

Analisis Disain Midpoint Cycloconverter dengan Pengaturan Tegangan

Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gunadarma, Jakarta

*Koresponden email: setiyono@staff.gunadarma.ac.id

Diterima: 12 Maret 2024

Disetujui: 18 Maret 2024

Abstract

This article explains the design of an AC to AC converter with different frequencies and voltages depending on the input. Most electrical equipment circulating in society, such as lighting, water pumps, heaters, cooling machines, are powered by an alternating voltage source with a fixed source voltage and frequency. However, this is not the case with certain types of electric motors in several industries that require a voltage source and changing frequency to regulate their rotational speed. A cycloconverter is an AC to AC converter with $\frac{df}{dt}$ frequency settings as well as $\frac{dv}{dt}$ voltage settings on the output side. This cycloconverter is capable of providing an output frequency n times the source frequency (f_{in}) or $(\frac{f_{in}}{n})$ where n is the desired frequency. This research was carried out by building a modeling simulation of a Mid Point type single-phase bridge cycloconverter (middle point) using the Matlab Simulink tool. The simulation results show that the cycloconverter output frequency can be adjusted by setting the switch trigger signal on the positive converter and negative converter with the same wave shape or pattern in the positive cycle and in the negative cycle for each n th divider. At low frequencies the THD (Total Harmonic Distortion) value of the cycloconverter midpoint is greater because of the shape factor on the output side.

Keywords: *midpoint cycloconverter, ac to ac converter, voltage and frequency regulator*

Abstrak

Artikel ini memaparkan tentang sebuah disain konverter AC ke AC dengan frekuensi dan tegangan yang berbeda dengan masukannya. Kebanyakan peralatan listrik yang beredar di masyarakat seperti lampu penerangan, pompa air, pemanas, mesin pendingin dicatu oleh sumber tegangan bolak balik dengan tegangan dan frekuensi sumber yang tetap. Namun tidak demikian dengan jenis motor listrik jenis tertentu di beberapa industri membutuhkan sumber tegangan dan frekuensi yang berubah ubah untuk keperluan pengaturan kecepatan putarnya. *Cycloconverter* merupakan sebuah konverter AC ke AC dengan pengaturan frekuensi $\frac{df}{dt}$ sekaligus pengaturan tegangan $\frac{dv}{dt}$ pada sisi outputnya. *Cycloconverter* ini mampu memberikan frekuensi output n kali frekuensi sumber (f_{in}) maupun $\frac{f_{in}}{n}$ dimana n adalah besar frekuensi yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan dengan membangun simulasi pemodelan cycloconverter jembatan satu fasa tipe Mid Point (titik tengah) menggunakan tools matlab simulink. Hasil simulasi menunjukkan frekuensi keluaran *cycloconverter* dapat diatur melalui pengaturan penyalan sinyal picu saklar pada konverter positif dan konverter negatif dengan bentuk atau pola gelombang yang sama pada siklus positif maupun pada siklus negatif untuk tiap tiap pembagi ke- n . Pada frekuensi rendah nilai THD (Total Harmonic Distortion) *midpoint cycloconverter* ini semakin besar karena faktor bentuk pada sisi keluarannya.

Kata Kunci: *cycloconverter titik tengah, konverter ac ke ac, pengatur tegangan dan frekuensi*

1. Pendahuluan

Motor asinkron atau motor induksi memiliki sifat mekanis kuat bentuk sederhana sehingga banyak digunakan sebagai peralatan rumah tangga seperti mesin cuci, *vaccum cleaner*, pompa air, dan juga digunakan di industri. Motor ini dikenal sebagai mesin berkecepatan konstan, tidak mudah untuk memvariasikan kecepatannya hal ini menjadi salah satu kelemahan utamanya [1],[2]. Dalam penggunaannya motor induksi menyebabkan tingginya konsumsi daya listrik yang menjadi perhatian di berbagai negara. Untuk itu pengaturan Kecepatan motor menjadi salah satu cara untuk meredam kerugian dan mengurangi masalah sehingga dapat menghemat daya lebih banyak [3]. Kecepatan motor Induksi dapat dikendalikan dengan dua cara yakni mengubah jumlah kutub dan mengatur frekuensi masukan [4]. Mengubah jumlah kutub merupakan pendekatan yang kurang efisien dan boros dikarenakan jumlah kutub

tidak dapat diubah ketika motor sedang berjalan [5]. Metode yang kedua yaitu dengan pengaturan frekuensi masukan merupakan sebuah pilihan yang lebih tepat dan efektif. *Cycloconverter* merupakan konverter atau pengubah frekuensi AC (arus bolak-balik) frekuensi konstan menjadi frekuensi AC variabel tanpa bantuan DC link. Jika frekuensi keluarannya lebih tinggi konverter ini disebut step up *cycloconverter* dan jika frekuensi keluarannya lebih rendah dinamakan *stepdown cycloconverter* [6],[7].

Namun demikian, ada masalah pada sisi keluaran konverter ini yakni terdapat kandungan harmonisa yang cukup besar. Harmonisa ini berpengaruh pada jaringan sistem tenaga listrik yang menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang tegangan dan arus [8]. Untuk mengurangi muatan harmonik ini dan meningkatkan frekuensi keluaran dengan ripple arus serta torsi minimum, konverter 6 pulsa dimodifikasi menjadi konverter 12 pulsa [9]. Beberapa peneliti menjelaskan harmonisa pada *cycloconverter* dapat dikurangi dengan menggunakan filter konvensional dan teknik modulasi SPWM (Sinusoida Pulse Width Modulation) pada kendali penyalan saklar konverter [10]. Menurut sumber masukannya ada tiga jenis siklokonverter: 1. Siklokonverter Fase Tunggal ke Fase Tunggal, 2. Siklokonverter Tiga Fasa ke Tiga Fasa, 3. Siklokonverter Fase Tunggal ke Tiga Fase [11].

Cycloconverter satu fasa terdiri dari dua konverter gelombang penuh yang disusun saling membelakangi. Jika salah satu konverter beroperasi, konverter lainnya dinonaktifkan dan tidak ada arus yang melewatinya [12]. Teknik konverter untuk pengaturan kecepatan putar motor induksi sampai saat ini terus dikembangkan. Arunodai Chanda mengembangkan Konverter ARNO yang merupakan konverter putar pengubah masukan AC fasa tunggal menjadi sumber tegangan AC tiga fasa yang mempunyai gabungan rangkaian belitan dan digunakan berbagai mesin. ARNO pada dasarnya adalah motor induksi dua fasa terpisah dengan tambahan belitan pada stator untuk fasa pembangkit [13].

Penelitian ini bertujuan membuat analisis disain *cycloconverter* tap tengah dengan pengaturan tegangan dan frekuensi pada sistem fasa tunggal menggunakan tools matlab simulink. Hal yang membedakan dengan penelitian sebelumnya bahwa tegangan keluaran sistem midpoin *cycloconverter* ini dapat diatur melalui variasi pulsa penyalan sehingga diperoleh tegangan keluaran yang berbeda beda.

2. Metode Penelitian

Alur penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tampak pada **Gambar 1** adalah langkah dari pekerjaan yang dilakukan.

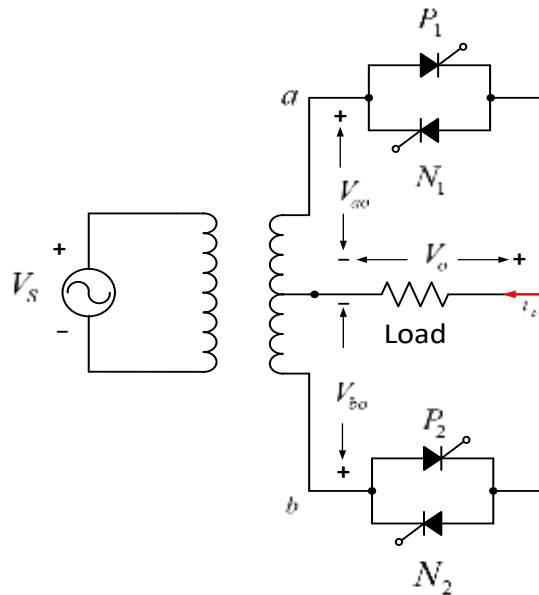


Gambar 1. Tahap Penelitian Disain Sistem

Tahap pertama adalah mendisain rangkaian *midpoin cycloconverter* satu fasa secara elektronik, yang merupakan jenis rangkaian konverter daya AC ke AC dengan frekuensi keluaran lebih rendah dari frekuensi masukan dan pengaturan tegangan. Langkah kedua adalah melakukan desain dan perhitungan lebar pulsa penyalan bagi saklar konverter pada disain *midpoin cycloconverter* dalam operasi kerja konversi. Tahap ke tiga membuat pemodelan dari rancangan sistem ke dalam model matlab simulink. Tahap ke empat dan ke lima menjalankan pemodelan serta menganalisa data hasil simulasi yang berupa gambar gelombang tegangan maupun grafik nilai suatu besaran. Langkah terakhir atau tahap ke lima membuat kesimpulan.

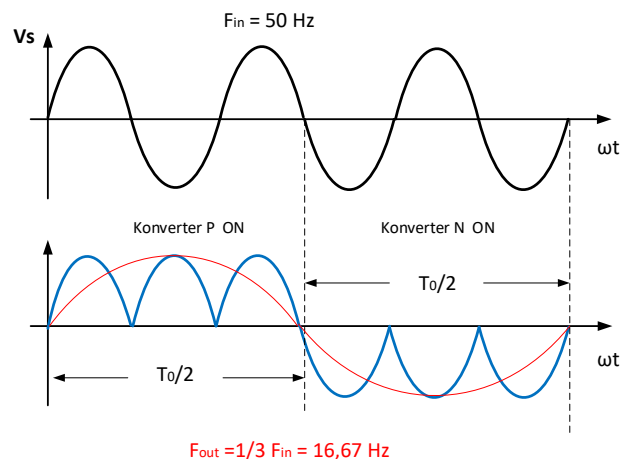
Midpoin cycloconverter satu fasa

Cycloconverter merupakan salah satu konverter elektronika daya yang digunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) frekuensi tetap menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang berbeda. Tampak pada **Gambar 2** sebuah rangkaian *Cycloconverter* fasa tunggal dengan beban resistif.



Gambar 2. Rangkaian Midpoin Cycloconverter Fasa Tunggal

Gambar 2 mengandung 4 buah saklar thyristor (2 buah saklar kontrol tegangan siklus Positif P1, P2 dan 2 buah Saklar kontrol tegangan siklus Negatif N1, N2). Cycloconverter step-down midpoint yang dirancang diuji pada beban resistif dan induktif. Tiap beban memiliki karakteristik bentuk gelombang arus yang berbeda.



Gambar 3. Bentuk gelombang cycloconverter pembagi 3

Gambar 3 adalah sebuah grafik gelombang *cycloconverter* pembagi tiga jika frekuensi masukan sebesar 50 Hz maka frekuensi gelombangnya sebesar 16.67 Hz. Dalam satu periode gelombang keluaran terdapat tiga buah puncak gelombang siklus positif dan 3 buah puncak gelombang siklus negatif. Nilai tegangan keluaran dapat ditentukan dengan penurunan persamaan [14] :

$$V_o(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\omega t}{m}\right) + b_n \sin\left(\frac{n\omega t}{m}\right) \quad 1$$

Dimana m adalah nilai rasio konversi dan n menyatakan orde harmonik.

$$a_0 = \frac{1}{6\pi} \int_0^{\pi} V_o d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{6\pi} \left[\int_0^\pi V_m \sin \omega t d(\omega t) + \int_\pi^{2\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) + \int_{2\pi}^{3\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) \right. \\ \left. + \int_{3\pi}^{4\pi} -V_m \sin \omega t d(\omega t) + \int_{4\pi}^{5\pi} -V_m \sin \omega t d(\omega t) + \int_{5\pi}^{6\pi} -V_m \sin \omega t d(\omega t) \right] \\ = 0$$

$$a_n = \frac{1}{3\pi} \int_0^{6\pi} V_0 \cos \left(\frac{n\omega t}{m} \right) d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{1}{3\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \cos \left(\frac{n\omega t}{m} \right) d(\omega t) + \int_0^{2\pi} V_m \sin \omega t \cos \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) \\ + \int_{2\pi}^{3\pi} V_m \sin \omega t \cos \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) + \int_{3\pi}^{4\pi} V_m \sin \omega t \cos \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) \\ + \int_{4\pi}^{5\pi} -V_m \sin \omega t \cos \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) + \int_{5\pi}^{6\pi} -V_m \sin \omega t \cos \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) \\ + \int_{5\pi}^{6\pi} -V_m \sin \omega t \cos \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) = 0$$

$$b_n = \int_0^{6\pi} V_0 \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t)$$

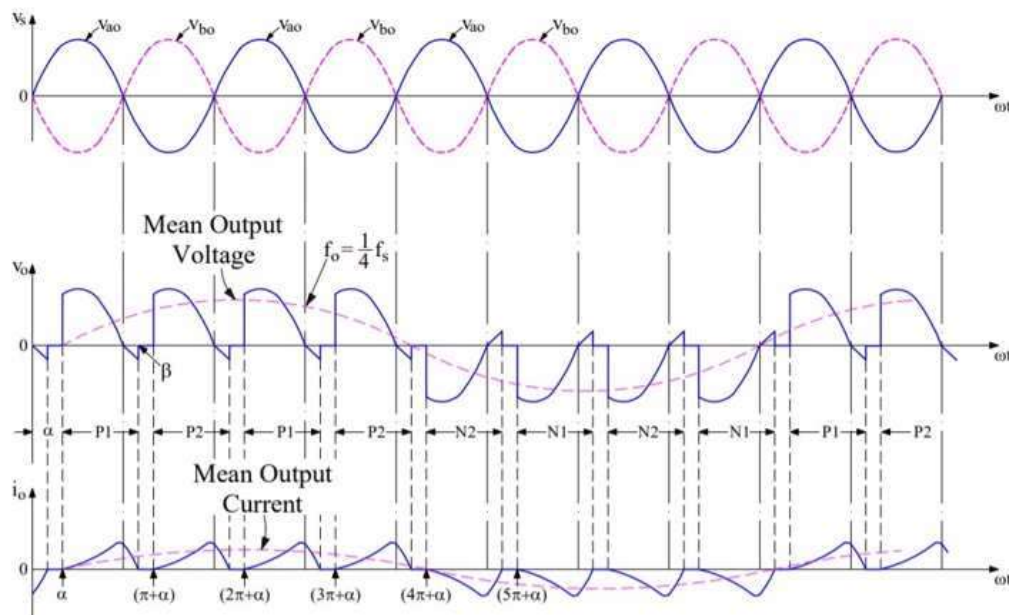
$$= \frac{1}{3\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) + \int_\pi^{2\pi} V_m \sin \omega t \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) \\ + \int_{2\pi}^{3\pi} V_m \sin \omega t \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) + \int_{3\pi}^{4\pi} -V_m \sin \omega t \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) \\ + \int_{4\pi}^{5\pi} -V_m \sin \omega t \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t) + \int_{5\pi}^{6\pi} -V_m \sin \omega t \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] d(\omega t)$$

Setelah dilakukan Penyederhanaan

$$V_0(\omega t) = \frac{V_m}{3} \sin(\omega t) + \sum_{n=1,5,6,\dots,n \neq 3}^{\infty} \frac{24V_m \sin \frac{n\pi}{3}}{\pi(m^2 - n^2)} \sin \left[\frac{n\omega t}{m} \right] \quad 2$$

Beban Resitif:

Gambar 4 ketika suplai tegangan bolak balik masuk pada periode positif, tegangan titik A lebih positif terhadap titik O. Keadaan ini membuat saklar Thyristor P1 terbias maju. Saat Thyristor P1 dinyalakan pada $\omega t = 0$, arus beban i_o mengalir dari terminal A ke terminal O. Arus beban i_o turun menuju nol pada $\omega t = \beta > \pi$ namun kurang pada interval $(\pi + \alpha)$. Saklar P1 secara natural dinonaktifkan (dikomutasi) pada $\omega t = \beta$ dimana saat itu pada keadaan terbias balik setelah interval π .



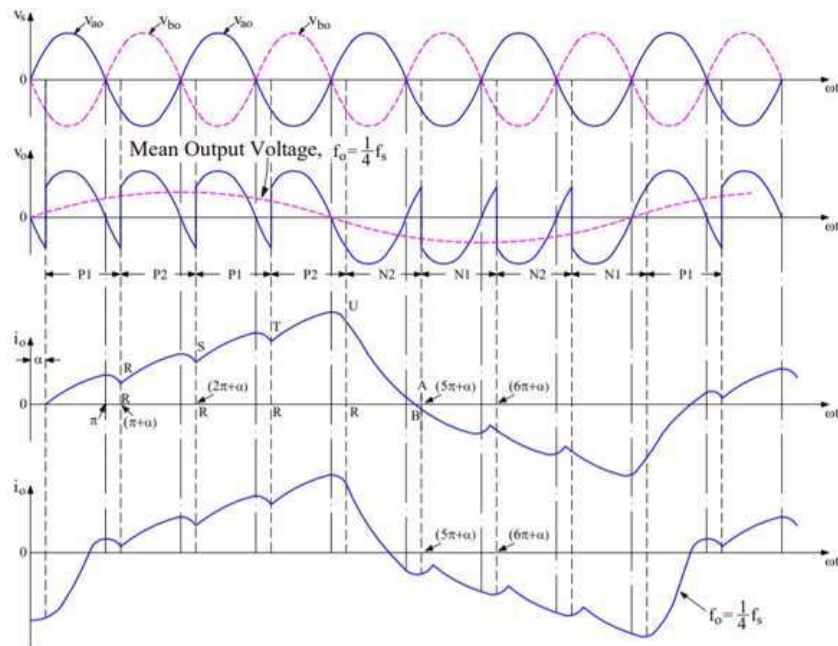
Gambar 4. Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan pada beban Resitif Midpoin Cycloconverter [15]

Pada setengah siklus negatif, tegangan terminal B lebih positif terhadap terminal O. Saklar thyristor P2 dihidupkan pada $\omega t = (\pi + \alpha)$. Arus beban kembali mengalir menuju positif dari titik A ke titik O dan terus naik dari nol seperti tampak pada gambar xx. Kemudian pada interval $\omega t = (\pi + \beta)$, i_o turun menuju nol dan saklar P2 dinonaktifkan secara natural. Pada $\omega t = (2\pi + \alpha)$, P2 kembali hidup dan arus beban pada gambar xxx terlihat tidak kontinu atau putus putus. Kemudian pada setengah empat siklus berikutnya Saklar N2 dinyalakan pada $(4\pi + \alpha)$ waktu dimana tegangan pada titik O lebih positif terhadap titik B.

Keadaan ini saklar N2 terbias maju, saklar ini melewati arus beban dari titik O ke titik A. Namun sebelum saklar N1 dinyalakan, arus beban turun menuju nol dan saklar N2 diaktifkan secara alamiah. Saat Saklar N1 diaktifkan pada waktu $(5\pi + \alpha)$, arus beban i_o berulang kembali muncul namun arus ini bergerak turun menjadi nol sebelum saklar thyristor N2 secara beruntun dinyalakan kembali. Sehingga pada pembagi $f_o/4$, pola empat buah gelombang setengah siklus negatif pada tegangan beban R dan arus beban R, sama dengan jumlah pola gelombang setengah siklus positif pada tegangan & arus beban resitif. Bentuk gelombang akan berulang kembali ke siklus positif manakala saklar P1 kembali dinyalakan untuk menghasilkan empat buah gelombang setengah siklus positif tegangan beban resitif dan proses akan berulang terus menerus. **Gambar 5** terlihat bahwa nilai frekuensi tegangan dan arus keluaran adalah $1/4$ kali frekuensi masukannya.

Beban Induktif:

Gambar 5 ketika saklar P1 diaktifkan pada $\omega t = \alpha$, level tegangan A lebih positif terhadap tegangan pada titik O, arus beban naik dan tegangan positif pada sisi beban mulai nampak. Saat $\omega t = \pi$, arus beban dan tegangan masukan sebesar Nol. Setelah melewati waktu $\omega t = \pi$, saklar P1 dibias reverse. Karena beban induktif Arus beban tetap kontinu mengalir, saklar P1 dinonaktifkan pada $\omega t = \pi$. Saklar P2 diaktifkan pada $(\pi + \alpha)$, tegangan balik terjadi pada saklar P1, sehingga saklar P1 akan nonaktif secara alamiah.

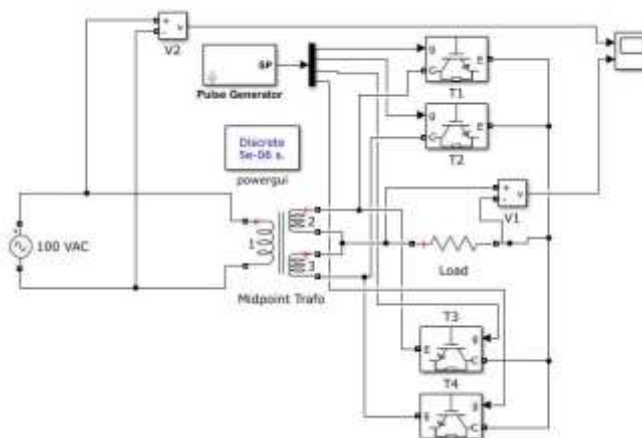


Gambar 5 . Bentuk gelombang tegangan dan arus *cycloconverter* beban induktif [15]

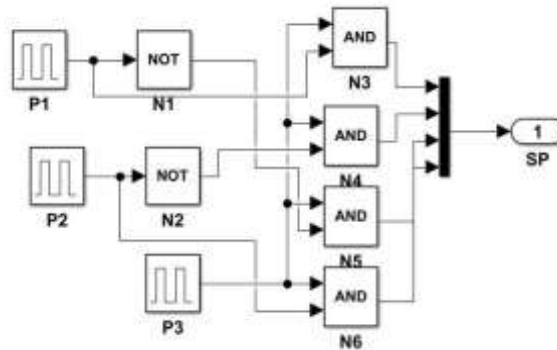
Kemudian saklar P2 diaktifkan pada $(\pi + \alpha)$, tegangan beban kembali menjadi positif, sehingga berakibat arus beban naik lebih besar daripada RR. Ketika saklar P1 kembali hidup pada $(2\pi + \alpha)$, saklar P2 kembali OFF secara natural dan arus beban meningkat melebihi level titik RS. Di akhir pola empat setengah siklus positif gelombang pada sisi tegangan beban, arus i_o adalah RU. Pada saat saklar N2 dinyalakan, tegangan beban beralih pada siklus negatif dan arus i_o turun dari titik RU ke titik AB di area negatif. Saklar N2 dinonaktifkan dan saklar N1 dinyalakan pada $(5\pi + \alpha)$. Arus i_o berubah menjadi lebih negatif terhadap titik AB pada $(6\pi + \alpha)$, karena ketikan saklar N1 hidup tegangan beban berada pada siklus negatif. Pola gelombang arus i_o sepadan atau simetris pada sumbu wt. Frekuensi gelombang keluaran juga bernilai $\frac{1}{4}$ kali frekuensi masukannya.

Pemodelan Disain Sistem

Disain *cycloconverter* menggunakan tools matlab simulink, tampak pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Pemodelan *Midpoin Cycloconverter* fasa tunggal



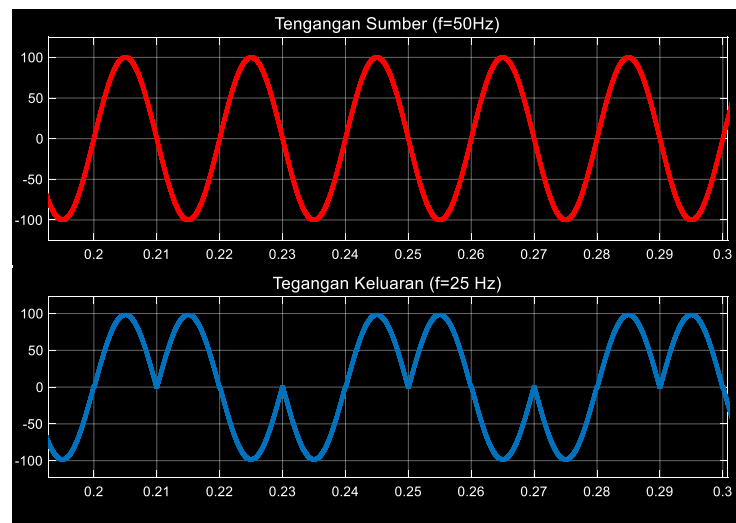
Gambar 7. Pemodelan pembangkit pulsa penyalan

Gambar 7 menjelaskan model teknik pembangkit pulsa penyalan saklar konverter *midpoint cycloconverter* untuk melakukan operasi konversi pengaturan frekuensi dan tegangan pada sisi rangkaian keluaran.

3. Hasil Simulasi dan Pembahasan

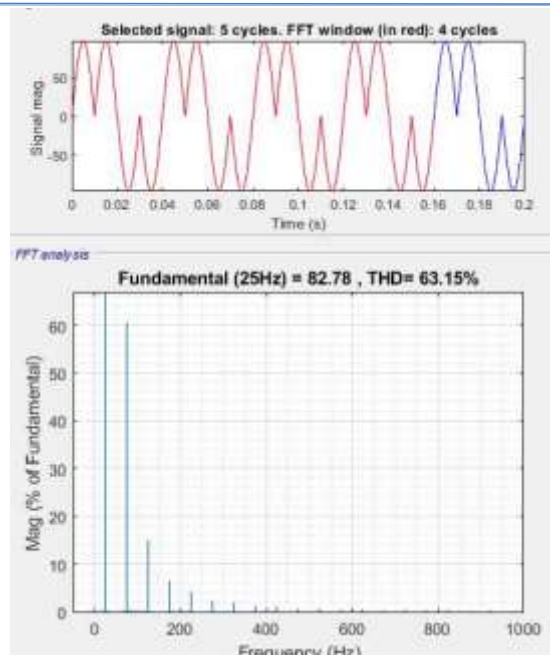
Hasil pengamatan bentuk gelombang dilakukan dengan menjalankan sepuluh percobaan untuk menghasilkan perubahan frekuensi tegangan keluaran f_{out} sebesar (f_{in} , $f_{in}/2$, $f_{in}/3$, $f_{in}/4$, $f_{in}/5$, $f_{in}/6$, $f_{in}/7$, $f_{in}/8$, $f_{in}/9$ dan $f_{in}/10$), dimana f_{in} adalah frekuensi input dan f_{out} adalah frekuensi output. Disini akan diambil dua buah percobaan pengaturan tegangan dan frekuensi yaitu $f_{in}/2$ dan $f_{in}/3$. Bentuk gelombang pengamatan dapat diperoleh dengan menggunakan (2).

Pengamatan gelombang keluaran $f_{in}/2$ tanpa pengaturan tegangan



Gambar 8. Bentuk gelombang tegangan dan masukan pembagi 2 tanpa pengaturan tegangan

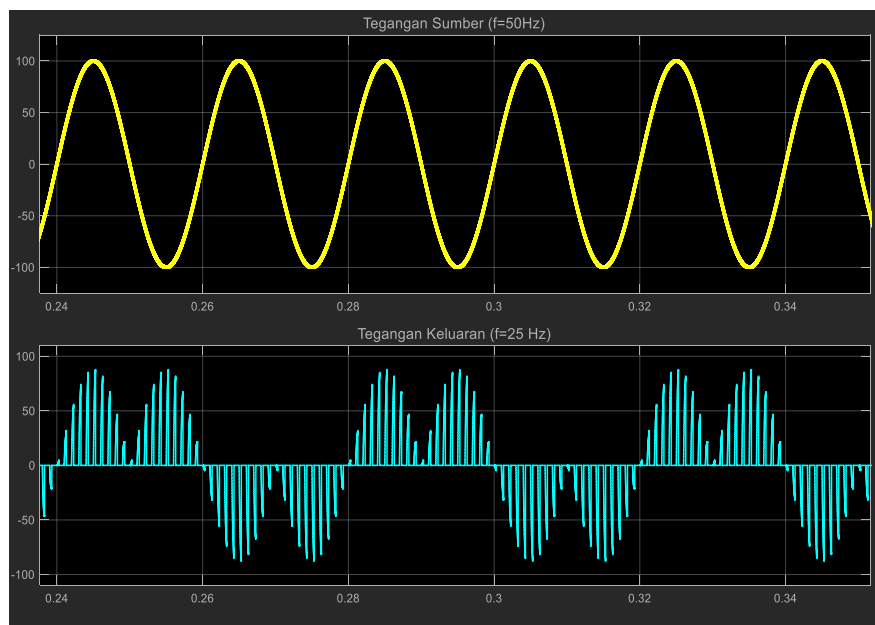
Gambar 8 menjelaskan bahwa ketika tegangan masukan berbentuk sinusoida dengan amplitudo 100 V 50 Hz, gelombang ini akan mengalami penurunan frekuensi sebesar setengah dari frekuensi tegangan masukan yaitu sebesar 25 Hz. Tampak terlihat pada tiap satu siklus positif gelombang masukan, pada sisi keluaran baru menempuh setengah siklus gelombang positif dengan 2 buah gelombang (puncuk gelombang) setengah siklus positif, demikian juga pada setengah siklus negatif timbul dua buah setengah siklus gelombang negatif. Pada kasus ini pada sisi output tanpa mengalami pengaturan tegangan.



Gambar 9. Indeks THD pembagi 2 tanpa pengaturan tegangan

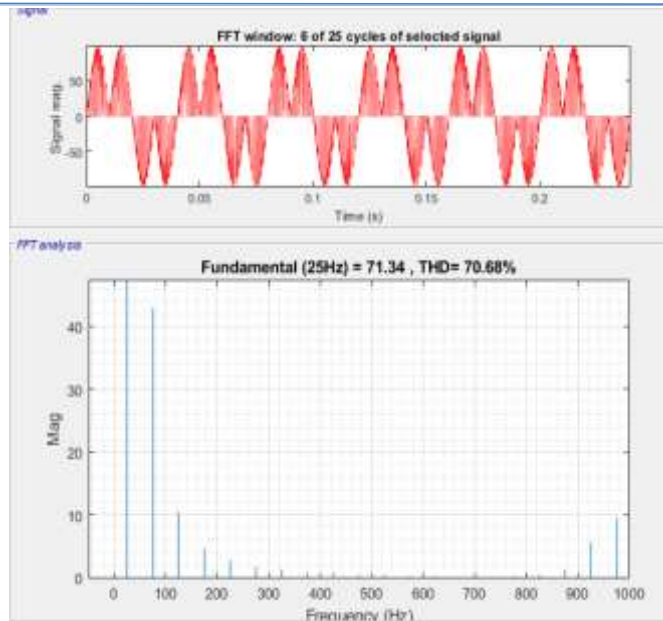
Gambar 9 menunjukkan indeks THD pembagi 2 ($f_{out} = 25 \text{ Hz}$) sebesar 63,15 % dari gelombang tegangan keluaran sinuoida terdistorsi (cacat). Nilai indeks THD ini cukup besar sehingga kurang tepat digunakan sebagai sumber sistem tenaga. Untuk pembagi 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 memiliki bentuk gelombang output yang hampir mendekati gelombang persegi, sehingga menyebabkan nilai indeks THD semakin besar. Tegangan sisi keluaran bersifat tetap tanpa ada pengaturan.

Pengamatan gelombang keluaran $f_{in}/2$ dengan pengaturan tegangan



Gambar 10. Bentuk Gelombang pembagi 2 dengan pengaturan tegangan

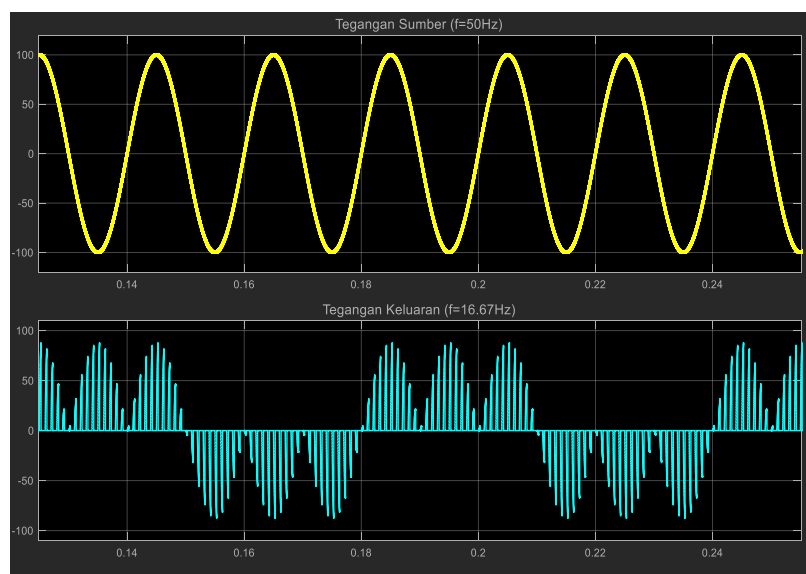
Gambar 10 pembagi 2 frekuensi masukan dengan tegangan keluaran yang diatur dengan memvariasikan penyalan pulsa gerbang saklar positif P1 dan P2 serta saklar negatif N1 dan N2. Frekuensi gelombang keluaran sebesar 25 Hz dengan amplitudo maksimum 100 V. Tampak bahwa tegangan keluaran terlihat seperti gelombang yang terputus putus dengan amplitudo berubah ubah, hal ini menunjukkan kinerja saklar yang di atur untuk ON dan OFF sehingga tegangan keluaran akan mengikuti waktu pola dari penyalan gerbang dengan tegangan sesaat pada waktu tertentu .



Gambar 11. Nilai indeks THD pembagi 2 dengan pengaturan tegangan

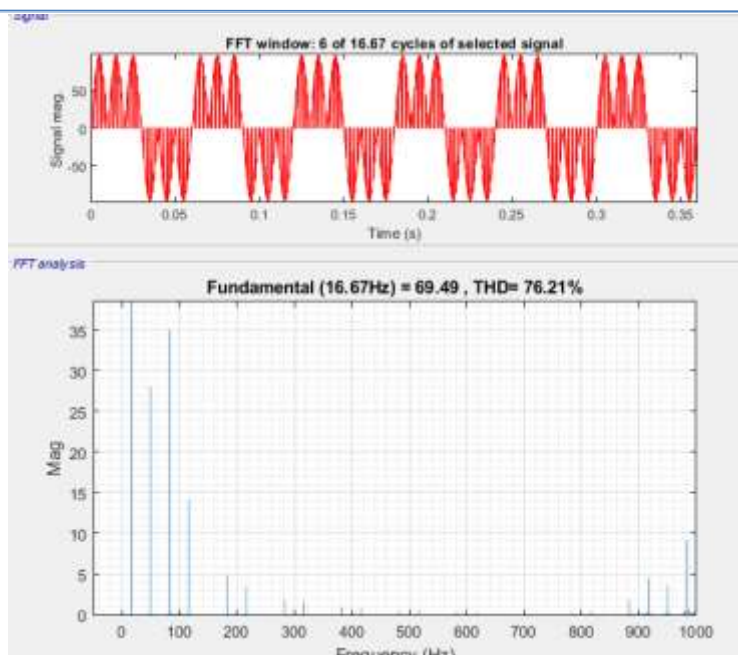
Gambar 11 menjelaskan kandungan harmonik total dari pembagi dua sebesar 70,68% , nilai ini disebabkan oleh faktor bentuk dari sinusoida menjadi nonsinusoida pada sisi tegangan keluarannya. Walaupun frekuensi gelombang sudah dapat diturunkan namun faktor bentuk gelombang tidak bisa sama dengan bentuk gelombang masukan sehingga nilai THD masih cukup besar.

Pengamatan gelombang keluaran fin/3 dengan pengaturan tegangan



Gambar 12. Bentuk Gelombang pembagi 3 dengan pengaturan tegangan

Gambar 12 memperlihatkan tegangan pada sisi keluaran maksimum sebesar 100 V dengan pola gelombang terputus putus yang diakibatkan oleh kinerja saklar konverter positif P1 dan P2 serta saklar konverter negatif N1 dan N2. Proses putus dan menyambung (ON/OFF) dari saklar ini diperoleh dari pengaturan pulsa penyalan saklar konverter positif dan negatif. Akibatnya pada sisi tegangan keluaran mengalami perubahan bentuk gelombang yang seolah olah terputus putus baik pada sisi siklus positif maupun pada siklus negatif.



Gambar 13. Nilai indeks THD pembagi 2 dengan pengaturan tegangan

Gambar 13 menjelaskan bahwa kandungan harmonisa pembagi 3 *cycloconverter* sebesar 76,21%. Sama halnya untuk dengan pembagi 2 besaran THD ini makin besar karena faktor bentuk gelombang yang bergeser dari sinusoida menjadi tidak sinusoida. Perubahan bentuk ini sebagai akibat dari proses penurunan frekuensi penyalan konverter positif dan negatif dan panjang gelombang pulsa penyalan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan dapat dibuat dalam tabel pengamatan seperti pada **Tabel 1**.

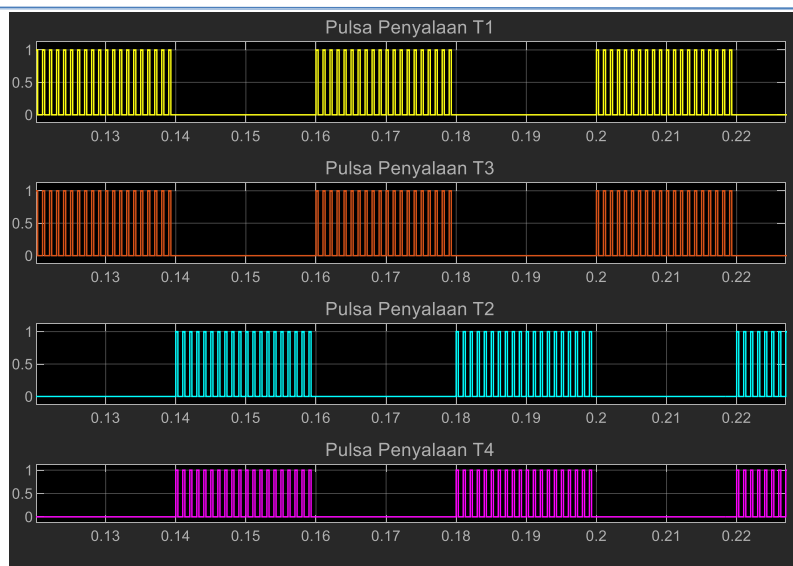
Tabel 1. Nilai indeks THD (fin/n)

Fin (50Hz)	Fout (Hz)	Vrms (Volt)	THD (%)
1	50	195,3	0
1/2	25	165,8	70,68
1/3	16.67	161,6	76,21
1/4	12.5	160,1	291,41
1/5	10	159,5	335,99
1/6	8,33	159,1	337,04
1/7	7,142	158,9	335,92
1/8	6,25	158,8	335.82
1/9	5,55	158,7	336,75
1/10	5	158,6	335,85

Tabel 1 menjelaskan bahwa semakin rendah frekuensi keluaran rangkaian *midpoin cycloconverter* nilai indeks THD semakin besar, hal ini disebabkan perubahan bentuk gelombang keluaran dari sinusoida menjadi mirip gelombang kotak.

Pengamatan bentuk pulsa penyalan saklar konverter

Saklar konverter positif dan negatif rangkaian sistem di picu oleh deretan pulsa dengan periode yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 14. Deretan pulsa penyalan saklar konverter

Gambar 14 merupakan pulsa penggerbangan saklar konverter positif (P1 dan P2) dan konverter negatif (N1 dan N2). Tampak bahwa tiap pulsa penyalan konverter positif dan negatif berbeda fasa 180° . Variasi lebar pulsa akan menentukan pengaturan tegangan keluaran dari rangkaian sistem. Deretan pulsa ini merupakan hasil dari gelombang pulsa dengan amplitudo 1 V frekuensi 50 Hz dimodulasi gelombang pulsa amplitudo 1 V dengan frekuensi pembawa sebesar 1 kHz. **Tabel 2** menjelaskan periode pulsa penyalan tiap-tiap pembagi frekuensi masukan.

Tabel 2. Nilai Periode dan Frekuensi Tegangan keluaran *Midpoin cycloconverter*

Periode (ms)	$1/n(\text{fin})$	Frekuensi (Hz)
20	1	50
40	$\frac{1}{2}$	25
60	$\frac{1}{3}$	16,67
80	$\frac{1}{4}$	12,25
100	$\frac{1}{5}$	10
120	$\frac{1}{6}$	8,33
140	$\frac{1}{7}$	7,42
160	$\frac{1}{8}$	6,25
180	$\frac{1}{9}$	5,55
200	$\frac{1}{10}$	5

4. Kesimpulan

Midpoin Cycloconverter merupakan rangkaian elektronika daya yang mampu memvariasikan frekuensi tegangan masukan 50 Hz menjadi tegangan dengan frekuensi yang lebih rendah atau lebih tinggi pada sisi tegangan outputnya. Disain ini menggunakan dua buah konverter yakni konverter positif dan konverter negatif yang dihubungkan secara anti paralel serta satu buah tap transformator dengan beban dihubungkan antara tap tengah belitan sekunder transformator. Lebar pulsa penyalan saklar konverter berpengaruh terhadap frekuensi dan tegangan serta bentuk gelombang keluarannya. Semakin besar periode pulsa penyalan maka semakin rendah frekuensi gelombang output namun demikian semakin rendah frekuensi gelombang keluaran nilai THD semakin besar disebabkan bentuk gelombang outputnya semakin menjauh dari bentuk sinusoida dan mirip gelombang kotak pada frekuensi rendah. Hal inilah yang menjadi salah satu kelemahan dari rangkaian *cycloconverter* yang tidak memiliki performa baik pada frekuensi rendah sehingga diperlukan usaha untuk meredam kandungan harmonisa yang terlalu tinggi menggunakan tapis pada penelitian lanjutan.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan staf laboratorium dan sekretariat Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma atas segala dukungan baik sarana dan prasarana, masukkan serta atensi hingga tersusun penelitian ini dengan baik dan lancar.

6. Daftar Pustaka

- [1] Krishnara, K., and R. Vishnupriya. "Induction motor control using android application." *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)* 1.3 (2017): 130-132.
- [2] Velmurugan, D., and Naveen Raman. "A Review of AC–AC Voltage and Frequency Controller." *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT)* 2.3 (2017): 156-159.
- [3] Gafar, Rihab, Xiuyun Sun, and Tahleel Abozead. "Three-phase AC Induction Motor Speed Control Based on Variable Speed Driver." *Makara Journal of Technology* 26.2: 2.
- [4] V. Dharmambal, R. A. Dhanraj, H. G. Prathap, V. S. P, and A. M. Biradar, "Speed Control Of Induction Motor By Thyristor Using Cyclo-Converter," *IOSR J. Electr. Electron. Eng*, vol. 5, no. 6, pp. 555–559, 2018.
- [5] Ahmed, Iftakher, and Shubhalaxmi Kher. "Design and analysis of cycloconverter to run split phase induction motor using PWM control." *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2018: Volume 2*. Springer International Publishing, 2019.
- [6] Epemu, Ayebatonye Marttyns, and Kingsley Okeoghene Enalume. "Speed control of a single phase induction motor using step-down cycloconverter." *International Journal of Industrial and Manufacturing Systems Engineering* 3.1 (2018): 6-6.
- [7] Govil, Vinamra Kumar, and Yogesh Chaurasia. "Modeling & Simulation of PWM Controlled Cycloconverter FED Split Phase Induction Motor." *international journal of advanced research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* 1.3 (2012): 126-133.
- [8] Algamluoli, Ammar Falah. "Total Harmonic Distortion of Single Phase Mid-Point Cycloconverter Comparison Between MOSFET, IGBT and GTO Power Devices." *International J. of Computer Appl* 181.35 (2019): 10-15.
- [9] C. Venugopal, T. Bhuvaneswari, and S. Immanuel, "Induction Motor Load," *J. Eng. Res.*, vol. 11, no. 1, p. 100018, 2023, doi: 10.1016/j.jer.2023.100018.
- [10] Sharma, Anukriti, and Navdeep Singh. "Hybrid Modulation for Reduced Switches AC-AC Multi Frequency Converter." *International Research Journal on Advanced Science Hub* 4.05 (2022): 134-142.
- [11] A. A. Nyein, S. H. Myint, and S. Z. Htun, "Design of Control Circuit , Power Circuit And Tap- Changing Circuit for Cycloconverter Fed Induction Motor Drive," vol. 7, no. 11, pp. 470–473, 2018.
- [12] Patel, Viren, et al. "'AC to AC step down cycloconverter." *Int. Res. J. Engg. Tech.* 4.3 (2017): 1611-1616.
- [13] Chanda, Arunodai. "Use of Arno converter and motor-generator set to convert a single-phase AC supply to a three-phase AC for controlling the speed of a three-phase induction motor by using a three-phase to three-phase cycloconverter." *International Journal of Electrical Engineering and Technology* 7.2 (2016).
- [14] Islam, Tariqul, et al. "Triac based novel single phase step-down cycloconverter with reduced THDs for variable speed applications." *Applied Sciences* 11.18 (2021): 8688.
- [15] Vinodhini, J. Suganthi, R. Samuel Rajesh Babu, and J. Aran Glenn. "Single phase to single phase step-down cycloconverter for electric traction applications." *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*. IEEE, 2016.