

PEMODELAN INVERTER CATU DAYA GANDA DENGAN TEKNIK MODULASI LEBAR PULSA TERMODIFIKASI DENGAN TEGANGAN DC SAMA

I Ketut Wiryajati*¹, I N Wahyu Satiawan², I M Budi Suksmadana³, I B Fery Citarsa⁴, Supriono⁵
¹Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Mataram

*Corresponding Author Email: kjatiwirya@unram.ac.id

ABSTRAK

Harmonisa terjadi akibat adanya distorsi yang berlebihan pada jaringan atau sumber listrik. Tingkat harmonisa bersumber dari kasarnya pencacah pada sebuah piranti sumber daya. Harmonisa dapat menyebabkan kerusakan pada piranti elektronika. Ambang batas yang disyaratkan sesuai dengan IEEE-519 tahun 2014 adalah 5%. Pada penelitian ini dikembangkan sebuah teknik modulasi *Carrier Based Pulse Width Modulation* (CBPWM) pada inverter catu daya ganda. Tujuan untuk mengetahui besarnya THD yang dihasilkan. Teknik ini merupakan Teknik CBPWM dengan modifikasi yang sederhana yang disebut dengan *Carrier Based PWM Modified* (CBPWM_M) dengan catu daya pada dua sisi. THD yang baik memiliki nilai yang rendah, demikian juga untuk Tegangan Mode Bersama (CMB) mengalami eliminasi. Validasi dari penelitian ini menggunakan perangkat lunak MATLAB, SIMULINK. Pengembangan dari Teknik modulasi ini diharapkan mendapatkan inverter dengan efisiensi tinggi.

Keyword: CBPWM_M, Dual inverter, multilevel, Multicarrier.

1. PENDAHULUAN

Inverter termasuk piranti elektronika daya (*power converter*) yang hanya digunakan untuk mengubah energy listrik dari sumber tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Metoda pengubahan (*conversion*) ini dapat menghasilkan beberapa keuntungan seperti berikut: Bentuknya relatif kecil dan kompak, tekniknya sangat sederhana, sedangkan kerugian yang dimiliki adalah sebagai berikut: dapat menimbulkan cacat gelombang pada sisi keluaran atau sumber. Cacat tersebut adalah harmonisa atau perubahan pada *Total Harmonic Distribution (THD)*. THD ini akan menimbulkan masalah bagi beban atau pada sisi pembangkit. Hal ini yang perlu ditangani. Batas nilai THD pada sebuah konversi energy dipersyaratkan 5% sesuai dengan standar IEEE standard 519 - 1992. (Xu, Mansour et al. 1995). Teknik pengubahan bentuk gelombang ini di mulai dengan teknik modulasi lebar pulsa / *Pulse Width Modulation* (PWM).

Pada dasarnya, PWM adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap. PWM dapat dianggap sebagai kebalikan dari yang mengkonversi sinyal Analog ke Digital, PWM berfungsi untuk menghasilkan sinyal analog dari perangkat digital dengan cara membandingkan sinyal tertentu dengan sinyal sinusoidal dan keluarannya di gunakan untuk memberikan triger/ penyulut. (Sahoo, Ramulu et al. 2012; Xin, Wangyang et al. 2016).

Teknik yang dapat digunakan untuk mengurangi THD banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu teknik, pergeseran fasa yang berfungsi untuk mengubah bentuk dan menggeser gelombang pembawa yang disebut dengan teknik modulasi pergeseran fasa atau (*phase shifted PWM*), *level shifted LSPWM* yaitu teknik dengan mengubah argumen (*magnitude*) sedemikian rupa sehingga bentuk level dari gelombang pembawa mengalami perubahan bentuk, dengan metoda ini hasilnya menunjukkan bahwa Teknik ini dapat mengurangi nilai THD yang baik. (Meesrisuk and Jangwanitlert 2014).

Catu daya yang digunakan pada inverter adalah sumber tegangan searah atau catu daya, bentuk topologi inverter yang menggunakan tegangan searah dapat dibagi dalam bentuk catu daya tunggal dan catu daya ganda. Catu daya ganda model, bentuk gelombang yang dihasilkan sangat baik demikian juga untuk level tegangan dan arus dari inverter meningkat secara signifikan. (Sebastian and Dewan 1989). Lebih jauh penelitian tentang teknik modulasi berkembang seperti dengan model space vektor, Dengan metoda ini ditenggarai sangat sukses dalam menurunkan THD dan dapat meningkatkan level dari sebuah inverter seperti yang telah diterapkan pada energy matahari, (Liu, Wang et al. 2011; Shijie, Qun et al. 2012; Ali, Zhao et al. 2017).

Motor listrik memiliki keuntungan bentuknya sangat kompak dan bentuk lebih kecil, tidak ada sikat arang (*carbon brush*), bebas perawatan (Wiryajati, Giriantari et al. 2018). Namun demikian kelemahannya dia bersifat terganggu (*couple*), sehingga sulit untuk mengendalikannya. Namun demikian dengan menggunakan system digital dapat mengubah system yang kopel tersebut menjadi system yang dekopel atau terpisah. Dengan Teknik FOC motor induksi dapat di kendalikan. Kendali dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung (Shrawane 2010; Singh 2014; Kumar and Ramesh 2015).

Untuk meningkatkan Kualitas daya diperlukan pengembangan Teknik modulasi agar menghasilkan riak yang halus. Pada Penelitian ini dikembangkan Teknik modulasi berbasis Sinyal pembawa dengan menggunakan perubahan pada sisi sinyal referensi dan pembawa.

2. METODE

a. *Carrier Based Switching PWM Scheme*

Pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak, tahapan yang dilakukan sebagai berikut: Perancangan teknik modulasi dengan metoda *carrier based* PWM, pada fasa ini pemilihan sinyal segitiga sebagai gelombang pembawa di pilih berdasarkan studi sebelumnya yaitu menggunakan PSPWM, LSPWM. Teknik ini mengkombinasikan metoda secara grafis.

Terdapat dua teknik pemodulasian sinyal pulsa yaitu modulasi dengan menggeser fasa (*phase-shifted*) dan dengan menggeser level (*level-shifted*). Modulasi CBPWM dengan cara menggeser fasa (*phase-shifted*). Secara umum dapat dilakukan pada inverter dengan tingkat tegangan m . Inverter dengan tingkat m maka dibutuhkan $(m - 1)$ gelombang /sinyal pembawa segitiga. Dalam ini CBPWM fasa bergeser dengan amplitudo yang tetap. Sedangkan semua pembawa segitiga memiliki frekuensi yang sama dan amplitudo sama, pergeseran fasa antara dua gelombang pembawa yang berdekatan, dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$C_r = 360^\circ / (m - 1) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana , C_r adalah besar pergeseran fasa, dan m adalah jumlah tingkat /level dari inverter.

Bila sebuah inverter m tingkat modulasi, membutuhkan $(m - 1)$ pembawa segitiga, Indeks modulasi frekuensi diberikan oleh $m_a = f_{cr} / f_m$, dengan f_{cr} adalah gelombang pembawa, dan f_m adalah gelombang modulasi, indek ini digunakan pada skema modulasi fase bergeser sedangkan indeks modulasi amplitudo didefinisikan sebagai :

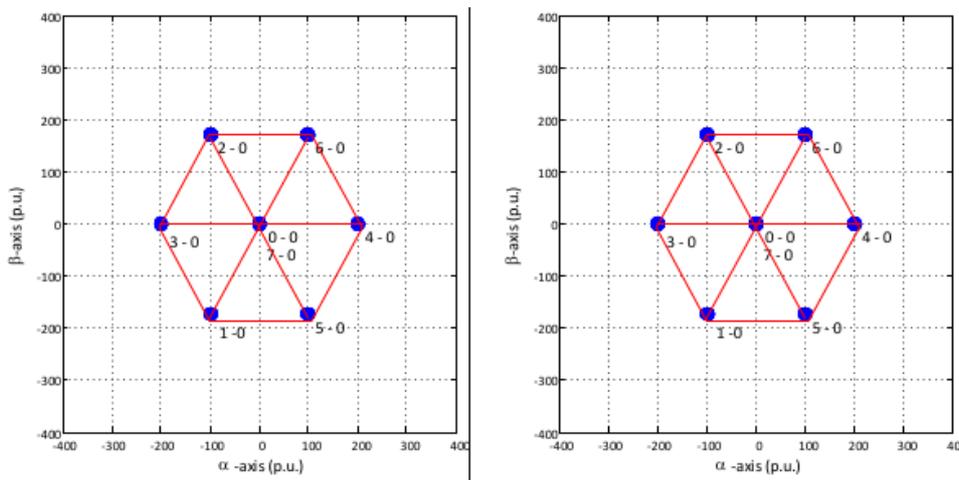
$$m_a = \frac{V_m}{V_{cr(m-1)}}, \text{ untuk } 0 \leq m_a \leq 1 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana , m_a adalah besar indeks modulasi, V_m adalah amplitudo sinyal modulasi dan V_{cr} adalah gelombang sinyal pembawa dari inverter.

b. CBPWM of Dual-inverter OeW 3-phase motor

CB-PWM pada inverter ganda perlu diketahui besarnya tegangan yang akan di alirkan ke beban.. Pada motor dengan Teknik motor dirangkai terbuka (Open end Winding) (OeW). Teknik modulasi bertingkat ini menghasilkan vektor vektor sebagai berikut Inverter tingkat dua inverter akan menghasilkan 8 (23) kondisi switching. Mendapatkan kondisi tersebut dapat di gunakan persamaan (3).

$$\begin{aligned} \underline{v}_{\alpha\beta} &= v_{\alpha} + jv_{\beta} \\ &= 2/3(v_{aO}(t) + v_{bO}(t)e^{j2\pi/3} + v_{cO}(t)e^{j4\pi/3}) \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

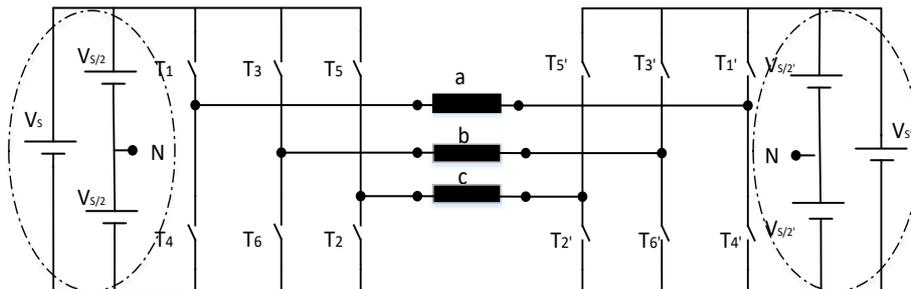


Gambar 1. Vektor ruang pada inverter tingkat dua catu daya ganda

Pada Gambar 1 menyatakan besar dan arah dari kondisi saklar dari inverter dalam satuan pu, dengan dua titik yang sama yaitu pada titik 0(000), dan 7 (111). Pada kaki invertr sisi kiri memiliki kondisi seperti pada gambar (a) dan pada kaki inverter sisi kanan seperti pada gambar (b). bila digabungkan maka akan terdapat bentuk vektor posisi yang sama sejumlah dua buah. Untuk meningkatkan tingkat (*level*) dapat dipergunakan Teknik catu daya dua arah yang memiliki persamaan (4)

$$\begin{aligned} \underline{v}_{\alpha\beta(DUAD)} &= \underline{v}_{\alpha\beta(INV1)} - \underline{v}_{\alpha\beta(INV2)} \\ &= 2/3\{(v_{aO}(t) + v_{bO}(t)e^{j2\pi/3} + v_{cO}(t)e^{j4\pi/3}) \\ &\quad - (v_{a'O}(t) + v_{b'O}(t)e^{j2\pi/3} + v_{c'O}(t)e^{j4\pi/3})\} \end{aligned} \dots\dots\dots(4)$$

Rangkaian kaki inverter yang dipergunakan dalam rancangan ini adalah inverter dua tingkat dengan menggunakan tiga kaki inverter yaitu untuk fasa (a) fasa (b) dan Fasa (c). seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Inverter dengan catu daya ganda catu daya simetri.

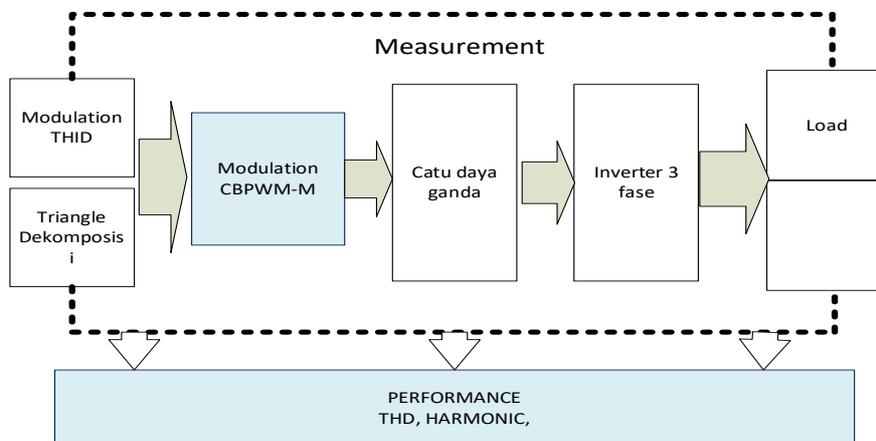
Tegangan catu digunakan dua buah dengan V_{dc} sebagai sumber tegangan seearah, C1 dan C2 Tegangan kapasitor untuk mendapatkan tegangan simetri, pada TMB negative dapat di pergunakan pada persambungan pada kapasitor. Kondisi saklar (T) pada inverter tiga fasa dapat di perhatikan pada Tabel 1

Tabel 1 Kondisi saklar pada inverter tiga fasa.

Kondisi ke-	Kondisi	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	Vektor
1	$T_1-T_2-S_6$ On & $S_4-T_5-T_3$ Of	V_i	0	V_i	$v_1 = 1 + j0,577$
2	$T_2-T_3-T_1$ On & $T_5-T_6-T_4$ Of	0	V_i	$-V_i$	$v_2 = j1,155$
3	$T_3-T_4-T_2$ On & $T_6-T_1-T_5$ Of	$-V_i$	V_i	0	$v_3 = -1 + j0,577$
4	$T_4-T_5-T_3$ On & $T_1-T_2-T_6$ Of	$-V_i$	0	V_i	$v_4 = -1 - j0,577$
5	$T_5-T_6-T_4$ On & $T_2-T_3-T_1$ Of	0	$-V_i$	V_i	$v_5 = -j1,155$
6	$T_6-T_1-T_5$ On & $T_3-T_4-T_2$ Of	V_i	$-V_i$	0	$v_6 = 1 - j0,577$
7	$T_1-T_3-T_5$ On & $T_4-T_6-T_2$ Of	0	0	0	$v_7 = 0$
8	$T_4-T_6-T_2$ On & $T_1-T_3-T_5$ Of	0	0	0	$v_8 = 0$

Setiap kondisi pada saklar T'. dengan T adalah sisi kiri sedangkan T' adalah sisi inverter sebelah kanan. Demikian juga seterusnya.

Konsep dasar yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah konsep penyederhanaan dari CBPWM dengan mengatur indeks modulasi dan frekuensi pada ke dua sisi atau di jaga tetap. Blok diagram rancangan dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3 Konsep Pengembangan CBPW-M dengan catu daya ganda

Pembangkitan pulsa dari metode PWM menggunakan logika yang seperti diatur oleh persamaan (4). Jika gelombang sinus referensi (V_{ref}) lebih besar dari gelombang *carrier* (V_c) maka pulsa bernilai satu (*high*) dan sebaliknya jika gelombang sinus (V_{ref}) lebih kecil dari gelombang pembawa (V_c) maka pulsa bernilai nol (*low*). Gelombang pembawa biasanya mempunyai frekwensi minimal 20 kali lebih cepat dari frekwensi gelombang sinus sehingga dapat menggeser harmonisa rendah cukup jauh dari komponen fundamental tegangan keluaran pada inverter.

$$\begin{aligned} V_{ref} > V_c & \quad M_x = 1 \text{ (high)} \\ V_{ref} < V_c & \quad M_x = 0 \text{ (low)} \end{aligned} \dots\dots\dots(4)$$

3. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

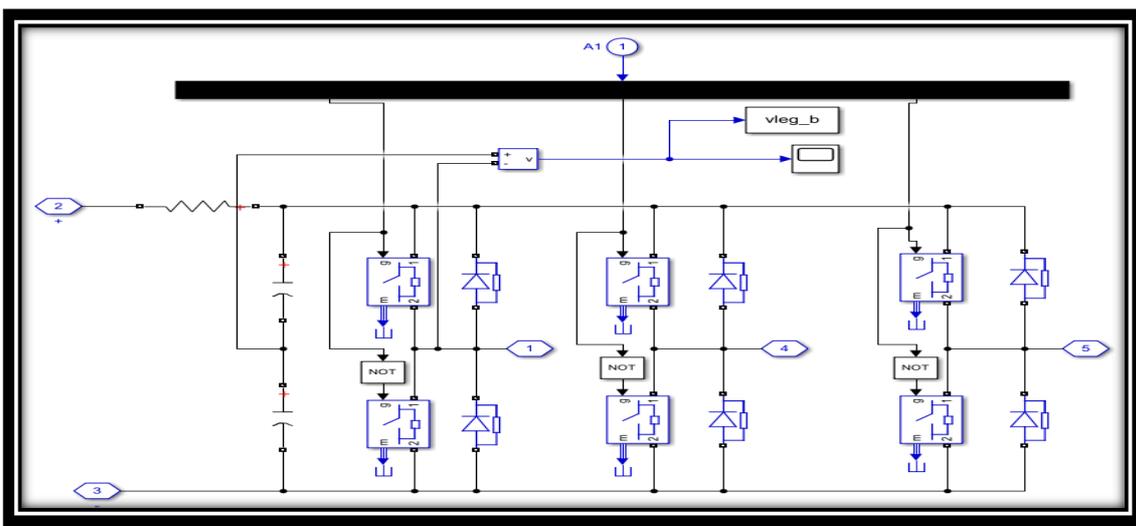
Metode PWM yang diusulkan diverifikasi menggunakan perangkat lunak Matlab / Simulink. Sakelar dikembangkan menggunakan Simpower BlockSet dan sinyal PWM dibangkitkan menggunakan Simulink. Kedua inverter dicatu dengan tegangan dc input 300 V Efek *Deadtime* diabaikan dalam simulasi. Sistem diatur untuk memiliki keluaran frekuensi dasar 50 Hz pada $M = 1,0$. Dengan Data parameter dianggap ideal, Parameter dari Power semikonduktor terlihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Parameter Diode

DiodeRon=0.01;	DiodeVf=1.2;	DiodeCs =250e-9;	Rload=320;
DiodeLon=0;	DiodeRs=500e6;	ParasC=0.00026e-9;	Lload=1.8

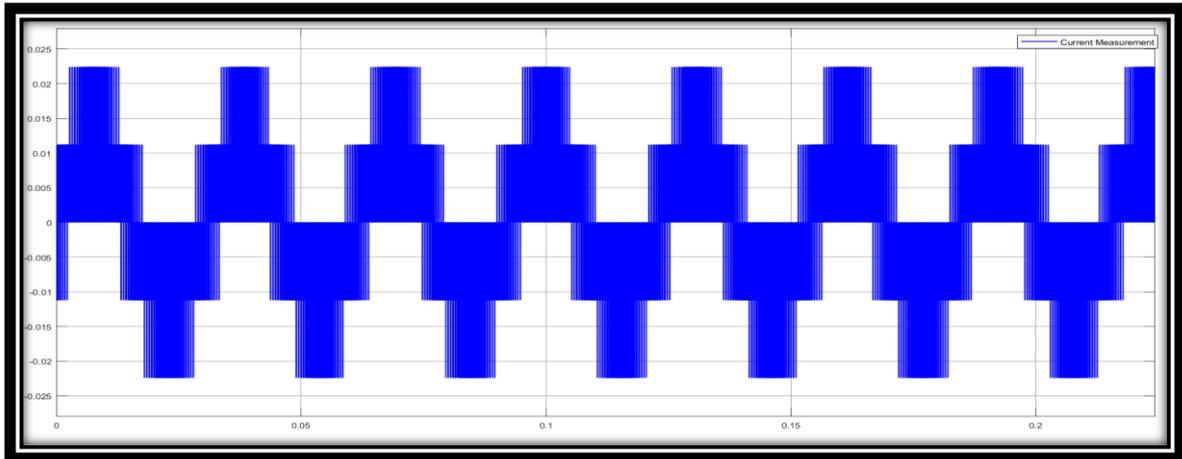
Tabel 3. Parameter IGBT

IgbtRon=0.001;	IgbtVf=1.2;	IgbtTt=2e-6;	IgbtCs=inf;
IgbtInductance=0;	IgbtTf=1e-6;	IgbtRs=1e5;	-



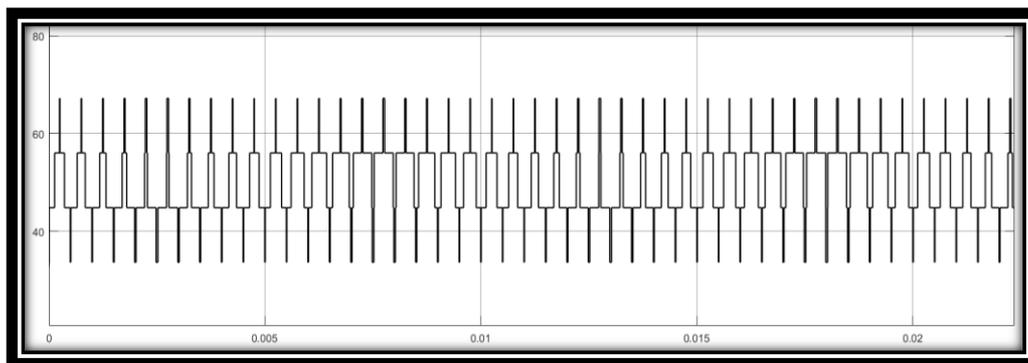
Gambar 4. Rangkaian Simulasi Inverter Tiga Fasa

Rangkaian yang di gunakan dalam mengaplikasikan eeknik ini mempergunakan rangkaian seperti pada Gambar 4. Terdiri dari dua buah saklar pada setiap kaki inverter sehingga berjumlah 6 buah saklar. Yang konduksinya berbeda beda. Hasil yang dicapai di ukur dengan menggunakan osciloscop yang di ambil dengan keluaran seperti pada Gambar 5. Hasil ini menunjukkan besarnya arus yang di dihasilkan dan bentuk gelombang yang di harapkan sesuai dengan perencanaan awal yaitu memiliki tingkat 5 pada setiap keluaran. Besarnya sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang di pikul oleh inverter.

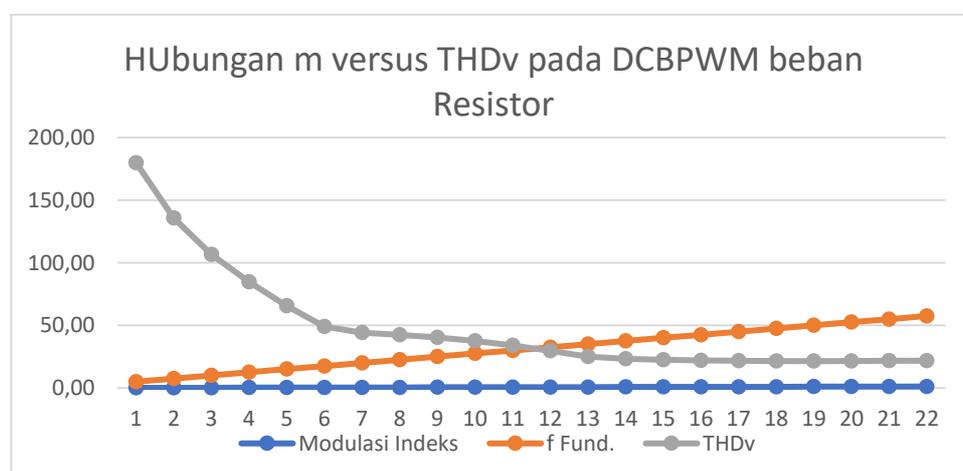


Gambar 5. Hasil Keluaran Inverter Sinyal Fasa a

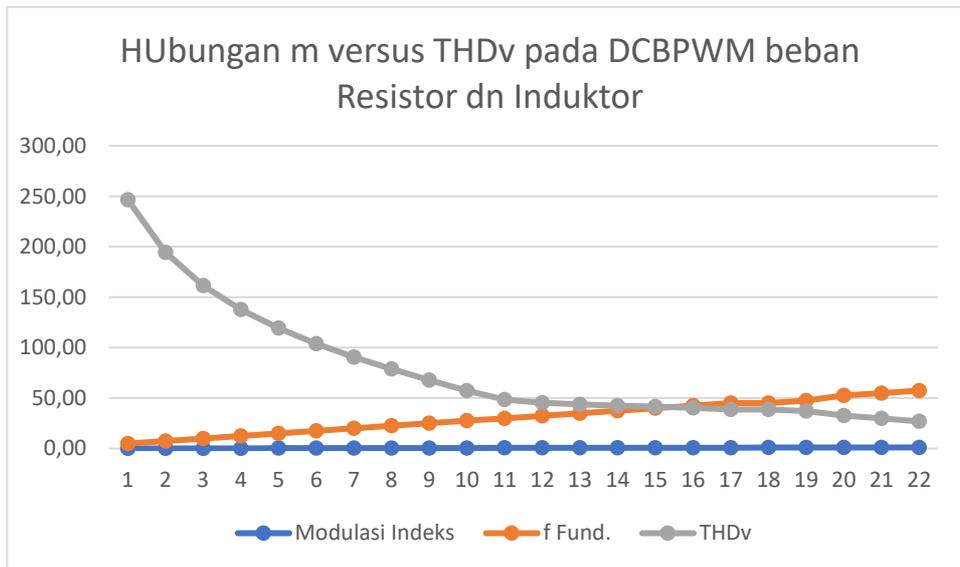
Tegangan mode bersama adalah tegangan yang berbahaya untuk piranti elektronik, karena merupakan sinyal balik yang sangat jarang terukur. Hasil yang di dapat adalah adanya gelombang Tegangan Mode Bersama (TMB) yang di hasilkan pada inverter dengan mode tegangan ganda. Amplitude yang di hasilkan dari TMB adalah berkisar 60-70 volt AC. Tegangan ini akibat adanya mutual pentanahan pada setiap beban atau sumber. Olehkarenanya terdapat perbedaan porensl antara grounding dengan titik neutral. Perbedaan ini disebut dengan TMB. Secar detail TMB dapat diperhatikan pada Gambar 6.



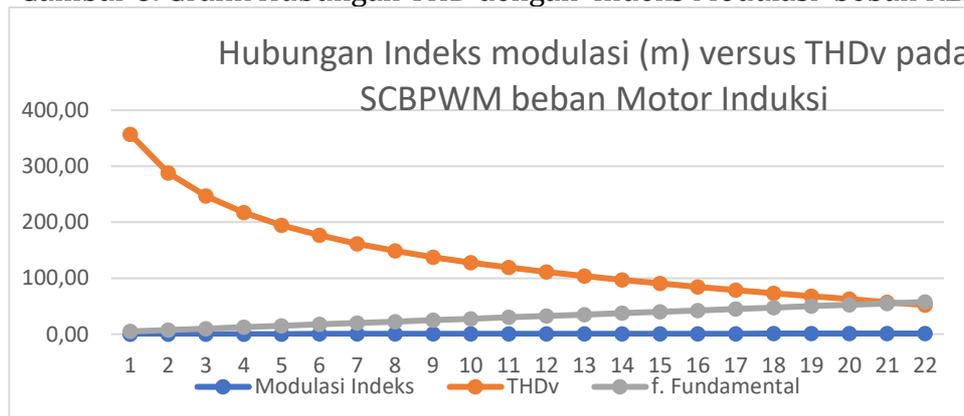
Gambar 6. Tegangan Mode Bersama yang di hasilkan



Gambar 7. Grafik Hubungan THD dengan Indeks Modulasi beban R

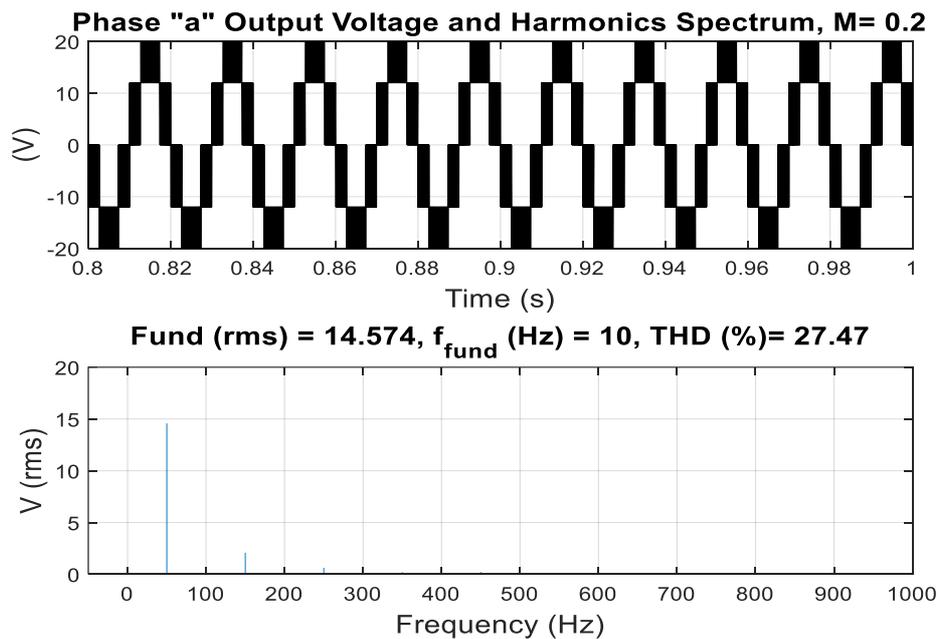


Gambar 8. Grafik Hubungan THD dengan Indeks Modulasi beban RL.

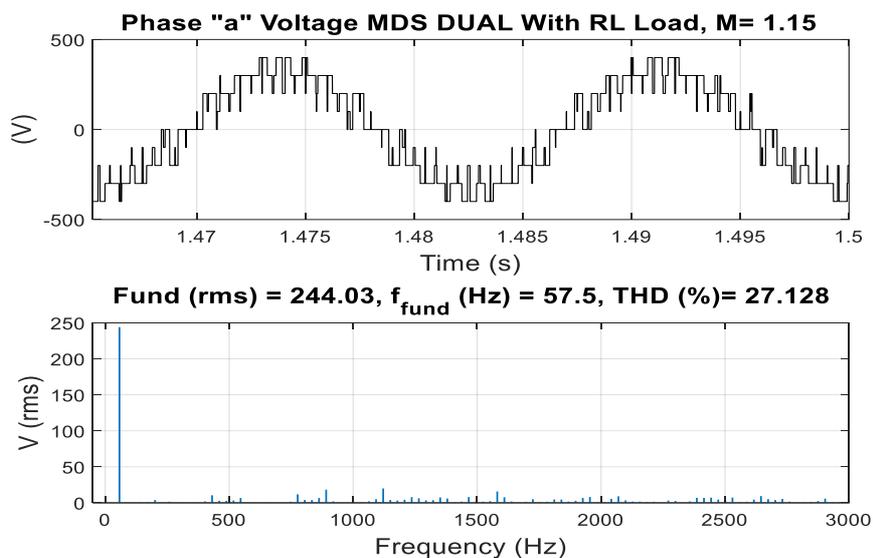


Gambar 9. Grafik Hubungan THD dengan Indeks Modulasi beban Motor.

Gambar 7 hingga Gambar 9 menunjukkan hubungan antara indeks modulasi dan THDv pada inverter menggunakan beban R, RL dan beban Motor Induksi, Spenurunan terjadi pada saat indeks modulasi pada sekita 4,0 sampai 1,0. Demikian juga untuk indeks modulasi pada beban beban tersebut dapat di perlihatkan pada gambar 10 hingga Gambar 12 .



Gambar 10. Bentuk Gelombang Keluaran Pada Beban R Catu Tunggal



Gambar 12. Bentuk Gelombang Keluaran Pada Beban RL Catu Ganda

4. KESIMPULAN

Pada SCBPWM dengan mengatur nilai Beban Resistor, Frekuensi Fundamental dan THD tetap. Bila dibebani motor dan resistor yang variatif indeks modulasi THD memiliki nilai yang sama. Level tegangan dan arus pada SCBPWM mengalami perubahan tertinggi adalah level 5 sedangkan untuk level paling rendah yaitu level 3.

Dual CBPWM_M bila dibebani dengan menggunakan beban Resistor level meningkat menjadi dua kali lipat yaitu dari 5 menjadi 9 level pada indeks modulasi diatas 4.

Sedangkan bila di bebani Motor induksi dengan level menjadi 2 kalilpat dari level 5 menjadi level 9. Besaran THD pada Teknik modulasi ini meningkat secara signifikan. THD terbaik didapatkan pada nilai 21,8 %.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas dana yang diberikan melalui penelitian skim Penelitian Peningkatan Kapasitas Perguruan Tinggi tahun 2021 dengan nomor kontrak 2928/UN18.L1/PP/2021.

6. DAFTAR REFERENSI

1. Ali, Z. H., J. Zhao, et al. (2017). Novel direct power control of single-phase three-level SVPWM inverter for photovoltaic generation. 2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT).
2. Kumar, A. and T. Ramesh (2015). Direct Field Oriented Control of Induction Motor Drive. 2015 Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering.
3. Liu, Y., X. Wang, et al. (2011). Research based on SVPWM method of three level inverter. Proceedings of the 30th Chinese Control Conference.
4. Meesrisuk, W. and A. Jangwanitlert (2014). A novel symmetrical two-output three-level series resonant PSPWM inverter. TENCON 2014 - 2014 IEEE Region 10 Conference.
5. Sahoo, S. K., A. Ramulu, et al. (2012). Performance analysis and simulation of three phase voltage source inverter using basic PWM techniques. IET Chennai 3rd International on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2012).
6. Sebastian, T. and S. B. Dewan (1989). "Comparison of dual-converter-based power supply systems." IEEE Transactions on Industry Applications **25**(2): 339-347.
7. Shijie, Y., Z. Qun, et al. (2012). A simplified SVPWM control strategy for PV inverter. 2012 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC).
8. Shrawane, P. (2010). Indirect Field - Oriented Control of induction motor. 12th IEEE International Power Electronics Congress.
9. Singh, G. (2014). A fuzzy pre-compensated-PI controller for indirect field oriented controlled induction motor drive. 2014 Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their impact on Humanity (CIPECH).
10. Wiryajati, I. K., I. A. D. Giriantari, et al. (2018). Simple carrier based Space Vector PWM schemes of dual-inverter fed three-phase open-end winding motor drives with equal DC-link voltage. 2018 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS).
11. Xin, L., P. Wangyang, et al. (2016). Research on multilevel inverter control system based on PWM algorithm. 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA).
12. Xu, W., Y. Mansour, et al. (1995). "Developing utility harmonic regulations based on IEEE STD 519-B.C, Hydro's approach." IEEE Transactions on Power Delivery **10**(3): 1423-1431.