

CATU DAYA ARUS SEARAH TERKONTROL JENIS BUCK CONVERTER UNTUK PEMISAH MAGNETIK DALAM KONVEYOR

Pandita Margayu^{*}, Agung Nugroho, and Mochammad Facta

Program S1 Teknik Elektro, Departemen Teknik Elektro,
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

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

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga UAP (PLTU) merupakan pembangkit listrik tenaga termal yang menggunakan batubara sebagai salah satu bahan bakarnya[1]. Batubara ini dikirim dari pelabuhan sampai ke tungku pembakaran menggunakan konveyor[2]. Selama proses pengiriman batubara menuju tungku api, seringkali batubara terkontaminasi dengan material logam[3]. Kontaminasi material logam ini dapat merusak peralatan operasi, dan mengurangi kemurnian batubara itu sendiri, sehingga efisiensi tungku pembakaran berkurang[3]. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut ialah dengan menggunakan metode pemisah magnetik (*Magnetic Separator*) secara elektromagnetik. *Magnetic Separator* ini berguna untuk memisahkan material logam dari kumpulan batubara. Pemisahan magnetik secara elektromagnetik ini membutuhkan sumber daya (catu daya) searah atau DC. Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan *DC Chopper Buck Converter* sebagai sumber daya pada *Magnetic Separator*. Perancangan ini dibuat dengan simulasi PSIM. *Magnetic Separator* telah berhasil memisahkan material logam dari kumpulan batubara. Tingkat keberhasilan pemisahan tersebut cukup tinggi yaitu 100%. Berdasarkan hasil pengukuran *Buck Converter* dengan frekuensi 20 kHz dan 30 kHz pada beban kumparan *Magnetic Separator* menghasilkan efisiensi rata-rata 84,63% dan 84,85%.

Kata kunci : *Magnetic Separator, DC Chopper, Buck Converter.*

Abstract

Electric Steam Power Plant is a thermal power plant that uses coal as a fuel[1]. The coal is sent from the jetty to the coal furnace using conveyor[2]. During the process of delivery of coal to the coal furnace, coal is often contaminated with the metal material[3]. Contamination of the metal material may damage the operation of equipment and reduce the purity of the coal itself that make the furnace efficiency reduced[3]. One of the way to overcome this problem is by using *Magnetic Separator* electromagnetically. *Magnetic Separator* is useful for separating metal material from a collection of coal. This *Magnetic Separator* requires a power source (power supply) of direct current (DC). In this final project was aimed to design a *Buck Converter* as power supply for the *Magnetic Separator*. The design was made by using PSIM simulation. Based on the test result of work *Magnetic Separator*, *Magnetic Separator* has succeeded in separating metal material from a collection of coal. The success rate of such separation is high at 100%. Based on the result of measurements, *Buck Converter* with a frequency 20 kHz and 30 kHz on the load coil *Magnetic Separator* produced an average efficiency 84,63% and 84,85%.

Keywords: *Magnetic Separator, DC Chopper, Buck Converter.*

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga UAP (PLTU) merupakan pembangkit listrik tenaga termal yang menggunakan batubara sebagai salah satu bahan bakarnya[1]. Batubara ini dikirim dari pelabuhan sampai ke tungku pembakaran menggunakan konveyor[2].

Salah satu proses produksi pada PLTU yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah pada proses pengiriman batubara dari pelabuhan sampai pada tungku api pembakaran. Selama proses pengiriman batubara menuju

tungku api, batubara seringkali terkontaminasi dengan material logam. Kontaminasi material logam ini dapat merusak peralatan operasi, dan mengurangi kemurnian batubara itu sendiri, sehingga efisiensi tungku pembakaran berkurang[3].

Berdasarkan masalah di atas, maka dibuatlah alat pemisah magnetik (*Magnetic Separator*) yang berguna untuk memisahkan material-material logam seperti paku, baut, batangan besi, dan lain-lain dengan menggunakan medan magnet.

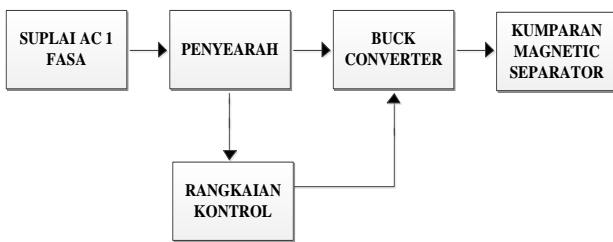
Medan magnet yang dihasilkan dari pemisah magnetik (*Magnetic Separator*) dihasilkan dengan prinsip elektromagnetik, yaitu jika muatan listrik mengalir melalui kawat penghantar konduktor, maka akan timbul pengaruh magnetik di sekitar kawat berarus tersebut (Hukum Oersted)[5]. karena medan magnet yang dibutuhkan pada *Magnetic Separator* medan magnet searah, maka diperlukan sumber arus searah atau DC.

Buck Converter power supply adalah suatu peralatan yang mengkonversikan tegangan DC masukan menjadi tegangan DC lain yang lebih rendah (konverter penurun tegangan) dan terkontrol[8]. *Buck Converter* ini digunakan untuk menyuplai daya ke kumparan *Magnetic Separator*.

2. Metode

2.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

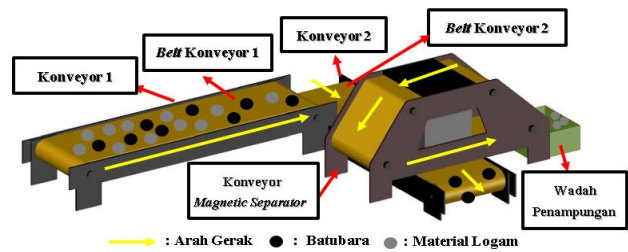
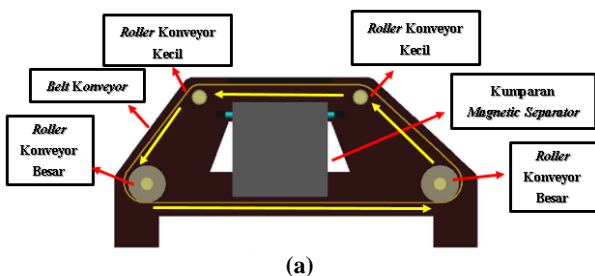
Perancangan alat pada tugas akhir ini terdiri dari suplai AC 1 fasa, penyearah, DC *Chopper* tipe *Buck Converter*, rangkaian kontrol dan *Magnetic Separator* sebagai beban.



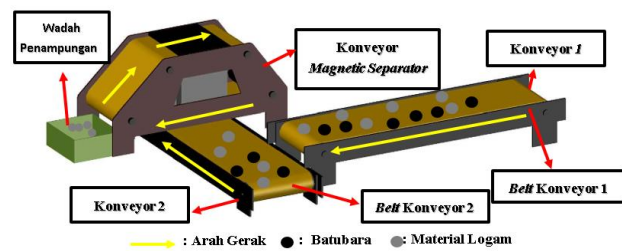
Gambar 1. Blok Diagram Alat

Suplai AC 1 fasa yang digunakan langsung dari jala-jala PLN. Penyearah digunakan untuk mensearahkan sumber AC menjadi sumber DC konstan. Keluaran DC *Chopper Buck Converter* ini digunakan sebagai masukan kumparan *Magnetic Separator*.

2.2 Konveyor *Magnetic Separator*



(b)



(c)

Gambar 2. (a) Konveyor *Magnetic Separator*
(b) Konveyor Keseluruhan Tampak Depan
(c) Konveyor Keseluruhan Tampak Belakang

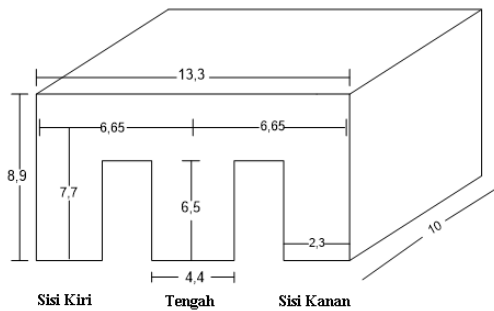
Gambar 2(a) menunjukkan gambar model konveyor yang akan diimplementasikan sebagai konveyor *Magnetic Separator*. Konveyor tersebut dilengkapi dengan dua roller konveyor kecil, dua roller konveyor besar, belt konveyor dan juga dilengkapi dengan kumparan *Magnetic Separator* yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Kumparan elektromagnetik ini dipasang pada bagian tengah Konveyor dan dikelilingi oleh belt konveyor sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Selanjutnya, Gambar 2(a) akan diterapkan pada Gambar 2(b) dan Gambar 2(c).

Pada Gambar 2(b) dan Gambar 2(c) menunjukkan model konveyor secara keseluruhan, termasuk konveyor 1 dan konveyor 2 sebagai konveyor pembawa batubara dan zat-zat pengotor (material logam) serta konveyor *Magnetic Separator* sebagai pemisah magnetik. Proses pembawaan batubara dan material logam diilustrasikan pada Gambar 2(b) dan Gambar 2(c). Batubara ditandai dengan bundaran warna hitam, sedangkan material logam ditandai dengan bundaran warna abu-abu. Pertama-tama, batubara dan material logam dibawa oleh konveyor 1 menuju ke konveyor 2. Lalu, setelah batubara dan material logam tersebut akan dibawa menuju ke konveyor *Magnetic Separator*. Ketika batubara beserta material logam melewati konveyor *Magnetic Separator*, material logam tersebut akan tertarik oleh kumparan elektromagnet dan material logam tersebut akan menempel pada belt konveyor *Magnetic Separator*. Apabila *Belt* konveyor *Magnetic Separator* berputar ke arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(b) dan 2(c), maka putaran dari belt tersebut

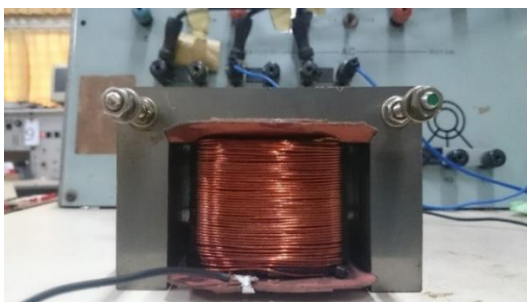
akan memberikan gaya dorong pada material logam yang menempel pada *belt*. Sehingga, material logam yang menempel pada belt konveyor *Magnetic Separator* tersebut akan terlempar ke arah wadah penampungan. Sedangkan, batubara dapat melewati konveyor *Magnetic Separator* karena batubara tidak mengandung material logam atau benda non-magnetik.

2.3. Kumparan *Magnetic Separator*

Pada rangkaian dc chopper ini menggunakan beban induktor yang terbuat dari bahan magnet neodmium bentuk E dengan ukuran 13,3 x 8,9 cm dan digunakan 100 lempeng besi E, sehingga berat total menjadi 8 Kg dan panjang total 10 cm. Pada bagian tengah besi E ini dililit sebanyak 850 lilitan kawat email dengan ukuran kawat 1mm.. Bahan dari magnet neodmium yang memiliki permeabilitas relatif 1,05 [14]. Pada Gambar 3 ditunjukkan ukuran dimensi dan bentuk realisasinya dari beban induktor (*Magnetic Separator*). Pada Tabel 1 ditunjukkan spesifikasi dari kumparan *Magnetic Separator*.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Ukuran Dimensi Beban Induktor (kumparan *Magnetic Separator*)
(b) Realisasi beban induktor (kumparan *Magnetic Separator*)

Tabel 1. Spesifikasi kumparan *Magnetic Separator*

Parameter	Keterangan
Jenis besi	Neodymium magnet tipe E
Dimensi	13,3 x 10 cm
Berat	8 Kg
Jenis kawat	Email england
Ukuran kawat	1 mm ²
Suhu operasi	0°C - 200°C
Jumlah lilitan	850

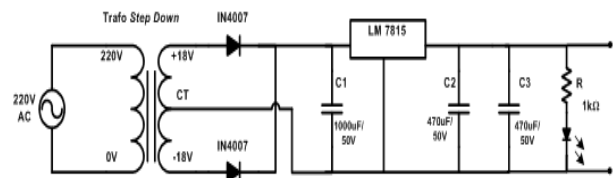
Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan pada beban induktor (kumparan *Magnetic Separator*) tersebut, dapat ditentukan karakteristik dari kumparan *Magnetic Separator* sebagaimana yang disebutkan pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Karakteristik kumparan *Magnetic Separator*

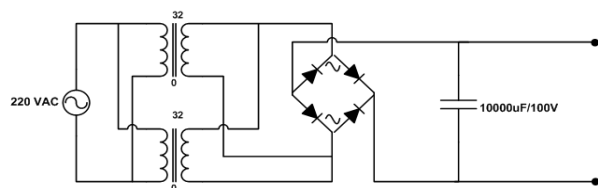
Parameter	Keterangan
Tegangan	20 V
Arus	5 A
Daya	100 W
Resistansi	3,35 Ω
Induktansi	135 mH

2.4. 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. Gambar 4 (a) dan (b) menunjukkan rangkaian penyearah:



(a)



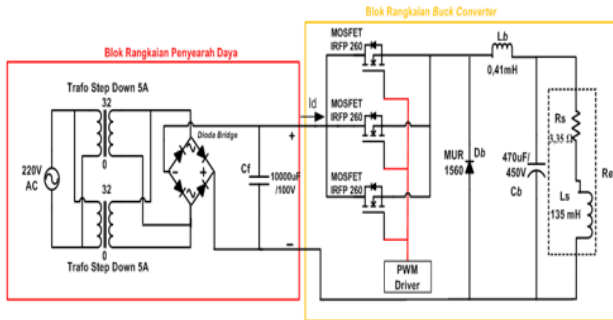
(b)

Gambar 4. (a) Rangkaian Penyearah Kontrol
(b) Rangkaian Penyearah Daya

Penyearah pada tugas akhir ini dilengkapi dengan kapasitor sebagai filter tegangan keluaran.

2.5. Buck Converter

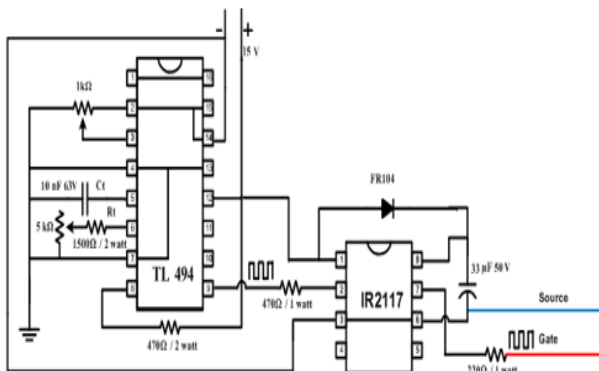
DC Chopper tipe *Buck Converter* digunakan sebagai penyedia daya DC untuk kumpulan *Magnetic Separator*.



Gambar 5. 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 45,25 V.
2. MOSFET
MOSFET digunakan sebagai pensaklar atau *Switch*. MOSFET yang digunakan pada tugas akhir ini adalah MOSFET IRFP 260 yang mempunyai tegangan *Breakdown Drain-Source* $V_{(BR)DS}$ adalah 200 V dan kemampuan arus drain maksimal 49 A[16]. MOSFET tipe ini aman untuk digunakan sebagai saklar DC Chopper.
3. Rangkaian PWM
PWM digunakan untuk pemicuan MOSFET.



Gambar 6. Rangkaian PWM DC Chopper

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 : 1,5 kΩ / 2 W
- R_{var} : 5 kΩ

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

$$\text{Tegangan Keluaran} = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (1)$$

Referensi

Dimana: RT = *Resistor Timer*

CT = *Capacitor Timer*

Sesuai dengan Persamaan (1), maka:

$$f_{osc(max)} = \frac{1,1}{1500 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 73,33 \text{ kHz} \quad (R_{var} = 0\Omega)$$

$$f_{osc(min)} = \frac{1,1}{6500 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 16,923 \text{ Hz} \quad (R_{var} = 5 \text{ k}\Omega)$$

4. Dioda
Dioda yang digunakan pada tugas akhir ini adalah MUR 1560. Dioda ini dipilih karena mempunyai sifat *Fast Recovery*, dimana dioda dan mempunyai waktu pemulihan yang sangat singkat yaitu 55 ns, sedangkan DC Chopper dioperasikan pada periode 50 us, sehingga *delay ON-OFF* dioda masih beroperasi dengan normal[17].
5. Induktor
Induktor yang digunakan pada DC Chopper ini diperhitungkan nilainya untuk disesuaikan dengan parameter lain
Berikut rumus perhitungan induktor[21]
$$L_{min} = \frac{(1-D) \cdot R}{2 \cdot f} \quad (2)$$

Dimana:
L_{min} = Induktor
D = *duty cycle*
R = Hambatan depan Chopper
f = Frekuensi operasi DC Chopper

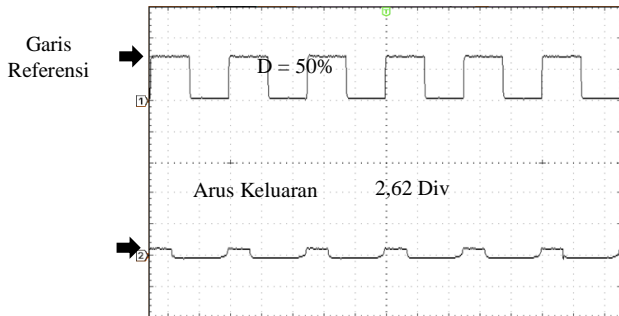
6. Kapasitor
Kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan untuk membatasi *ripple* tegangan pada keluaran DC Chopper.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengukuran Rangkaian Buck Converter

3.1.1. Pengukuran Tegangan Keluaran dengan Beban Induktif (Kumparan Magnetic Separator)

Gambar 7 merupakan gelombang tegangan keluaran Buck Converter pada *duty cycle* 50% :

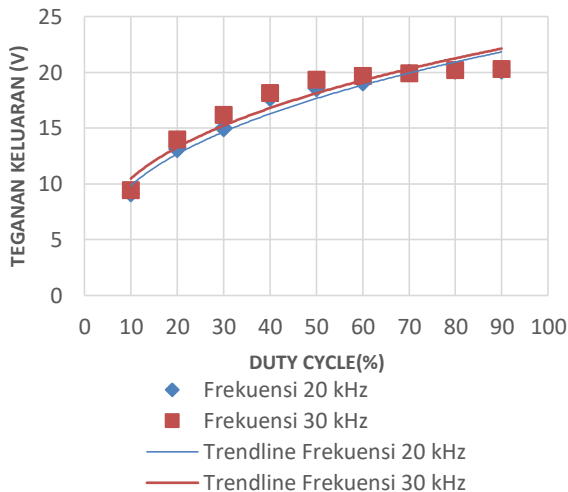


Gambar 7. Gelombang Tegangan Keluaran dengan $D = 50\%$ Beban Induktif

Berdasarkan Gambar 6 diketahui tegangan keluaran sebesar 0,1854 div dengan skala probe 10X, sehingga nilainya dapat dihitung:

$$V_{out} = 0,1854 \text{ div} \times 10 \text{ V/div} \times 10 \\ = 18,54 \text{ V}$$

Pada Gambar 8 dapat dilihat hasil pengukuran tegangan keluaran DC Chopper dengan beban induktif.



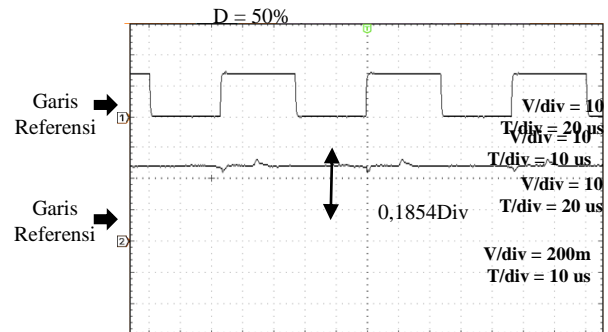
Gambar 8. Hasil pengukuran *duty cycle* terhadap tegangan keluaran

Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa hasil pengukuran sudah sesuai dengan teori. Karakteristik DC Chopper Buck yaitu menurunkan tegangan dari tegangan masukan. Dari Gambar 8 di atas terlihat bahwa nilai *duty cycle* berbanding lurus dengan tegangan keluaran. Semakin

kecil *duty cycle* yang diberikan, maka tegangan keluaran akan semakin kecil.

3.1.2. Pengukuran Arus Keluaran dengan Beban Induktif (Kumparan Magnetic Separator)

Gambar 9 merupakan gelombang arus keluaran Buck Converter pada *duty cycle* 50% :

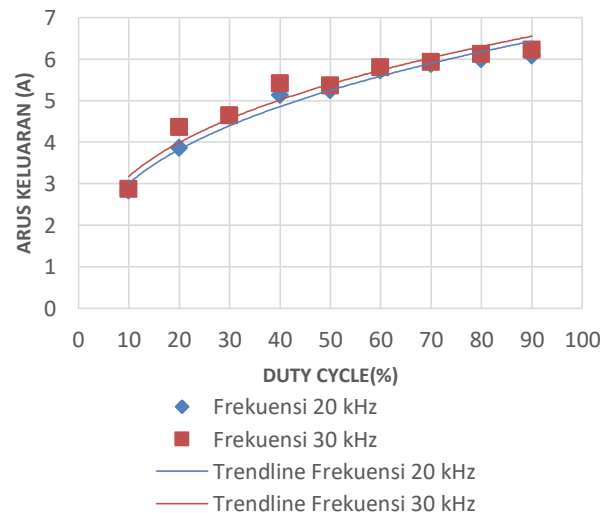


Gambar 9. Gelombang Arus Keluaran dengan $D = 50\%$ Beban Induktif

Berdasarkan Gambar 9 diketahui arus keluaran sebesar 2,62 div dengan skala probe 100m, sehingga nilainya dapat dihitung:

$$I_{out} = 2,62 \text{ div} \times (200/100) \text{ VOLT/DIV} \\ I_{out} = 5,25 \text{ Ampere}$$

Pada Gambar 10 dapat dilihat hasil pengukuran arus keluaran DC Chopper dengan beban induktif.



Gambar 10. Hasil pengukuran *duty cycle* terhadap arus keluaran

Berdasarkan Gambar 10 di atas terlihat bahwa nilai *duty cycle* berbanding lurus dengan arus keluaran. Semakin kecil *duty cycle* yang diberikan, maka tegangan keluaran akan semakin kecil dan arus keluaran pun akan semakin kecil.

3.2. Perhitungan Efisiensi Buck Converter dengan Beban Induktif (Kumparan Magnetic Separator)

Hasil perhitungan efisiensi untuk percobaan *duty cycle* bervariasi:

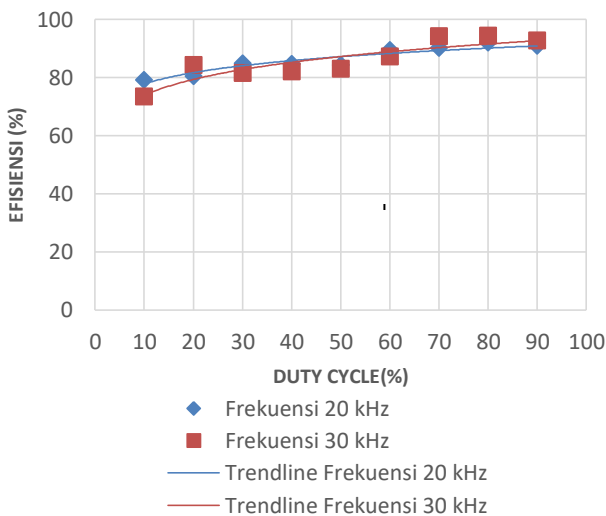
Tabel 3. Hasil perhitungan efisiensi Buck Converter pada frekuensi 20 kHz

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi (%)
10	40	0,82	9,14	2,84	79,13
20	36,98	1,7	13,08	3,86	80,31
30	34,52	2,37	14,96	4,63	84,66
40	30,95	3,48	17,71	5,14	84,51
50	28,68	4,03	18,54	5,25	84,21
60	25,64	4,76	19,05	5,72	89,28
70	23,36	5,57	19,92	5,88	90,01
80	22,56	5,82	20,12	6	91,94
90	22,16	6,1	20,13	6,09	90,72

Tabel 4. Hasil perhitungan efisiensi Buck Converter pada frekuensi 30 kHz

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi (%)
10	40,15	0,92	9,4	2,88	73,29
20	35,25	2,06	13,98	4,37	84,132
30	33,2	2,78	16,15	4,65	81,365
40	29,25	4,1	18,13	5,42	81,93
50	26,85	4,65	19,3	5,36	82,85
60	23,12	5,65	19,64	5,8	87,20
70	22,45	5,59	19,9	5,93	94,03
80	22,27	5,88	20,167	6,12	94,25
90	22,02	6,18	20,21	6,23	92,70

Berdasarkan Tabel 3 dan 4 dapat disajikan grafik perbandingan *duty cycle* terhadap efisiensi dalam Gambar 11.

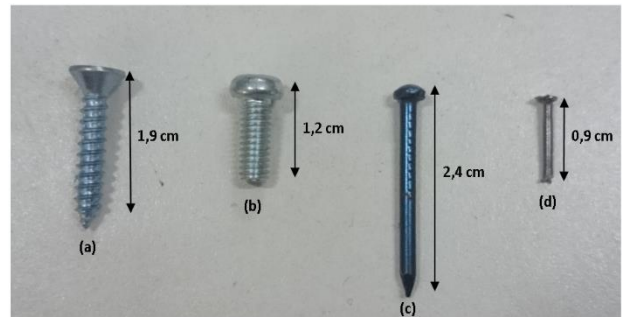


Gambar 11. Grafik perbandingan *duty cycle* terhadap efisiensi Buck Converter beban induktif dengan variasi frekuensi 20 kHz dan 30 kHz

Berdasarkan data pada Gambar 11 diatas dapat dihitung besar rata-rata efisiensi dari Buck Converter pada frekuensi 20 kHz dan 30 kHz yaitu sebesar 84,63% dan 84,85%. Efisiensi ini sudah cukup tinggi.

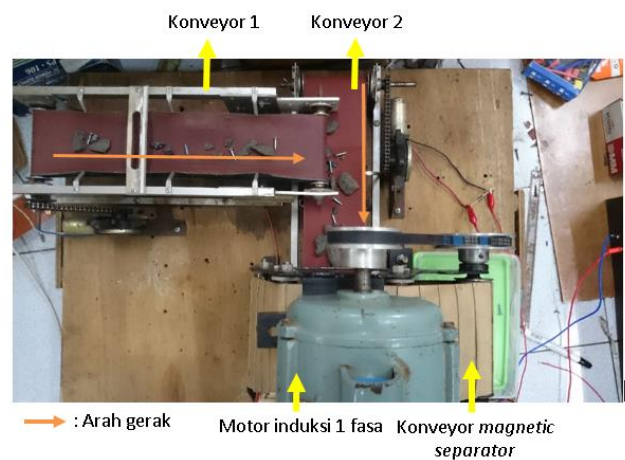
3.3. Pengujian Kerja Magnetic Separator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil pemisahan magnetik pada Magnetic Separator yang digunakan untuk memisahkan material logam dari kumpulan batubara. Magnetic separator digerakkan oleh motor induksi 1 fasa yang dikopel langsung pada poros roller konveyor Magnetic Separator. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan empat jenis material logam yaitu paku sekrup SIP, mur baut, dan paku beton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



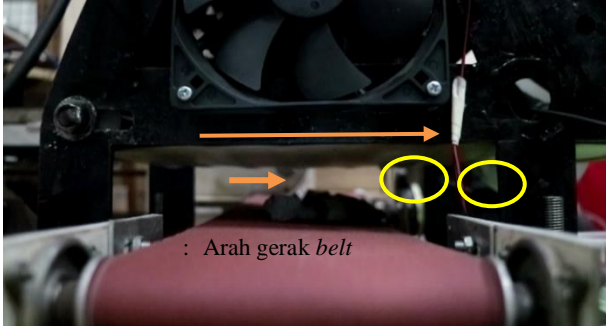
Gambar 12. Material logam yang digunakan pada pengujian
 (a) Paku sekrup SIP
 (b) Mur baut
 (c) Paku beton
 (d) Paku rujak

Pada pengujian ini akan dipaparkan penjelasan proses cara kerja konveyor Magnetic Separator beserta gambar foto ketika melakukan pemisahan magnetik. Tahap-tahap proses kerja ditunjukkan pada Gambar 13, 14, 15.



Gambar 13. Proses cara kerja pembawaan batubara dan material logam dari konveyor 1 dan konveyor 2 menuju ke konveyor Magnetic Separator

Pada Gambar 13 kumpulan batubara dan material logam yang berada di konveyor 1 akan menuju konveyor 2. Lalu, dari konveyor 2 batubara dan material logam akan menuju ke konveyor *Magnetic Separator*.



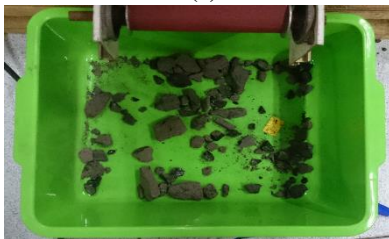
Gambar 14. Proses pemisahan magnetik

Pada Gambar 14 merupakan proses pemisahan magnetik ketika kumpulan batubara dan material logam yang dibawa konveyor 2 melewati konveyor *Magnetic Separator*. Pada saat kumpulan batubara dan material logam melewati konveyor *Magnetic Separator*, material logam akan tertarik oleh medan magnet sehingga material logam yang menempel pada *belt* konveyor *Magnetic Separator* yang berputar akan terlempar ke arah gerak *belt* (wadah penampungan). Material logam yang tertarik medan magnet dilingkari dengan lingkaran warna kuning pada Gambar 14.

Berikut pada Gambar 15(a) dan 15(b) akan diperlihatkan hasil pemisahan magnetik.



(a)



(b)

Gambar 15. (a) Hasil pemisahan magnetik material logam pada wadah penampungan
(b) Batubara hasil keluaran setelah melewati konveyor *Magnetic Separator*

Gambar 15(a) merupakan gambar kumpulan material logam pada wadah penampungan yang dihasilkan dari pemisahan magnetik pada konveyor *Magnetic Separator*.

Gambar 15(b) merupakan gambar kumpulan batubara yang telah melewati konveyor *Magnetic Separator*. Dari Gambar 15(b), tidak ada material logam yang berhasil melewati konveyor *Magnetic Separator*. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa kerja dari konveyor *Magnetic Separator* telah berhasil.

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan kerja *Magnetic Separator* untuk memisahkan material logam dari batubara, digunakan empat jenis material logam yang berbeda yaitu paku sekrup SIP, mur baut, paku beton, dan paku rujak seperti pada Gambar 12. Pada setiap pengujian diberikan 1 jenis material logam sebanyak 10 buah pada kumpulan batubara. Untuk menghitung persentase tingkat keberhasilan kerja *Magnetic Separator* digunakan Persamaan (3) sebagai berikut :

$$\text{Persentase keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah yang terseparasi}}{\text{Jumlah awal}} \times 100\%$$

(3)

Contoh perhitungan persentase keberhasilan pada jenis material logam paku sekrup SIP :

$$\text{Persentase keberhasilan} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

Berikut hasil pengujian dan perhitungan persentase tingkat keberhasilan *Magnetic Separator* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian tingkat keberhasilan kerja *Magnetic separator*

Jenis Material Logam	Jumlah Awal	Jumlah Terseparasi	Persentase Keberhasilan (%)
Paku sekrup SIP	10	10	100
Mur baut	10	10	100
Paku beton	10	10	100
Paku rujak	10	10	100

Pada Tabel 7 kolom jumlah awal merupakan jumlah material logam yang berada di konveyor 1 dan 2 sebelum melewati konveyor *Magnetic Separator*, sedangkan jumlah yang terseparasi adalah jumlah material logam pada wadah penampungan yang telah berhasil diseparasi atau dipisahkan dari kumpulan batubara.

Pada Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa tingkat persentase keberhasilan kerja dari *Magnetic Separator* untuk memisahkan pada empat jenis material logam yang digunakan yaitu paku sekrup SIP, mur baut, paku beton, dan paku rujak adalah 100%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa *Magnetic Separator* telah berhasil memisahkan material logam dari kumpulan batubara. Tingkat keberhasilan pemisahan tersebut juga cukup tinggi yaitu 100%, Material logam yang dapat diujikan pada *Magnetic Separator* harus

memiliki ukuran dimensi dengan panjang dan lebar di bawah 5 cm karena disesuaikan dengan *desain* konveyor *Magnetic Separator*, *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 20 kHz sebesar 84,63 % dan pada frekuensi 30 kHz sebesar 84,85%, *Buck Converter* saat diberikan beban induktif dengan *duty cycle* 10%-90% dan frekuensi 20 kHz memberikan tegangan keluaran sebesar 9,14V sampai dengan 20,13V, *Buck Converter* saat diberikan beban induktif dengan *duty cycle* 10%-90% dan frekuensi 30 kHz memberikan tegangan keluaran sebesar 9,4V sampai dengan 20,21V, *Buck Converter* saat diberikan beban induktif dioperasikan dengan *duty cycle* 10%-90% dan frekuensi 20 kHz memberikan arus keluaran sebesar 2,84A sampai dengan 6,09A, *Buck Converter* saat diberikan beban induktif dengan *duty cycle* 10%-90% dan frekuensi 30 kHz memberikan arus keluaran sebesar 2,88A sampai dengan 6,23A, *Buck Converter* saat diberikan beban induktif dioperasikan dengan *duty cycle* 10%-90% dan frekuensi 20 kHz memberikan daya keluaran sebesar 25,95W sampai dengan 122,64W, *Buck Converter* saat diberikan beban induktif dioperasikan dengan *duty cycle* 10%-90% dan frekuensi 30 kHz memberikan daya keluaran sebesar 27,072W sampai dengan 126,15W.

Referensi

- [1] Marsudi, Djiteng. "Pembangkitan Energi Listrik", Erlangga, Jakarta, 2005.
- [2] PT CENTRAL JAVA POWER, "Coal Handling Plant of TJB Power Plant Unit 3 & 4 Project".
- [3] Helmich, Tony. "The True Value of Magnetic Separators and Metal Detector in Bulk Handling", Eriez Magnetics Europe Ltd, Caerphilly, UK.
- [4] Hayt, JR. William H, "Elektromagnetika Teknologi". Erlangga, Jakarta, 1997.
- [5] Gussow, Milton, "Schaum's Outline : Dasar-dasar Teknik Listrik", Erlangga, Jakarta, 2005.
- [6] Theraja, B.L, "a text book of Electrical Technology", Schaum & Company Ltd, New Delhi, 2005.
- [7] Rashid, M, "Power Electronics Circuit, Device, and Application 3rd", Prentice-Hall International Inc, 2011.
- [8] Daniel W. Hart, *Power Electronics*, McGraw-Hill Company Inc, New York, 2011.
- [9] Zuhail, Dkk. 2004. *Prinsip Dasar Elektronika*. Jakarta: Gramedia.
- [10] On Semiconductor. 2005 , TL494 , NCV494 Switchmode-Pulse Width Modulation
- [11] Juarsah, Marco A. "Perancangan DC Chopper Tipe Buck-Boost Converter Penguatan Umpan Balik IC TL494", TRANSIENT, vol.4, no.3, September 2015.
- [12] International Rectifier. 2007. HV Floating MOS-Gate Driver Ics.
- [13] McLyman. WM . T., "Transformer And Inductor Handbook" Marcell Decker Inc, 2004.
- [14] Pyrhonen, Juha. "Design of Rotating Electrical Machine", John Wiley & Sons, Ltd. 2008.
- [15] Greendwood, Allan. "Electrical Transients in Power Systems Second Edition", John Wiley & Sons, Ltd. 1991.
- [16] Vishay Siliconix. 2012, Power MOSFET IRFP 260, SiHFP260.
- [17] Rectron Semiconductor. 2002, Fast Recovery Rectifier.
- [18] Suhardianto, Biyan. "Pembuatan DC-DC Konverter Jenis Buck dengan Catu Daya Utama Penyearah Tegangan AC Jala-Jala Satu Fasa", TRANSIENT, Vol.4, No.2, Juni, 2015.
- [19] Marsal, Renaldo. "Perancangan DC-DC Converter Buck Quasi Resonan dengan Mode Pensaklaran Current Switching (ZCS) dan Zero Voltage Switching (ZVS)", TRANSIENT, Vol.3, No.3, September, 2015.
- [20] Setiawan, Eko. "Penggunaan Konverter Jenis Buck dengan Pemutus Teangan Otomatis untuk Penisi Akumulator", TRANSIENT, Vol.4, No.1, Maret 2015.
- [21] Setiawan, Juli. "Perancangan DC Konverter Arus Searah Tipe Buck Pada Mode Operasi CCM dan DCM", TRANSIENT, Vol.4, No.3, September, 2015.
- [22] Andali, Milzam. "Analisis Perbandingan Hasil Operasi CCM dan DCM DC Chopper Tipe Buck Boost Berbasis Transistor", TRANSIENT, Vol.4, No.3, September, 2015.