

Analisis Efisiensi Konverter Daya sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3-Phase pada Kendaraan Bertenaga Baterai (*Electric Vehicle*)

Mega Yunita Diadara¹, I Nyoman Wahyu Satiawan¹, Ida Bagus Fery Citarsa¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no.62, Mataram, 83125, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history :

Received Januari 2, 2025
Revised Januari 28, 2025
Accepted February 28, 2025

Keywords :

Inverter;
SPWM;
THD;
Efisiensi;
Kendaraan Listrik;

ABSTRACT

Global warming is one critical issue that consequences in increasing emission carbon and pollution air , as it were support necessity presence car electricity as transportation worthy alternative used in life daily replace position car made from burn oil . On study This done analysis efficiency system mover vehicle electricity For various inverter configurations, includes 2-level and 3-level inverters. For methods used namely SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation). The SPWM method uses sinusoidal signal as reference And signal triangle as a carrier. Results study show that on 3 level inverters have total efficiency , motor efficiency and highest inverter efficiency because the 2 level inverter has more Lots distortion harmonics on output so that form the wave more rough . The resulting THD (Total Harmonic Distortion) value on a 3 level inverter low which is 33% compared on a 2 level inverter that is 64% on index modulation 1, and mark highest total efficiency on a 2 level inverter it is 72% and on inverter 3 levels of highest total efficiency by 86% on index modulation 1.

Isu pemanasan global akibat emisi karbon yang kian masif dan polusi udara, seakan mendukung perlunya kehadiran mobil listrik sebagai transportasi alternatif yang layak digunakan dalam kehidupan sehari-hari menggantikan posisi mobil berbahan bakar minyak. Pada penelitian ini dilakukan analisis efisiensi sistem penggerak kendaraan listrik untuk berbagai konfigurasi inverter, diantaranya inverter 2-tingkat dan inverter 3-tingkat. Untuk metode yang digunakan yaitu SPWM (*Sinusoidal Pulse Weidth Modulation*). Metode SPWM menggunakan sinyal sinusoidal sebagai referensi dan sinyal segitiga sebagai carrier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada inverter 3 level memiliki efisiensi total, efisiensi motor dan efisiensi inverter yang paling tinggi karena inverter 2 level memiliki lebih banyak distorsi harmonik pada keluaran sehingga bentuk gelombangnya lebih kasar. Nilai THD (*Total Harmonic Distortion*) yang dihasilkan pada inverter 3 level lebih rendah yaitu 33% dibandingkan pada inverter 2 level yaitu 64% pada indeks modulasi 1, dan nilai efisiensi total yang paling tinggi pada inverter 2 level sebesar 72% dan pada inverter 3 level efisiensi total yang paling tinggi sebesar 86% pada indeks modulasi 1..

Corresponding Author:

Ida Bagus Fery Citarsa, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no.62, Mataram, 83125, Indonesia
Email: ferycitarsa@unram.co.id

1. INTRODUCTION

Salah satu upaya mengurangi tingkat pemanasan global akibat emisi karbon gas buang yang kian masif adalah dengan mendukung kehadiran mobil listrik sebagai transportasi alternatif yang layak digunakan dalam kehidupan sehari-hari menggantikan posisi mobil berbahan bakar minyak [1, 2]. Operasi mobil listrik melibatkan beberapa komponen utama, diantaranya yaitu baterai, motor listrik, dan inverter. Inverter berfungsi mengkonversi tegangan DC (dari baterai) menjadi tegangan AC dengan frekuensi variabel yang dibutuhkan untuk mengendalikan motor induksi. Tegangan keluaran inverter diatur dengan menggunakan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*). Keuntungan teknik PWM adalah sangat praktis untuk diterapkan karena semakin pesatnya teknologi semikonduktor, terutama teknologi elektronika daya yang mempunyai waktu transisi sangat cepat.

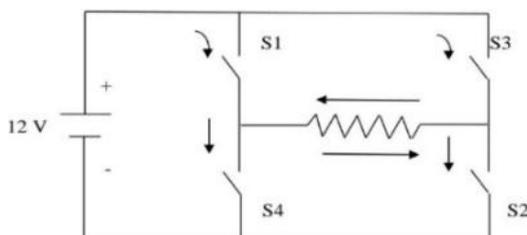
Fokus dari penelitian ini adalah menganalisis efisiensi sistem penggerak kendaraan listrik untuk berbagai konfigurasi inverter, diantaranya inverter 2-tingkat, inverter bertingkat (*multi-level*). Untuk menyelidiki hal tersebut, inverter dimodelkan dengan tidak memperhatikan pengaruh *dead-time* dari pulsa PWM yang diberikan serta memperhitungkan rugi-rugi yang lain. Kemudian efisiensi dihitung dengan membandingkan daya output dengan daya input baik untuk inverter, transformator dan motor. Efisiensi keseluruhan didapat dengan mengalikan efisiensi individu dari masing-masing komponen di atas. Output dari tugas akhir ini adalah dapat ditemukan topologi inverter yang dapat memberikan nilai efisiensi yang lebih baik dari pada sistem konvensional yang bekerja dengan menggunakan sebuah inverter dua level.

2. METHOD

2.1 Inverter

Penelitian yang dilakukan Sinaga et al., 2017 Rancang Bangun Inverter 1 Fasa dengan Kontrol Pembangkit Pulse Width Modulation (PWM). Muhammad et al., 2022 melakukan penelitian menghasilkan inverter 3 fasa menggunakan metode SPWM. Efendi Setiawan et al., 2016 melakukan penelitian dilakukan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode Sine Wave Pulse With Modulation (SPWM) [3,4, 5].

Inverter adalah komponen dalam sistem kelistrikan kendaraan atau mobil yang mampu mengubah arus DC menjadi AC. Pengkonversian arus searah menjadi bolak-balik tersebutlah yang memungkinkan mobil dapat memberikan daya pada perangkat elektronik. Tidak hanya mengonversi arus listrik DC menjadi AC, komponen ini pun mampu mengkonversi tegangan listrik yang semula 12 V menjadi 220 V.



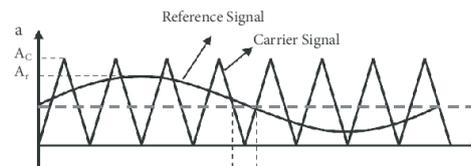
Gbr. 1. Prinsip Kerja Inverter [3]

Prinsip kerja inverter dijelaskan dengan menggunakan 4 saklar seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Bila saklar S_1 dan saklar S_2 dalam kondisi ON serta saklar S_3 dan saklar S_4 dalam keadaan OFF, maka arus pada beban R mengalir dari arah kiri ke kanan. Jika yang bekerja adalah saklar S_3 dan S_4 serta dalam keadaan OFF, maka arus pada beban R mengalir dari arah kanan ke kiri. Apabila saklar S_1 dan saklar S_2 serta saklar S_3 dan saklar S_4 bekerja secara bergantian maka akan timbul arus bolak-balik pada beban. Adapun bentuk gelombang keluaran inverter biasanya berbentuk gelombang persegi.

PWM adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap. PWM berfungsi untuk menghasilkan sinyal analog dari perangkat digital dengan cara membandingkan sinyal tertentu dengan sinyal sinusoidal dan keluarannya di gunakan untuk memberikan triger. [6]

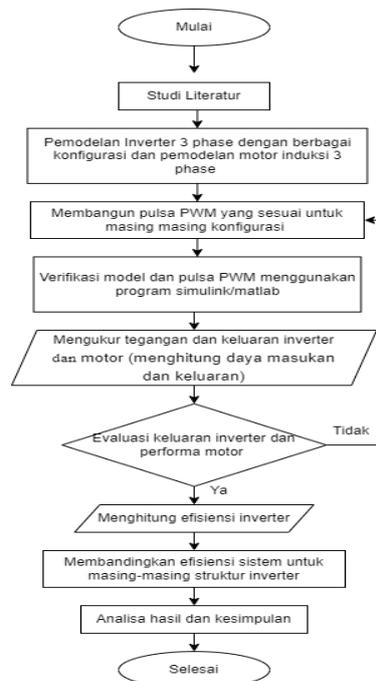
Prinsip PWM dijelaskan pada Gambar 2. Sinyal SPWM dibentuk dari perbandingan antara dua buah sinyal yaitu sinyal pembawa dan sinyal referensi. Sinyal referensinya berupa sinyal sinus dengan amplitudo dan frekuensi tertentu. Besar amplitudo sinyal referensi akan menentukan besar tegangan keluaran inverter, sedangkan frekuensi sinyal referensi menentukan besar frekuensi keluaran inverter. Kedua parameter ini

dapat disebut parameter kendali untuk menentukan besar tegangan dan frekuensi inverter yang diharapkan. Sinyal pembawanya merupakan sinyal segitiga yang frekuensinya dipertahankan tetap. Perbandingan antara amplitudo sinyal referensi dengan sinyal pembawa disebut indeks modulasi tegangan. Sedangkan perbandingan antara frekuensi sinyal referensi dengan frekuensi sinyal pembawa disebut indeks modulasi frekuensi. [7, 8]. Adapun prinsip kerja PWM yaitu untuk membangkitkan pulsa pada PWM yaitu dengan menambahkan logika pada sinyal carrier (gelombang segitiga) dan sinyal referensi (gelombang sinusoidal). Jika gelombang sinyal carrier lebih dari gelombang sinyal referensi maka saklar akan dalam kondisi ON, begitu juga sebaliknya apabila gelombang sinyal carrier kurang dari gelombang referensi maka saklar akan



Gbr. 2. Sinyal pembawa dan sinyal referensi pada SPWM [6]

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan dengan dengan langkah-langkah sesuai Gambar 3. Sedangkan langkah – langkah pembuatan sinyal PWM dapat dilihat pada Gambar 4.

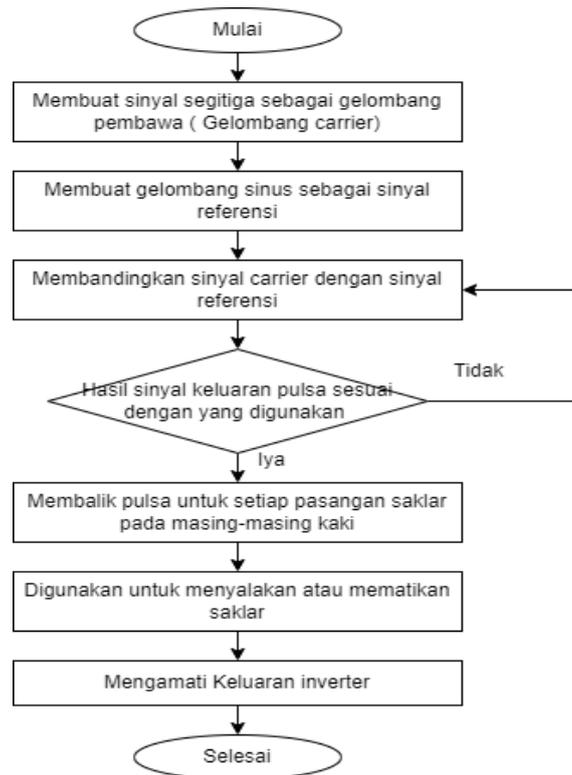
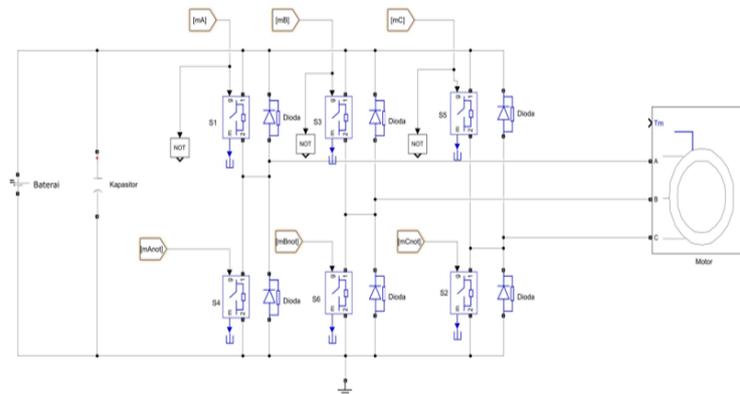


Gambar 3. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Pemodelan Sistem Pengaturan Kecepatan Variable Motor Induksi

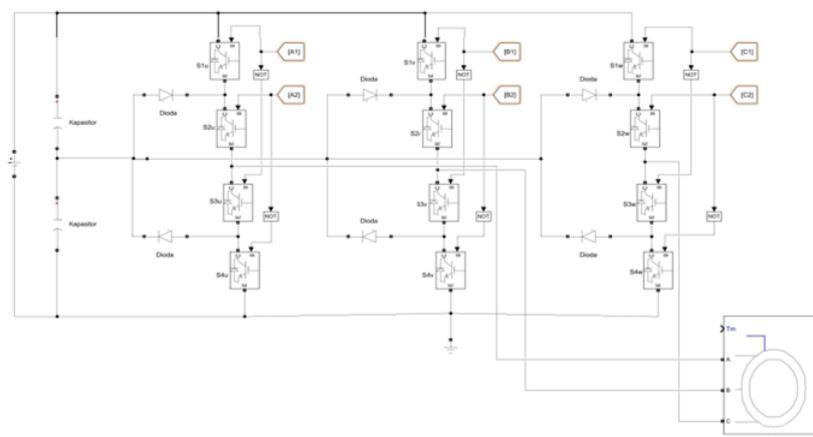
Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan model pengaturan kecepatan motor induksi variabel menggunakan inverter 2-level dan inverter 3-level. Pada inverter 2 level tegangan yang dihasilkan didalam saklar yaitu ada dua tingkatan yaitu 0 Volt dan V_{dc} . Sedangkan pada inverter 3 level tegangan yang dihasilkan pada saklar yaitu ada 3 tingkatan, yaitu 0 Volt, $1/V_{dc}$, dan V_{dc} . Pada rangkaian tersebut juga terdapat kapasitor, yaitu berfungsi untuk menstabilkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh baterai yang akan masuk ke dalam saklar [9, 10].

Gambar 4. *Flowchart* pembuatan PWM

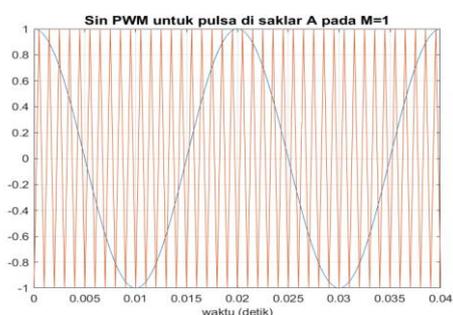
Gambar 5. Model pengaturan kecepatan motor induksi variable menggunakan inverter 2-level

3.2 Metoda PWM yang diterapkan

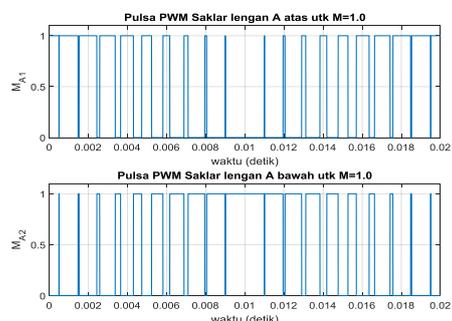
Saklar – saklar inverter dikontrol dengan menggunakan metoda Sinusoidal PWM. Pada Metoda ini pulsa dibangkitkan dengan membandingkan sinyal referensi dengan sinyal carrier frekuensi tinggi, sehingga didapatkan pulsa dari masing-masing lengan pada inverter. Hasil dari perbandingan sinyal referensi dengan sinyal carier dan pulsa yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 untuk inverter 2 level dan Gambar 9 dan Gambar 10 untuk inverter 3 level.



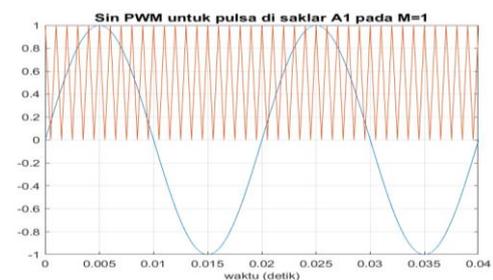
Gambar 6. Model pengaturan kecepatan motor induksi variabel menggunakan 3 level inverter



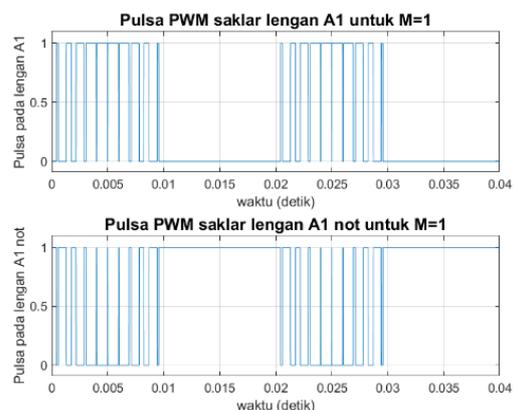
Gambar 7 Perbandingan sinyal referensi dengan sinyal pembawa untuk inverter 2 level



Gambar 8 Pulsa PWM lengan A untuk M=1 pada inverter 2 level



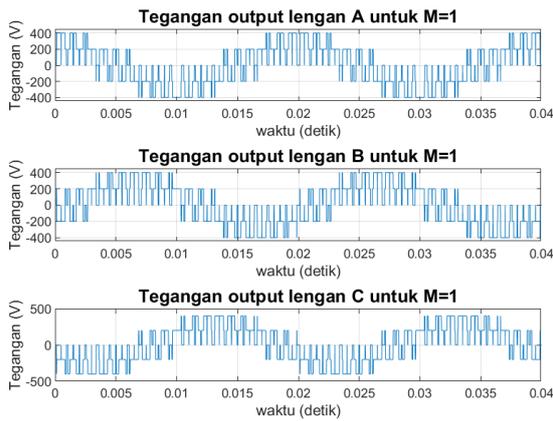
Gambar 9 Perbandingan sinyal referensi dengan sinyal pembawa untuk inverter 3 level



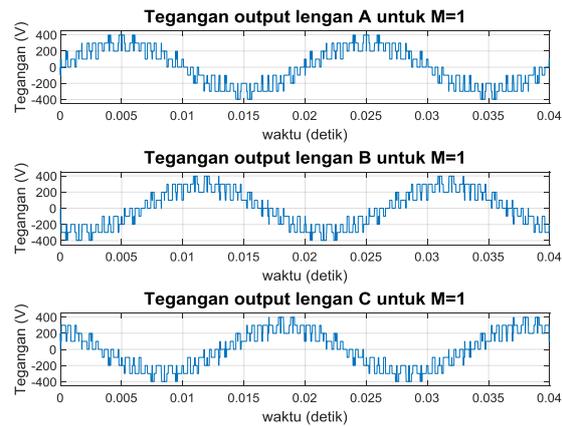
Gambar 10 Pulsa PWM lengan A₁ untuk M=1 pada inverter 3 level

3.3 Tegangan Output Inverter

Tegangan output inverter dihasilkan dengan menerapkan metoda PWM dengan pulsa seperti Gambar 11 dan Gambar 12. Proses ini melibatkan manipulasi sinyal referensi dan sinyal pembawa untuk menghasilkan bentuk gelombang yang sesuai dengan kebutuhan. Tegangan output yang dihasilkan oleh tiap-tiap lengan inverter 2 level dapat dilihat pada Gambar 11 pada M=1. Tegangan output yang dihasilkan oleh tiap-tiap lengan inverter 3 level dapat dilihat pada Gambar 12 M=1.



Gambar 11. Tegangan output untuk M=1 pada inverter 2 level



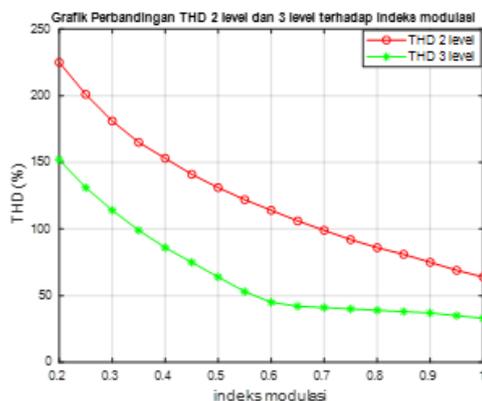
Gambar 12 Tegangan output untuk M=1 pada inverter 3 level

3.4 Total Harmonics Distortion (THD)

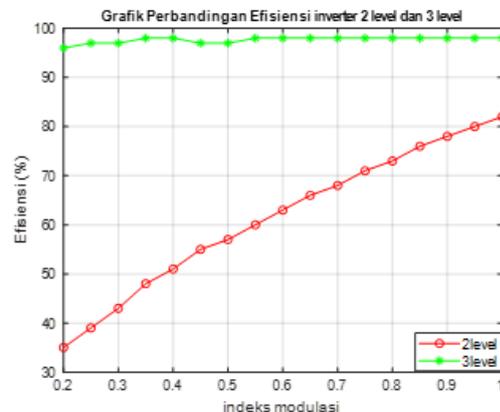
Total Harmonic Distortion (THD) adalah ukuran dari jumlah distorsi harmonik total dalam sebuah sinyal atau gelombang. Distorsi harmonik terjadi ketika gelombang non-sinusoidal, atau "tidak murni", bercampur dengan gelombang fundamental atau frekuensi dasar. THD mengukur sejauh mana distorsi ini mempengaruhi kualitas sinyal atau gelombang. THD diukur sebagai persentase dari kuadrat akar dari jumlah kuadrat amplitudo harmonik kedua hingga terakhir terhadap amplitudo dari gelombang dasar atau fundamental. Gambar 13 menunjukkan perbandingan nilai THD tegangan pada inverter 2 level dan inverter 3 level. Dapat dilihat seiring dengan meningkatnya indeks modulasi maka nilai THD yang dihasilkan akan semakin menurun, hal tersebut menunjukkan bahwa distorsi harmonik yang dihasilkan pada sinyal keluaran inverter berkurang. Semakin rendah persentasi THD yang dihasilkan maka kualitas sinyal yang dihasilkan akan semakin bagus.

3.5 Efisiensi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor

Efisiensi ini mengukur sejauh mana sistem dapat mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis yang berguna. Efisiensi pada inverter adalah perbandingan antara daya keluaran yang bermanfaat dari inverter dengan daya masukan yang diserap oleh inverter dari sumber daya listrik. Efisiensi total didapatkan dengan mengalikan efisiensi motor dengan efisiensi inverter. Gambar 14 menunjukkan efisiensi inverter 2 level paling tinggi 82% pada indeks modulasi 1 dan paling rendah 35% pada indeks modulasi 0,2 sedangkan pada inverter 3 level efisiensi paling tinggi yaitu 98% pada indeks modulasi 1 dan paling rendah 96% pada indeks modulasi 0,2. Efisiensi inverter menurun seiring dengan menurunnya nilai indeks modulasi, hal ini disebabkan karena terjadinya penurunan arus pada inverter sedangkan tegangan DC konstan yang menyebabkan daya input dari inverter menurun, dan daya output yang dihasilkan inverter juga semakin menurun.



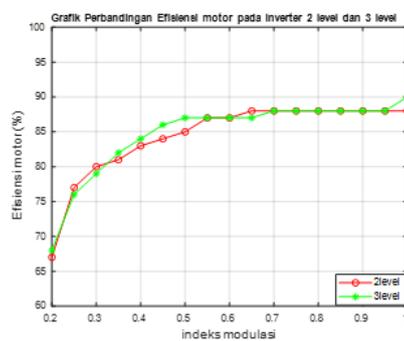
Gambar 13 Grafik perbandingan THD Inverter 2 level dan 3 level terhadap indeks modulasi



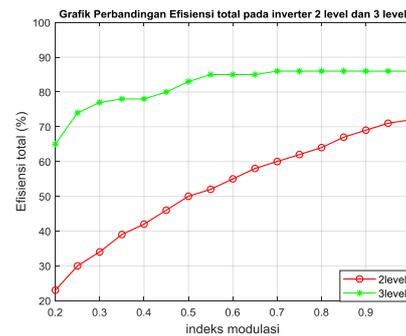
Gambar 14 Grafik perbandingan Efisiensi Inverter 2 level dan 3 level terhadap indeks modulasi

Grafik hasil perbandingan efisiensi motor 2 level dan 3 level dapat dilihat pada Gambar 15. Dapat dilihat pada Gambar 15, efisiensi motor yang dicatu dengan inverter 2 level yang paling tinggi yaitu sebesar 88% pada indeks modulasi 1 dan efisiensi yang paling rendah 67% pada indeks modulasi 0,2. Sedangkan pada efisiensi motor yang di catu dengan inverter 3 level di dapatkan nilai efisiensi motor yang paling tinggi yaitu 88% pada indeks modulasi 1 dan efisiensi yang paling rendah 68% pada indeks modulasi 0,2.

Gambar 16 menunjukkan efisiensi total yang paling tinggi pada inverter 2 level sebesar 72% untuk indeks modulasi 1 dan efisiensi total paling rendah sebesar 23% pada indeks modulasi 0,2. Sedangkan efisiensi total paling tinggi pada inverter 3 level sebesar 86% pada indeks modulasi 1 dan efisiensi total paling rendah sebesar 65% pada indeks modulasi 0,2. Efisiensi total pada inverter 2 level dan inverter 3 level mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya indeks modulasi, karena indeks modulasi yang lebih tinggi dapat menghasilkan sinyal keluaran yang lebih mendekati sinyal referensi atau sinyal asli (sinusoidal) yang diinginkan.



Gambar 15 Grafik Perbandingan Efisiensi Motor dicatu dengan Inverter 2 level dan 3 level



Gambar 16 Grafik Perbandingan Efisiensi total system dengan Inverter 2 level dan 3 level

4. KESIMPULAN

Topologi inverter yang diselidiki adalah inverter 2 level dan inverter 3 level yang di kontrol dengan menggunakan metode Carrier Based PWM. Nilai THD yang dihasilkan dipengaruhi oleh indeks modulasi. Semakin meningkat indeks modulasi nilai THD yang dihasilkan akan semakin menurun, hal tersebut menunjukkan bahwa distorsi harmonik yang dihasilkan pada sinyal keluaran inverter berkurang. Nilai THD yang dihasilkan pada inverter 3 level lebih rendah yaitu 33% dibandingkan pada inverter 2 level yaitu 64% pada indeks modulasi 1. Sementara itu, Efisiensi yang diukur menunjukkan bahwa pada inverter 3 level memiliki paling tinggi karena mampu menghasilkan gelombang keluaran yang lebih halus. Adapun nilai efisiensi total yang paling tinggi pada inverter 2 level sebesar 72% dan pada inverter 3 level efisiensi total yang paling tinggi sebesar 86% pada indeks modulasi 1.

REFERENSI

- [1] R.A. Hamzah, A. Rusdinar, R. Nugraha, (2017). Implementasi Sistem Monitoring Dan Manajemen Baterai Pada Kendaraan Listrik Implementation Monitoring and Management Battery System for Electric Vehicles. 4(2), 1612–1619..
- [2] A. A. Wahyu, U.R. Mukti, S. Hatta, (2020). Pemodelan State Space Motor Induksi Tiga Fasa sebagai Penggerak Mobil Listrik. 12(1). <https://doi.org/10.24853/jurtek.12.1.39-48>
- [3] Y.A. Sinaga, A. S. Samosir, & A. Haris, (2017). Rancang Bangun Inverter 1 Fasa dengan Kontrol Pembangkit Pulse Width Modulation (PWM). ELECTRICIAN - Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro, 11(2), 81–91
- [4] R. Muhammad, D. Septiyanto, & N. Mulyono, (2022). Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Berbasis Bipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation. Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar. 13–14. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4417H>.
- [5] S. A. Efendi, T. Odianto, S. Muharom, T. I. Adhi, (2016). Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa 1/2hp 0.37kw Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arm Mikrokontroler (STM32F4). Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan.

-
- [6] I. K. Wiryajati, I. N. W. Satiawan, I. B. M. Sukmadana, I. B. F. Citarsa, Supriono., (2022) Pemodelan inverter catu daya ganda dengan teknik modulasi lebar pulsa termodifikasi dengan tegangan DC sama. Prosiding SAINTEK. LPPM Universitas Mataram
- [7] M. F. N. Tajuddin, N. H. Ghazali, I. Daut, & B. Ismail, (2010). Implementation of DSP based SPWM for single fase inverter. SPEEDAM 2010 - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2010.5542156>.
- [8] A.W Aditya, & R. M. Utomo, (2020). Pemodelan State Space Motor Induksi Tiga Fasa. Jurnal Teknologi UMJ, 12(1), 39–48..
- [9] A. Kumar, & T. Ramesh, (2015). Direct Field Oriented Control of Induction Motor Drive. Proceedings - 2015 2nd IEEE International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering, ICACCE 2015. <https://doi.org/10.1109/ICACCE.2015.55>
- [10] I. Parinduri, (2018). Model Dan Simulasi Rangkaian RLC menggunakan Aplikasi MATLAB Metode Simulink. Journal of Science and Social Research, 44

BIOGRAPHY OF AUTHORS