 15. Grafik hubungan arus injeksi terhadap torsi pengereman**

Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat bahwa pengujian pengereman dinamik metode injeksi arus DC pada motor induksi tiga fasa saat terkopel Generator DC sudah sesuai teori. Hubungan antara injeksi arus DC dan besar torsi pengereman adalah berbanding lurus. Semakin besar injeksi arus DC yang di suplai pada proses pengereman, maka semakin besar pula torsi pengereman yang ditimbulkan. Torsi pengereman mempunyai arah yang berlawanan dengan arah putar motor induksi. Sehingga semakin besar torsi pengereman yang ditimbulkan, maka semakin cepat pula motor induksi berhenti.

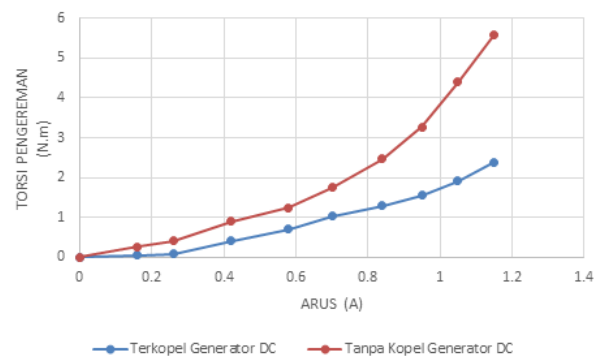
Setelah dilakukan pengujian pengereman motor induksi tiga fasa dengan kondisi tidak dibebani kopel Generator DC dan dengan dibebani Kopel Generator DC, maka didapat data berupa waktu henti motor pada dua kondisi tersebut. Gambar 16 merupakan grafik perbandingan lama waktu henti yang diperlukan motor induksi tiga fasa pada setiap kondisi saat dilakukan pengujian.



**Gambar 16. Grafik Perbandingan waktu pengereman saat dengan kopel Generator DC dan tanpa terkopel Generator DC.**

Berdasarkan Gambar 16 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan waktu pengereman saat motor pada kondisi tanpa dikopel generator dan dengan beban kopel generator. Motor induksi tiga fasa membutuhkan waktu lebih untuk berhenti pada saat dibebani kopel generator. Hal ini disebabkan saat motor induksi dibebani kopel generator, maka Pembebanan motor menggunakan generator DC juga menyebabkan massa rotor bertambah. Hal ini menyebabkan nilai momen inersia keseluruhan mesin bertambah, sehingga waktu yang dibutuhkan motor induksi untuk berhenti akan lebih lama.

Perbandingan torsi pengereman yang dihasilkan pada saat proses pengereman pada saat dengan kondisi tidak dibebani kopel Generator DC dan dengan dibebani Kopel Generator DC juga dapat dilihat pada gambar 17.



**Gambar 17. Grafik Perbandingan torsi pengereman pada kondisi terkopel Generator DC dan tanpa terkopel Generator DC.**

Berdasarkan Gambar 17 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan torsi pengereman yang dihasilkan saat motor pada kondisi tanpa dikopel generator dan dengan beban kopel generator. Torsi pengereman yang dihasilkan pada saat motor induksi tiga fasa tidak dikopel generator DC lebih besar daripada saat kondisi motor dikopel dengan generator DC. Hal ini disebabkan saat motor induksi



dibebani kopel generator, maka pembebanan rotor pada motor saat terkopel generator DC juga menyebabkan massa rotor bertambah. Hal ini menyebabkan nilai momen inersia keseluruhan mesin bertambah, sehingga torsi motor yang dihasilkan lebih kecil daripada saat kondisi tidak dikopel dengan generator DC.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa *buck converter* telah berhasil diaplikasikan pada pengereman injeksi arus searah motor induksi tiga fasa. *buck Converter* sudah berhasil dibuat dan dapat menghasilkan tegangan keluaran yang dapat berubah menjadi lebih kecil dari tegangan masukan. , rata-rata nilai efisiensi *buck Converter* pada beban induktif cukup tinggi yaitu pada frekuensi 25 kHz sebesar 87,50 %, *buck Converter* saat diberikan beban induktif dengan *duty cycle* minimum 10% dan frekuensi 25 kHz memberikan tegangan keluaran sebesar 11,3V dan arus keluaran 0,16A. Saat beroperasi pada *duty cycle* maksimum yaitu 90% dapat memberikan tegangan keluaran 29,95V dan arus keluaran 1,15A. Pada hasil pengujian *buck converter* saat diaplikasikan pada pengereman injeksi arus searah motor induksi tiga fasa dengan kondisi tidak terkopel generator DC, saat *buck converter* beroperasi pada *duty cycle* minimum 10% dengan arus keluaran 0,16A, , waktu yang diperlukan motor untuk berhenti adalah 2,84 detik dan torsi pengereman 0,265 N.m . Pada saat *duty cycle* maksimum 90% dengan arus keluaran 1,15 A, waktu yang diperlukan motor untuk berhenti adalah 0,19 detik, dengan torsi pengereman 5,580 N.m. Semakin besar injeksi arus yang diberikan pada motor, semakin besar pula torsi pengereman yang dihasilkan, maka semakin cepat juga waktu yang dibutuhkan motor untuk berhenti. Begitu juga pada pengereman injeksi arus searah motor induksi tiga fasa dengan kondisi terkopel dengan generator DC. Saat *buck converter* beroperasi pada *duty cycle* minimum 10% dengan arus keluaran sebesar 0,16, waktu yang diperlukan motor untuk berhenti adalah 13,44 detik, dengan torsi pengereman 0,055 N.m. Pada saat *duty cycle* maksimum 90% dengan arus keluaran 1,15 A, waktu yang diperlukan motor untuk berhenti adalah 1,7 detik, dengan torsi 2,384 N.m. Perbedaan waktu henti yang terjadi pada motor induksi saat kondisi tanpa terkopel dengan generator DC lebih cepat dibandingkan dengan kondisi saat dikopel dengan generator DC. Hal ini disebabkan oleh pengaruh momen inersia.

#### Referensi

- [1]. BP Ananta, Agung Warsito, Mochammad Facta. "Pengereman dinamik pada motor induksi tiga fasa", Transmisi, Vol 8, No. 1, Juni 2006.
- [2]. P.L. Rongmei, Shimi S.L, Dr. S. Chatterji, Vinod K. Sharma. "A Novel fast Braking System for Induction Motor", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 6, June 2012.
- [3]. Rishabh Singh, Umashankar. S, D. Vijaykumar. "Dynamic braking of induction motor – Analysis of conventional methods and an efficient multistage braking model". VIT University. Vellore, India. 2005.
- [4]. Wildi, Theodore. "Electrical Machines, Drives, and Power System", Prentice Hall Inc, New Jersey. 2002.
- [5]. W.H. Daniel, "Power Electronics," dalam The McGraw-Hill Companies, Indiana, Valparaiso University, 2011.
- [6]. *TL494, NCV494 Switchmode Pulse Width Modulation Control Circuit*, On Semiconductor Product Inc, 2005.
- [7]. Zuhail. "Prinsip Dasar Elektroteknik", Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2004.
- [8]. Rashid, Muhammad H., "Power Electronics Handbook", University of Florida, Florida, 2001.
- [9]. G.K. Dubey, "Fundamentals of Electric Drive", Narosa Publishing House, 1995.
- [10]. Hindmarsh, John. "Electrical Machines and Drive Systems Third Edition", Newnes, Woburn MA. 2002.
- [11]. Vedam, Subrahmanyam. "Electric Drives, Concepts and Applications", Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1994.
- [12]. *TOSHIBA Photocoupler TLP250*, TOSHIBA Inc, 2004.
- [13]. *IRFP460, SiHFP460 Vishay Siliconix Power MOSFET*, Vishay Product Inc, 2008.
- [14]. *MUR440-E3, MUR460-E3 Ultrafast Plastic Rectifier*, Vishay General Semiconductor Inc, 2016.
- [15]. Datasheet three phase Squirrel Cage Motor SIEMENS 1LA7083-4AA10-Z
- [16]. Masihin, Elvys Hirsley Anthon. "Pemoelan dan Simulasi Pengereman Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa", Jakarta, 2008
- [17]. Chapman, Stephen J. "Electric Machinery Fundamentals", Second Edition Mc Graw Hill Companies, Singapore, 1991.
- [18]. Fitzgerald, A.E. "Electric Machinery", Sixth Edition Mc Graw Hill Companies, Americas, 2003.

- [19]. Syauqie Candra Buana, Tejo Sukmadi, Mochammad Facta. "Pengereman Dinamik Bertingkat untuk Motor Induksi Tiga Fasa", *Transient*, Vol. 5, No. 3, September 2016.
- [20]. Lukman Wira Cahyadi, Trias Andromeda, Mochammad Facta. "Kinerja Konverter Arus Searah Tipe *Buck* Converter Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis TL494", *Transient*, Vol.6, No.1, Agustus 2017.
- [21]. Muhamad Hami Pradipta, Tejo Sukmadi, Mochammad Facta. "Pengereman Dinamis Konvensional Pada Motor Tiga Fasa", *Transient*, Vol.3, No.4, Maret 2015.
- [22]. Biyan Suhardanto, Mochammad Facta, Agung Nugroho. "Pembuatan DC-DC Konverter 300 Volt Jenis *Buck*", *Transient*, Vol.4, No.2, Juni 2016.
- [23]. Juli Setiawan, Mochammad Facta, Bambang Winardi. "Perancangan Arus Searah Tipe Buck Pada Mode Operasi CCM dan DCM", *Transient*, Vol. 4 No.3, November 2017.